

IUFM de Lorraine
Rectorat de l'Académie de Nancy- Metz
PASI

Faire de l'histoire des sciences
pour
mieux enseigner les sciences
et
développer la culture
scientifique

I. Introduction :	5
Conditions de la recherche : équipe, histoire du groupe, modalités de travail.....	5
II. Pourquoi faire de l'histoire des sciences dans un cours de sciences ?	7
II.1. Quelques repères historiques sur l'histoire des sciences dans les programmes	7
II.2. L'histoire des sciences dans les programmes actuels.....	9
II.2.1. Au collège	9
L'esprit des nouveaux programmes de 2005 pour le collège.....	9
Le cycle central : 5 ^{ème} et 4 ^{ème}	10
La 3 ^{ème}	10
II.2.2. Au lycée : généralités.....	11
II.2.3. Faire aimer la science.....	11
II.2.4. Faire acquérir une culture scientifique de base	12
II.2.5. Former les élèves à la démarche scientifique.....	13
Privilégier la démarche plutôt que les contenus scientifiques.....	13
Pratiquer la démarche scientifique expérimentale, pourquoi ?	13
La démarche scientifique, c'est-à-dire ?	14
II.2.6. Mettre en évidence les interactions entre les diverses disciplines scientifiques et l'ensemble des activités humaines	18
II.2.7. Former des citoyens désireux et capables de s'impliquer dans les choix de société mettant la science en jeu	19
II.3. Plus concrètement... Pourquoi et quand introduire l'histoire des sciences ?	20
II.3.1. Pourquoi ?	20
II.3.2. Quand ?	21
II.4. Répertoire synthétique des divers objectifs assignables à l'histoire des sciences dans un cours de science	21
III. Méthodologie de l'élèves désireux et l'7558(')2.80561o dr sirsr r	

IV.3. La réfraction des rayons lumineux	47
IV.3.1. Grille de la séquence la réfraction des rayons lumineux	47
IV.3.2. Analyse de la séquence la réfraction des rayons lumineux:	48
A – Présentation générale de la séquence	48
B – Étapes d'évolution - modifications.....	48
C . Mise en œuvre dans les classes de la séquence la réfraction des rayons lumineux	48
D. Éléments d'évaluation de la séquence la réfraction des rayons lumineux	50
IV.3.3. Supports de la séquence la réfraction des rayons lumineux	54
TP1: version du TP sans illustration	54
TP2 : version du TP avec illustrations	57
Évaluation 1	60
Évaluation 2	60
IV.4. L'expérience de Boyle et Mariotte	62
IV.4.1. Grille de la séquence l'expérience de Boyle Mariotte	62
IV.4.2. Analyse de la séquence l'expérience de Boyle et Mariotte	63
A. Présentation de la séquence.....	63
IV.4.3. Support de la séquence l'expérience de Boyle Mariotte.....	65
Activité	65
IV.5. Mesure d'une petite longueur: l'expérience dite « de Franklin »	68
IV.5.1. Grille de la séquence l'expérience dite « de Franklin ».....	68
IV.5.2. Analyse de la séquence de l'expérience dite « de Franklin »	69
A. Présentation générale de la séquence	69
B. Étapes d'évolutions – modifications	72
C. Mise en œuvre dans les classes	73
D. Eléments d'évaluation.....	74
E. Variantes.....	76
IV.5.3. Supports de la séquence de l'expérience dite « de Franklin »	77
-TP1	77
- TP2	79
- TP3	80
IV.6. Une progression en chimie en classe de seconde	85
IV.6.1. Grille de la séquence une progression en chimie.....	85
IV.6.2. Présentation de la séquence une progression en chimie en classe de seconde.....	86
IV.6.3. Supports de la séquence une progression en chimie en classe de seconde	90
A propos des poids atomiques....	90
TP sur la mole.....	92
Exercices sur la Mole.....	93
V. Diffusion et valorisation	94
VI. Conclusion.....	95
VII. Bibliographie	97
ANNEXES	100
AI. Contrat.....	101
AII. Textes complémentaires	103
AII.1. Newton et les couleurs	103
Activité 1	103
AII.2. La réfraction des rayons lumineux	104
TP.....	104
Evaluation 1	107
Evaluation 2.....	110
AII.3. Franklin	112
Le texte original de Franklin.....	112
Deux textes contemporains	117
TP1.....	118
TP2.....	120

TP3.....	121
Evaluation 1	123
Evaluation 2	128
AII.4. Chimie.....	130
Poids atomiques- réponses.....	130
Cartes	131
Questionnaire sur la mole	134
AII.5. Histoire du Thermomètre.....	136
Grille.....	136
Support.....	137
AII.6. Archimède : une anecdote.....	139
AII.7. Deux approches ‘panoramiques’	146
AII.7.1. Une histoire générale des sciences	146
AII.7.2. Une histoire de la vision.....	157
AIII. Suppléments	166
AIII.1. Pourquoi les bateaux en métal flottent-ils?	166
AIII.2. Histoire de l’éclairage.....	168
AIII.3. Deux études documentaires : mesure de la vitesse de la lumière.....	173
Etude documentaire 1:	173
Etude documentaire 2:	175
AIII.4. Les lentilles à travers le temps	177

I. Introduction

Conditions de la recherche : équipe, histoire du groupe, modalités de travail

Ce groupe de recherche a été créé fin 2002, dans le cadre des projets PARI (programme académique de recherche et d'innovation) mis en place par l'IUFM et le rectorat. Il était prévu sur une durée de quatre années, pour se terminer en 2006 par la rédaction du présent rapport.

L'appel d'offre, lancé en octobre 2002 a permis de constituer l'équipe autour de deux enseignants chercheurs de l'IUFM, Léna Soler et Etienne Bolmont, spécialistes d'histoire et de philosophie des sciences. Les inscriptions se sont élevées à dix-sept enseignants de terrain, onze en collège et six en lycée (voir le contrat PARI en annexe : [AI. Contrat](#)).

La première réunion a eu lieu le 7 janvier 2003, à l'IUFM. Les réunions se sont ensuite succédées, à raison de trois par année scolaire.

Les motivations des praticiens étaient variées. Certains, ayant suivi des stages de formation continue en histoire des sciences, ou ayant une formation personnelle dans le domaine, ont voulu approfondir leur pratique pédagogique ; d'autres attendaient aussi une information complémentaire, à l'égal d'un stage mais avec la volonté de dépasser cette formation par une pratique effective.

Le groupe s'est réduit au fil des ans à cinq praticiens, qui sont les auteurs du rapport présenté ici. Cette désaffection s'explique de plusieurs façons :

- La quantité de travail demandé par la recherche a parfois été mal évaluée au départ et a conduit à un certain désenchantement,
- L'attente de formation n'a pas été pleinement satisfaite pour d'autres,
- Des problèmes de santé ont conduit au retrait d'au moins quatre enseignants,
- Certains inscrits ont eu des impératifs liés à l'organisation de leur établissement, ou n'étaient pas encore titulaires de leur poste....

Les deux formateurs du groupe notaient en 2004, lors d'un colloque sur la recherche dans les IUFM, à Reims :

Les praticiens éprouvent des difficultés à se mettre en situation de recherche, les implications sont très diverses :

- Il fallait dépasser la construction d'une séquence, mais l'envie est manifeste d'obtenir des séances toutes faites,
- L'attitude est d'abord consumériste, la différence stage-recherche est mal assumée,
- Un manque d'exigence de recherche, une sous-exploitation de l'histoire des sciences.

Les formateurs avançaient alors quelques explications :

- L'histoire des sciences recouvre tous les domaines des sciences et leur ajoute la dimension historique ce qui multiplie la somme de connaissances, on peut vite s'y perdre.
- Elle implique une rigueur, doit éviter les anachronismes et ne se réduit pas à des anecdotes.
- Elle déstabilise, remet en cause une image idéalisée des sciences et donne une autre idée de la vérité scientifique.

Les conditions de travail des enseignants de terrain font que le travail hors réunions est difficile à programmer : la progression est donc très lente.

Du point de vue pédagogique, l'histoire des sciences est souvent introduite à partir de textes dont la lecture est parfois perçue comme une perte de temps du point de vue d'une efficacité immédiate. Le bénéfice immédiat n'est pas évident.

À ces difficultés s'ajoutent des problèmes institutionnels ;

- pas de temps et de moyens alloués aux praticiens pour l'investissement dans une recherche en dehors des journées de rencontres du groupe PARI,
- aucune valorisation de ce type de travail dans la carrière des praticiens.

Malgré tout, grâce à un engagement quasi-militant, le groupe s'est stabilisé.

Le travail présenté ici est donc essentiellement celui des personnes qui composent le groupe à l'heure actuelle ; tous sont professeurs de sciences physiques.

Collège du Himmelsberg 13 r Abeilles 57215 Sarreguemines Cedex	Bauer Régis
Collège La Louvière 53 r Croix St Joseph 57155 MARLY	Breuzin Colin
Lycée Gustave Eiffel BP 83 57525 TALANGE	Falgas Marie Jo
Lycée Majorelle, 16 rue de la Porte de Metz, 54200 TOUL	Girsch Alain
Collège Guillaume Apollinaire 21 rte Petit Tholy 88530 Le Tholy	Veynandt Jean-Marie

D'autres enseignants extérieurs au groupe ont participé à la production de documents pour la classe, notamment à l'occasion de stages de formation continue en histoire des sciences. Ces textes sont intégrés aux suppléments dans les annexes : [AIII. Suppléments](#)

II. Pourquoi faire de l'histoire des sciences dans un cours de sciences ?

Les instructions officielles et les programmes relatifs aux cours de science, lorsqu'ils intègrent l'histoire des sciences, le font bien sûr avec, en arrière-plan, une certaine idée des bienfaits qui pourraient en résulter du point de vue de la formation des élèves. De cette manière, ils prescrivent une certaine réponse à la question 'pourquoi faire de l'histoire des sciences dans un cours de sciences' ? Il est donc important de les examiner de ce point de vue. Dans cette partie, on commencera par survoler rapidement la manière dont les instructions officielles ont, au fil du temps et des réformes, pris en compte (ou non) l'histoire des sciences (II.1.). On se livrera alors à une analyse critique de ce qu'il en est dans les programmes actuels de physique-chimie (II.2.). Enfin, on dégagera un répertoire thématique quasi-exhaustif des objectifs que l'on peut vouloir assigner à l'introduction de l'histoire des sciences dans un cours de physique-chimie (II.3.).

II.1. Quelques repères historiques sur l'histoire des sciences dans les programmes

La mention et la valorisation de l'histoire des sciences dans les instructions officielles relatives aux cours de science demeure une condition nécessaire pour que l'histoire des sciences soit intégrée dans l'enseignement effectif des sciences, même s'il y a souvent un décalage important entre les instructions officielles et la mise en œuvre concrète. Il est donc intéressant d'examiner si et comment les programmes français relatifs à l'enseignement des sciences dans le secondaire traitent de l'histoire des sciences, et l'évolution de cette question au fil des réformes. Ici ne seront donnés que quelques repères. Pour plus de développements, voir [Hulin 2002] et [Audigier et Fillon 1991].

1852 : Première introduction de l'histoire des sciences dans les instructions officielles

Le premier texte qui introduit l'histoire des sciences dans l'enseignement des sciences date de la réforme de 1852. Cette réforme, mise en place par le ministre Fortoul sous Napoléon III, sépare filières littéraires et scientifiques. L'introduction de l'histoire des sciences est en partie inspirée par un rapport de Jean Baptiste Dumas dans lequel le chimiste déclare : « En apprenant comment on invente, [l'étude des sciences] donne à chacun le moyen et l'espoir d'inventer au besoin ».

Dans ses instructions concernant les sciences physiques, J. B. Dumas recommande de résumer l'histoire des thèmes abordés pour rendre familière « la logique des inventeurs » et apprendre aux élèves à connaître et à vénérer les noms des hommes illustres qui ont créé la science. Il recommande la reproduction exacte de l'expérience et la lecture des textes originaux qui, en décrivant la démarche des savants, peut entraîner les professeurs sur la même voie, leur donnant ainsi la capacité de communiquer « cette conviction à leurs élèves ».

Les élèves littéraires ne sont pas mis à l'écart de ce mouvement : on doit leur donner un aperçu de l'évolution des sciences, illustrer les méthodes de la physique et montrer l'importance de l'expérience (dans un cadre de pensée d'orientation positiviste).

Des fonctions variables assignées à l'histoire des sciences au fil des réformes : fonction didactique ? Fonction de formation du raisonnement ? Fonction morale ? Fonction d'intégration culturelle

En 1890, intervient une réforme qui introduit une partie commune aux bacs ès lettres et ès sciences, et qui contient des recommandations relatives à l'histoire des sciences dans l'enseignement classique. Néanmoins Nicole Hulin souligne « le décalage profond entre ces

discours sur le bon usage de l'histoire des sciences dans le cours de physique et l'application qui en est faite dans la rédaction des traités élémentaires de physique » (ceci pourrait d'ailleurs certainement être souligné à propos de toutes les instructions officielles).

1891 voit s'accroître la place officiellement attribuée à l'histoire des sciences, par l'introduction de celle-ci dans l'enseignement moderne, ce dernier venant d'être instauré par décret en juin 1891. Il s'agit de montrer qu'on peut constituer des 'humanités scientifiques'. On expose les méthodes et l'histoire des découvertes, et le cours de philosophie comprend des éléments de philosophie des sciences.

La réforme de l'enseignement secondaire de 1902 continue d'accorder une place à l'histoire des sciences, mais elle déplace quelque peu le but assigné à l'histoire des sciences et les contenus qui y sont associés. L'inspecteur général, Lucien Poincaré, souligne que le bénéfice de l'enseignement de l'histoire des sciences est « surtout grand pour ceux qui savent beaucoup » et préconise que les débutants aillent directement aux « idées actuelles, où réside l'essentiel ». Il s'agit donc pour eux de présenter les connaissances dans un ordre systématique plutôt qu'historique. Mais si la considération des connaissances selon l'ordre historique n'est plus à l'ordre du jour, on peut néanmoins faire connaître la vie de grands savants : pour l'importance de leurs travaux bien sûr, mais surtout « pour la grandeur morale de leur dévouement à la science ». Un certain nombre de publications se centrent alors sur la vie des savants, allant jusqu'à reconnaître leur talent d'écrivains. La démarche scientifique est souvent présentée comme une méthode inductive propre à la découverte dans les sciences empiriques, et contrastée avec la méthode déductive propre à l'axiomatique.

Les instructions de 1954, élaborées sous la houlette du directeur de l'enseignement du second degré, Charles Brunold, valorisent l'ordre historique et réaffirment sa grande valeur didactique. Brunold affirme en effet : « On ne saurait bien pénétrer le sens des théories physiques qu'en assistant à leur formation historique ». Il s'agit toutefois d'une histoire des sciences simplifiée et arrangée. Face à la difficulté d'une stricte démarche historique, on parle de redécouverte, « en renonçant à parcourir les chemins sinueux qui ont conduit aux grands sommets de notre connaissance », mais en respectant les grandes étapes et « en recréant le climat de l'histoire ». Cette démarche a été très critiquée, pour son côté factice, voire intellectuellement malhonnête.

En 1971, est mise en chantier la réforme Lagarrigue. Le rapport d'orientation de la commission parle de collaboration pluridisciplinaire avec les historiens et les philosophes. Il faut donner des indications suffisantes sur les aspects historiques de l'élaboration et de l'évolution des concepts fondamentaux des sciences. Ces recommandations concernent d'abord les classes littéraires pour lesquelles on commence à parler de l'objectif de donner aux élèves une culture générale en développant leur curiosité scientifique et en mettant en relief les méthodes propres aux sciences physiques.

Les programmes du collège de 1985 ne font aucune place explicite à l'histoire des sciences, et pour ce qui est du lycée, l'histoire des sciences apparaît à dose homéopathique. Il en est ainsi question en seconde pour la notion de mole ; ou encore dans une recommandation qui vise les élèves qui ne s'orienteront pas vers les sciences, et qui préconise « d'ouvrir l'enseignement scientifique sur le monde extérieur en ne négligeant pas les applications techniques, les aspects économiques et l'histoire des sciences » ; le programme de première S et E ignore complètement l'histoire des sciences ; et en terminales C, D, et E, les références sont très rares. Audigier et Fillon concluent que « aucune dimension historique ni sociale n'est donnée à l'enseignement de cette discipline. Elle se situe dans une logique interne, hors du temps et de la société. En résumé, les programmes n'induisent pas à la construction d'une réelle culture scientifique chez les élèves en raison de l'absence de ces dimensions historiques et sociales.

Ils visent à faire acquérir un savoir strictement disciplinaire et actuel ». [Audigier et Fillon 1991, 60]. Seuls les programmes des classes littéraires introduisent l'histoire des sciences – d'une manière qui laisse transparaître la conception culturelle de l'histoire des sciences qui est en jeu.

En 1992, notamment sous l'influence de l'inspecteur général Hubert Gié, l'histoire des sciences revient de façon plus marquée dans les instructions et programmes du lycée.

Ce mouvement est conforté dans les instructions récentes, qui vont à présent être analysées assez en détail.

II.2. L'histoire des sciences dans les programmes actuels

II.2.1. Au collège

L'esprit des nouveaux programmes de 2005 pour le collège

Un objectif fondamental des nouveaux programmes de 2005 [progr. Collèges 2005], rappelé dans l'introduction générale, est de faire appréhender la physique et la chimie comme « des éléments de culture essentiels ».

On postule que l'objectif pourra être atteint en montrant aux élèves « que le monde est intelligible » et que « l'extraordinaire richesse et la complexité de la nature et de la technique peuvent être décrites par un petit nombre de lois universelles constituant une représentation cohérente de l'univers. Dans cet esprit, il doit faire appel à la dimension historique de l'évolution des idées ». Les citations qui précèdent sont littéralement reprises de l'introduction des anciens programmes de troisième de 1998 [progr. 3^{ème} 1998]. Il n'y a donc pas là de nouveauté.

Le message sous-jacent semble ici être le suivant : même les élèves qui ne se destinent pas aux métiers scientifiques et ne manifestent pas de potentialités particulières en ce domaine peuvent néanmoins espérer appréhender le monde physique ; point n'est besoin pour cela de pénétrer tous les détails du formalisme ; il suffit de s'approprier un nombre restreint d'éléments de base (identifiés à des lois universelles formant le socle d'une image cohérente du monde). C'est ici qu'intervient l'histoire des sciences : comme moyen de faire sentir et de montrer comment l'intelligibilité du monde a été progressivement gagnée, comment ce qui semble au premier abord extrêmement complexe finit par être saisissable. Les éléments fondamentaux à acquérir pour comprendre le monde physique ont une histoire qui est partie intégrante de l'histoire humaine : ils relèvent du patrimoine culturel commun et, à ce titre, doivent faire partie du bagage possédé par tout élève et futur citoyen au sortir du collège.

Il est bien évident que ces citations présupposent et véhiculent une certaine épistémologie (la thèse de l'existence d'un petit nombre de lois de la nature à la fois universelles et cohérentes)

a napos

Le cycle central : 5^{ème} et 4^{ème}

Pour ce qui est du cycle central, les nouveaux programmes de 2005 [[Progr. Collèges 2005](#)] accordent une place à l'histoire des sciences très accrue comparée aux programmes de 1997 [[Progr. 3^{ème} 1997](#)]

l'histoire des sciences, situées dans la partie « **Matériaux et électricité** ». L'une stipule que « L'existence des atomes étant rappelée aux élèves, une introduction historique doit leur faire prendre conscience que le modèle de l'atome qui leur est présenté est le fruit des efforts de plusieurs générations de scientifiques ». L'autre est une suggestion facultative qui figure dans la rubrique « exemples d'activité » : l'« étude d'un texte historique sur l'atome ».

Que ce soit dans les anciens ou les nouveaux programmes, cette pauvreté est en décalage avec les principes mis en avant en introduction.

II.2.2. Au lycée : généralités

Les nouveaux programmes de physique-chimie sortis en 1999 [Progr. Lycée 1999] accordent une place non négligeable à l'histoire des sciences, tant au niveau des principes fondamentaux énoncés en introduction que dans le détail des programmes.

Les « principes directeurs » des instructions officielles qui président aux détails des programmes de l'enseignement des sciences au lycée sont à cet égard sans ambiguïté. Ils déclarent en effet notamment (c'est nous qui soulignons) : « L'enseignement des sciences au lycée est d'abord conçu pour faire aimer la science aux élèves, en leur faisant comprendre la démarche intellectuelle, *l'évolution des idées, la construction progressive du corpus de connaissances scientifiques*. L'aspect culturel doit donc être privilégié » ; les enseignants doivent avoir le « souci (...) de *situer les développements scientifiques dans le contexte historique*. Ainsi, un certain nombre de développements scientifiques emblématiques seront examinés à la fois dans les cours de sciences et dans les cours d'histoire dont les programmes rénovés engloberont cette dimension ». « Dans bien des cas, rien ne peut remplacer l'exposé historique ».

L'importance de l'HS (l'histoire des sciences) est donc nettement affirmée. Pourquoi ? Qu'en attend-on donc ? Plusieurs choses – et en fait beaucoup. On la considère comme un moyen privilégié d'atteindre les objectifs plus généraux et valorisés suivants :

- susciter des vocations scientifiques et enrayer ainsi la désaffection actuelle ;
- créer chez le citoyen non scientifique une attitude sereine face à la science et lui donner un bagage minimum suffisant pour s'informer et prendre position en connaissance de cause dans toutes les questions de société mettant la science en jeu ;
- fortifier le sentiment d'appartenance à notre société ;
- développer les facultés de raisonnement, l'esprit critique, la disposition à ne pas affirmer sans arguments et à s'affronter à la réalité des faits...

Examinons ces divers objectifs plus en détail un par un, en nous appuyant sur la lettre des programmes de 1999 pour le lycée.

II.2.3. Faire aimer la science

Un objectif premier assigné à l'enseignement des sciences, vis-à-vis duquel l'histoire des sciences fait figure de moyen efficace, est de « faire aimer la science » [Progr. Lycée 1999].

Il s'agit certes de susciter des vocations, notamment afin de lutter contre la désaffection des carrières scientifiques : « Enrayer une certaine désaffection pour la physique », inciter « certains élèves à s'orienter vers les filières à dominante scientifique et à choisir plus tard les métiers liés aux sciences et aux technologies ». Mais il s'agit aussi, et peut-être surtout, de créer chez les autres, les plus nombreux, une certaine attitude face à la science : de faire en sorte que les futurs adultes qui ne feront pas de la science leur profession s'intéressent

néanmoins à la science et la considèrent sans peur ou inhibitions, connaissent les bases indispensables et sachent se déterminer par rapport à elle (« continuer à s'intéresser aux sciences, à ne pas en avoir peur, à pouvoir aborder ultérieurement la lecture des revues

II.2.5. Former les élèves à la démarche scientifique

Privilégier la démarche plutôt que les contenus scientifiques

Les remarques précédentes relatives à la dimension méthodologique de la culture scientifique nous conduisent à considérer à part un troisième objectif très explicitement assigné par les programmes de 1999 [Progr. Lycée 1999] et à l'enseignement des sciences en général, et à l'histoire des sciences en particulier : faire comprendre aux élèves ce qu'est la démarche scientifique effective, et corrélativement leur faire pratiquer des méthodes qui – en tenant compte des adaptations pédagogiques inévitables dues au niveau des élèves – s'en rapprochent le plus possible, avec l'espoir de leur faire progressivement acquérir une 'attitude scientifique'.

Les cours de science au lycée doivent en effet, nous dit-on, « privilégier l'enseignement de la démarche scientifique » [plutôt que celui des contenus], même si « naturellement, il est impossible d'apprécier une discipline, sans avoir un certain nombre de bases ». Et cela peut notamment être atteint grâce à l'histoire des sciences : « l'enseignement scientifique doit montrer comment ces contenus [scientifiques] sont élaborés, quels sont les protocoles expérimentaux et théoriques mis en place par la science *au cours de son développement historique* (...). Restituer la dimension historique du développement des sciences peut jouer ici un rôle spécifique essentiel ». Car « l'exposé axiomatique de la science déjà faite ne correspond pas au mouvement de la science en train de se faire » et ne permet pas de mettre en évidence ses démarches réelles. À l'exposé axiomatique, qui s'en tient aux principes admis et résultats établis, on substituera donc l'approche historique, qui met en évidence la genèse de ces résultats et les démarches correspondantes. Le recours à l'histoire des sciences est ici supposé à la fois exemplifier ce qu'est la méthode scientifique réelle, et aider progressivement l'élève à travailler selon une démarche apparentée.

Pratiquer la démarche scientifique expérimentale, pourquoi ?

De la pratique de la démarche scientifique par l'élève, les concepteurs des programmes attendent beaucoup.

Il s'agit d'une part de faire prendre conscience à l'élève de la nature de la démarcation entre les sciences et les autres types de connaissances (« Faire comprendre ce qui différencie la science des autres domaines de la connaissance, par une pratique de la démarche scientifique » [Progr. Lycée 1999], montrer en quoi les *protocoles expérimentaux et théoriques* mis en jeu « sont spécifiques à la science » ; mais il s'agit, au-delà, de favoriser le développement de compétences transversales susceptibles d'aider le futur adulte à se repérer dans le monde et à s'insérer dans la société.

« Pourquoi un enseignement expérimental ? [les expressions de « démarche scientifique » et de « démarche expérimentale » sont souvent employées comme synonymes dans les instructions officielles, et on peut admettre que c'est le cas ici]. Il offre la possibilité de répondre à une situation-problème par la mise au point d'un protocole, la réalisation pratique de ce protocole, la possibilité d'aller-retour entre théorie et expérience, l'exploitation des résultats. Il permet à l'élève de confronter ses représentations avec la réalité. Il apprend à l'élève à observer en éveillant sa curiosité. Il développe l'esprit d'initiative, la ténacité, le sens critique. Il permet de réaliser des mesures, de réfléchir sur la précision de ces mesures, d'acquérir la connaissance de quelques ordres de grandeur. Il aide l'élève à s'approprier des lois, des techniques, des démarches et des modes de pensée. Ainsi, les activités expérimentales établissent un rapport critique avec le monde réel et incontournable, où les observations sont parfois déroutantes, où des expériences peuvent échouer, où chaque geste demande à être maîtrisé ».

Les potentiels effets formateurs pour l'élève relèvent de divers registres. On espère, en plus de l'acquisition d'un certain nombre de connaissances (« acquérir la connaissance de quelques ordres de grandeur » ; « s'approprier des lois »), développer dans le même mouvement chez l'élève et le futur adulte les compétences suivantes :

- La curiosité envers le monde (« en éveillant sa curiosité »), le désir de comprendre ou d'expliquer les phénomènes qui s'y manifestent, la disposition à questionner et à s'étonner...
- Le sens de l'observation (« apprend à l'élève à observer » ; « observations (...) parfois déroutantes »...) – lequel va de pair avec la disposition à questionner dans la mesure où l'on remarque surtout ce que l'on cherche à comprendre, ce à propos de quoi on s'étonne...
- La faculté d'analyse et de raisonnement (« exploitation des résultats » ; « sens critique » ; « s'approprier (...) des démarches et des modes de pensée »), ainsi que la tendance à élaborer activement des moyens pour avancer dans les problèmes posés (« répondre à une situation-problème par... », « développe l'esprit d'initiative »).
- La tendance à ne pas affirmer sans preuve ou arguments, à se confronter aux faits, à ne pas prendre ses désirs pour des réalités (« confronter ses représentations avec la réalité » ; « établissent un rapport critique avec le monde réel et incontournable » ; « possibilité d'aller-retour entre théorie et expérience »).
- La maîtrise manipulative (« la réalisation pratique de ce protocole » ; « réaliser des mesures » ; « s'approprier (...) des techniques » ; « chaque geste demande à être maîtrisé »).
- Le sens de la précision des mesures, la capacité à rapporter le degré de précision des résultats aux éléments concrets de la situation comme aux objectifs poursuivis (« réfléchir sur la précision de ces mesures »).
- Le sens et le goût de l'effort, de la persévérance face aux difficultés et à l'échec (« développe (...) la ténacité » ; « des expériences peuvent échouer »).

De telles compétences sont évidemment utiles bien au-delà du cours de science et de la pratique scientifique. Elles favorisent des « compétences transversales », utiles dans diverses circonstances de la vie : « trier les informations, décrire une expérience, un phénomène, utiliser un vocabulaire scientifique, rédiger une argumentation en utilisant à bon escient les conjonctions car, donc, si... alors, etc. ». « Savoir ce qu'est une simulation et la distinguer clairement de résultats expérimentaux »...

La démarche scientifique, c'est-à-dire ?

La démarche scientifique est communément associée dans les esprits aux idées de raisonnement rigoureux, d'appui des affirmations sur des observations ou des expériences, etc. Mais savons-nous ce qu'est exactement la « démarche scientifique » ?

Il faut souligner ici que 'la science telle qu'elle se fait' et la 'méthode scientifique effective' sont dans le détail problématiques : elles sont objet de discussions animées chez les historiens et philosophes des sciences, et des désaccords importants se manifestent. Ceci étant dit, les programmes de 1999 fournissent un certain nombre de précisions sur la conception de la science qui est mobilisée. Sans pouvoir nous livrer à une analyse critique détaillée de la conception de la démarche scientifique mise en avant, donnons au moins quelques indications.

La conception de la science qui sous-tend les prescriptions des nouveaux programmes et notamment la demande d'introduire l'histoire des sciences, résumée en une formule, « est que le développement des sciences se fait par un va-et-vient entre l'observation et l'expérience d'un côté, la conceptualisation et la modélisation de l'autre »

par la mise au point d'un protocole, la réalisation pratique de ce protocole, la possibilité d'aller-retour entre théorie et expérience, l'exploitation des résultats » (nous soulignons). « La tentation est grande de traiter la complexité intrinsèque de la situation expérimentale par la rédaction de feuilles de travaux pratiques où tous les gestes à faire sont prédéterminés, sans que la clef de leur raison d'être soit jamais accessible aux élèves : la pratique scientifique est alors transformée en pratique magique ». Le risque

Mais qu'est-ce donc que la modélisation ?

On entend par « activité de modélisation », « le travail d'élaboration d'une représentation abstraite simplifiée d'un phénomène, nécessitant d'identifier les paramètres pertinents et ceux qui sont négligeables dans la situation donnée, activité qui peut fournir une compréhension qualitative du phénomène et déboucher éventuellement sur une mise en équations dont la résolution fournira des évaluations quantitatives ». Un exemple donné est celui du modèle du pendule simple – où parler de « modèle » sous-entend que l'on n'a pas affaire à un décalque du réel, mais au résultat d'une sorte de « stylisation » utile eu égard à certains objectifs (masse ponctuelle, oscillations sans frottement, etc.).

Une telle démarche de « stylisation », difficile, fait partie intégrante de la démarche scientifique, et est même présentée par les programmes de 1999 comme l'élément le plus important de cette démarche : « l'exercice de modélisation du réel est sans doute la démarche la plus importante et aussi la plus difficile dans la démarche scientifique. Passer du concret à l'abstrait, de l'observation à sa traduction formalisée demande que l'on soit capable d'extraire du monde réel une représentation simplifiée, le degré de simplification dépendant du niveau où l'on se situe. La modélisation fait appel à des langages symboliques qui, suivant les cas, peuvent être des diagrammes, des schémas ou des expressions mathématiques ».

Dans ce processus de modélisation, la mathématisation est un aspect important, mais qui n'épuise pas la question. La « langue naturelle » « demeure celle de la *question que l'on se pose* et de la *compréhension qualitative* d'un phénomène », « même si, à un stade avancé d'analyse d'une situation physique c'est (...) [le langage mathématique] qui permet de faire des prédictions quantitatives ou de découvrir des effets qualitatifs inattendus ». Il s'agit de conduire l'élève à un mouvement de va-et-vient entre langage naturel et langage formel, sans sacrifier aucun de ces deux aspects au détriment de l'autre, même si à terme, « il faut amener les élèves à comprendre que le comportement de la nature s'exprime à l'aide de lois générales qui prennent l'expression de relations mathématiques entre grandeurs physiques bien construites ».

En bref, les nouveaux programmes soulignent que la démarche expérimentale n'est intéressante pour l'élève que si elle développe la pratique et la compréhension de la modélisation.

En quoi l'histoire des sciences peut-elle ici être utile ? Bien que cela ne soit pas explicitement mentionné dans les programmes, on peut soutenir qu'un abord historique de la question de la modélisation en physique-chimie pourrait être formateur, tant sur le plan culturel que didactique : il permettrait par ex. de montrer diverses étapes d'évolution, de complexifications et de transformations, des modèles actuellement utilisés, ou encore de souligner que le lien étroit entre physique et mathématique, qui semble aujourd'hui aller de soi, ne s'est constitué historiquement que fort tardivement (à l'échelle de l'histoire de l'humanité), à savoir au cours de la dite 'révolution scientifique' des XVI^e-XVII^e siècles.

- L'intégration des tâtonnements et des erreurs

Une citation des programmes mentionnée plus haut indiquait que dans la démarche scientifique « les élèves doivent (...) anticiper (*quitte à faire des erreurs*) » (nous soulignons) ; ailleurs on nous dit qu'il faut enseigner l'expérimentation à l'élève, « en acceptant les tâtonnements, les erreurs, les approximations » ; ou encore que « les activités expérimentales établissent un rapport critique avec le monde réel (...) où des expériences peuvent échouer » [Progr. Lycée 1999].

Ici le rôle de l'histoire des sciences est évident. L'histoire des sciences montre que les scientifiques, même les plus grands, se sont parfois trompés et ne parviennent presque

toujours aux solutions finalement retenues qu'après beaucoup d'efforts, de tentatives avortées, d'expériences renouvelées et de rectifications. L'histoire des sciences met donc en évidence que la science réelle est faite par des êtres humains faillibles.

Si donc l'élève doit saisir et intégrer quelque chose de la démarche scientifique effective, il doit comprendre que les réponses ne s'imposent pas d'emblée et que l'erreur n'est pas un signe d'incompétence disqualifiante... Il doit comprendre que ce qui compte est la capacité d'analyser les situations (erreurs comprises)... Plus : il doit comprendre que l'attitude scientifique présuppose (par opposition à la croyance dogmatique) d'intégrer la possibilité que l'on se trompe ou que l'on s'est trompé.

En mettant en avant ces aspects, notamment par l'intermédiaire de l'histoire des sciences, on espère un changement de l'image qu'a souvent l'élève de la science : l'image d'une vérité révélée et indiscutable sortie d'on ne sait où et qui effraye par son caractère surhumain. On espère que l'élève comprendra que les théories ne sont pas telles quelles imposées par les résultats des expériences, qu'il ne suffit pas de 'regarder attentivement'... Que ces résultats eux-mêmes ne sont des résultats authentiques que sous certaines conditions de protocole tout à fait délicates... Bref, au total, on espère que la science en ressortira humanisée et désacralisée, et qu'elle paraîtra en conséquence à la fois plus accessible et attrayante. On espère corrélativement, sur un plan plus général, que le rapport de l'élève à l'effort, aux difficultés et à l'erreur s'en trouvera modifié dans un sens positif. Si « L'exposé historique permet de mesurer la difficulté que l'humanité a rencontrée pour résoudre des problèmes qui peuvent aujourd'hui sembler élémentaires », ceci peut avoir valeur d'exemple et de motivation pour l'élève. Et si l'histoire des sciences montre que même les plus grands scientifiques se sont trompés et ont parfois discuté âprement entre eux de l'interprétation des expériences, ceci peut aider l'élève à ne pas perdre confiance en lui à la moindre erreur commise ou lorsqu'il ne trouve d'emblée les hypothèses vers lesquelles l'enseignant s'efforce de l'orienter.

II.2.6. Mettre en évidence les interactions entre les diverses disciplines scientifiques et

certain nombre de développements scientifiques emblématiques seront examinés à la fois dans les cours de sciences et dans les cours d'histoire dont les programmes rénovés engloberont cette dimension » [Progr. Lycée 1999].

D'autres connexions peuvent être mises en évidence par la pratique de l'histoire des sciences, et notamment :

- connexions entre les diverses disciplines scientifiques (« Souci d'intégration des diverses disciplines dans une conception globale de la science » ; l' « enseignement des sciences au lycée est construit, sans doute pour la première fois, comme un tout et non comme une simple juxtaposition de disciplines contiguës » [progr 1999]). La science est « un tout aux parties interdépendantes, non (...) une juxtaposition ». Il y a des « dépendances et degrés de dépendance » : l'« on ne peut pas faire de géologie sans biologie, chimie et physique, (...) l'on ne peut pas comprendre la biologie sans chimie et un peu de physique, (...) l'on ne peut pas faire de chimie sans physique », et en même temps (...) « chaque discipline a des raisonnements, des approches, des apports qui sont indépendants, originaux et spécifiques ».
- Connexions entre contenus scientifiques – découvertes de nouveaux phénomènes, élaboration de nouvelles théories, nouvelles inventions techniques, etc. – et transformation des sociétés humaines et les modes de vie des individus (« l'exposé historique » « a un côté culturel irremplaçable, qui situe la découverte scientifique dans son contexte temporel mais aussi montre comment les découvertes scientifiques ont influencé le cours de l'histoire » (nous soulignons)). À titre de cas particulier : « Faire apparaître les liens entre l'activité scientifique et le développement technologique qui conditionne notre vie quotidienne » ; montrer les liens entre les théories scientifiques et les dispositifs instrumentaux (lesquels sont conçus sur la base de théories développées dans l'histoire : « tout objet moderne est un concentré de trois siècles de science »).

II.2.7. Former des citoyens désireux et capables de s'impliquer dans les choix de société mettant la science en jeu

Les divers objectifs précédemment analysés sont tous supposés concourir à la réalisation d'un objectif de niveau supérieur que l'on peut considérer à part : former l'esprit critique en général, et en particulier fournir un bagage minimum (connaissances et démarches) susceptible de permettre à tout citoyen, même non scientifique, de s'intéresser et de prendre position en connaissance de cause dans certains choix de société mobilisant les sciences (« offrir à chacun, futur scientifique ou pas, une culture de base dans un domaine de la connaissance indispensable à la compréhension du monde qui nous entoure, et ceci à une époque où nous sommes confrontés à des choix de société, notamment en matière d'environnement » [Progr. Lycée 1999]).

Il faut enseigner les sciences de telle sorte que les élèves futurs citoyens :

- 1/ aient envie de prendre position dans les débats de société mobilisant la science et les technologies ;
- 2/ s'en sentent capables ;
- 3/ en aient réellement les moyens.

L'histoire des sciences, en favorisant l'acquisition d'une culture scientifique de base, l'intérêt pour les sciences, la désacralisation des sciences, l'acquisition de démarches de raisonnement rigoureuses appuyées sur les faits, bref tous les aspects qui ont été mis en avant précédemment, est conçue comme un moyen de contribuer à l'obtention de « comportements

citoyens », d'inciter les futurs adultes, y compris ceux qui ne choisiront pas la voie scientifique et technique, « à participer à des choix citoyens sur des problèmes où la science est impliquée ». Si l'élève et futur adulte a, notamment grâce à l'HS, appris à saisir ce qu'est spécifiquement la science (ce qui la distingue d'autres pratiques humaines non scientifiques, l'art, les pseudosciences etc.), s'il a pratiqué l'art de l'argumentation, la méthode hypothético-déductive, le sens de l'observation, le respect des faits, alors, il aura plus de chances de savoir faire le partage entre science et non science (astronomie et astrologie par ex.), de ne pas se laisser intimider par des affirmations dogmatiques du type « c'est scientifiquement prouvé ! », de pouvoir exercer son jugement propre, de discuter... Bref, de ne pas se laisser manipuler.

II.3. Plus concrètement... Pourquoi et quand introduire l'histoire des sciences ?

II.3.1. Pourquoi ?

Comme le texte de présentation des programmes du lycée le met en avant, la raison d'être de l'histoire des sciences est d'abord un apport culturel. L'histoire des sciences doit permettre de montrer que les sciences ne sont pas un domaine figé, qu'elles ont évolué avec des avancées mais aussi des reculs, dans des théories dont il faut relativiser l'idée de vérité... Pour cela, on pourra viser les compétences suivantes:

- Savoir relier les périodes scientifiques aux périodes historiques, en considérant l'histoire des sciences d'un point de vue interdisciplinaire ; connaître les grandes idées de certaines époques, et l'évolution de ces idées ;
- Percevoir la durée du cheminement d'une idée jusqu'à l'élaboration d'une loi
- Connaître quelques grands noms des savants qui ont marqué un domaine, souvent des savants dont le nom apparaît dans l'intitulé d'une loi :
 - Les situer chronologiquement,
 - Connaître leur pays d'origine, quelques faits marquants dans leur vie,
 - Connaître leur œuvre principale, et la situer dans l'évolution du domaine ;
 - Savoir situer chronologiquement quelques inventions et pouvoir les relier aux domaines scientifiques concernés (lien avec l'histoire des techniques).

Dans un deuxième temps, on peut se poser des questions d'épistémologie :

- Comprendre la place de l'hypothèse et sa relation avec la théorie dominante au moment où elle est émise,
- Aborder le rôle de l'expérience et ses interprétations,
- Comprendre le rôle de l'erreur,
- Pouvoir suivre le raisonnement expérimental d'un savant,
- Saisir les relations entre science et société.

On peut ensuite prendre en compte les objectifs liés à la didactique des sciences. Il s'agit ici essentiellement de modifier la pratique habituelle en introduisant les apports de l'histoire des sciences dans les apprentissages définis par les programmes. Au niveau de l'enseignant :

- Lier les apports historiques à l'activité expérimentale réalisée par les élèves : textes décrivant des expériences ou des lois...

- Faire comprendre les écrits des sources primaires en faisant le lien entre les connaissances actuelles et ce qui est exprimé dans le texte ancien.

II.3.2. Quand ?

D'un point de vue pédagogique, l'histoire des sciences peut intervenir dans toutes les phases de la séquence. Elle permet :

- Au début d'une séquence, d'introduire un problème scientifique, de faire réagir les élèves en leur permettant d'exprimer leurs idées sur le problème (représentations),
- de présenter, en cours de séance, l'expérience différemment,
- d'apporter, en fin de séquence, une conclusion, ou de servir de support à une évaluation,
- de permettre un retour sur les apports de la séquence, en changeant la présentation des notions ou en les approfondissant.

Certains supports audiovisuels peuvent être utiles : extraits de « C'est pas sorcier » ou d'autres émissions grand public de la télévision, CD-rom autour d'un personnage ou d'un thème, logiciels...

L'activité historique est le plus souvent intégrée dans la pratique pédagogique classique. Elle peut aussi constituer une activité à part entière. C'est cependant plus rarement le cas, car les programmes ne le permettent pas facilement. Des séances de travaux pratiques peuvent largement intégrer l'HS (renvoi à réfraction ou Franklin). Certains IDD en collège, TPE en lycée peuvent aussi être l'objet d'une approche historique.

II.4. Répertoire synthétique des divers objectifs assignables à l'histoire des sciences dans un cours de science

Pourquoi intégrer l'histoire des sciences au cours de sciences ?

Nous proposons ci-dessous un répertoire quasi-exhaustif et synthétique des différentes possibilités. Ce répertoire servira de référence dans la partie IV, lors de la présentation des séquences d'histoire des sciences analysées par le groupe de recherche : pour chaque séquence élaborée, on indiquera le ou les numéro(s) des objectifs ci-dessous susceptibles d'être atteints.

1. Pour faire aimer les sciences, intéresser aux sciences, éveiller la curiosité pour les sciences ?

L'histoire des sciences peut permettre d'associer aux sciences, souvent perçues par les élèves comme abstraites et arides, une dimension imaginaire susceptible de susciter ou d'accentuer l'intérêt des élèves pour les sciences.

Ce sera par exemple le cas si l'enseignant présente les accomplissements scientifiques actuels comme un moment d'une épopée héroïque conduite par de grands savants, comme une aventure humaine s'assignant le but valorisé de comprendre le monde, d'accéder à la vérité, ou de maîtriser le monde physique en vue de l'amélioration des conditions de vie humaine....

C'est donc une fonction de motivation, d'éveil de l'intérêt, de la curiosité pour les sciences : l'histoire des sciences comme moyen de créer des conditions favorables en vue de la transmission des contenus/compétences prescrits par les programmes de physique-chimie ; comme moyen de créer un rapport serein aux sciences, de susciter l'intérêt pour les sciences

même chez ceux qui ne sont pas spécialement doués pour elles ou qui ne se destinent pas à ce métier, voire comme moyen de susciter des vocations.

2. Pour constituer une culture scientifique et technique et, ainsi, aider l'élève à se situer dans une filiation

Il s'agit de donner aux élèves un certain nombre de repères concernant les sciences au cours de notre histoire : les grandes théories ; les grands scientifiques ; les grandes révolutions ; les grandes découvertes ; la mise au point et la mise en œuvre effective de nouveaux moyens techniques ; la place sociale de la science par rapport à d'autres champs...

Cela peut notamment permettre aux élèves de comprendre que l'importance et l'autorité actuelle des sciences et des techniques n'a pas toujours été ; de comprendre comment la science en est venue à occuper la place qu'elle occupe... De se situer dans une filiation (savoir d'où l'on vient), et de se nourrir ainsi le sentiment d'appartenir à la communauté humaine.

C'est donc une fonction de formation de l'individu et du citoyen : l'histoire des sciences au service de la formation d'individus cultivés, conscients qu'ils s'inscrivent dans une histoire, se repérant au sein de cette histoire, se sentant impliqués dans cette histoire.

3. Pour contribuer à faire découvrir ce que sont les sciences réelles et ce qu'est 'l'esprit ou l'attitude scientifique', et corrélativement, pour faire acquérir aux élèves une démarche apparentée à la méthode scientifique

On comprend mieux ce que sont les sciences et ce que sont ses méthodes si l'on saisit comment les théories scientifiques actuellement en vigueur se sont progressivement constituées, sur la base de quels types d'arguments et d'expériences (plutôt que de présenter seulement les résultats admis aujourd'hui).

Il s'agit de sensibiliser les élèves aux démarches spécifiquement scientifiques, à l'attitude ou l'esprit scientifique (ceci recouvrant une partie importante de ce que l'Education Nationale comprend aujourd'hui sous le slogan d'« éducation à la citoyenneté » : esprit critique, maîtrise de l'argumentation, rigueur, respect des faits, position consistant à ne pas affirmer sans éléments de preuve, etc.).

C'est donc une fonction de formation de l'individu et du futur citoyen : l'histoire des sciences au service d'une meilleure compréhension de ce qu'est cette activité humaine appelée 'science' (qui aujourd'hui occupe une place importante dans notre société) ; l'histoire des sciences au service du développement des facultés intellectuelles de l'individu...

4. Pour contribuer au développement d'une 'éthique scientifique' (éthique à *propos* des sciences : réflexion concernant ce qu'il faut faire pour bien utiliser les moyens que nous confèrent les sciences et les technologies)

Il s'agit de faire réfléchir à la place effective et souhaitable des sciences et des techniques dans notre société ; à ce que peuvent et ne peuvent pas les sciences (les questions auxquelles elles permettent ou ne permettent pas de répondre) ; à la différence entre progrès scientifique-technique et progrès humain ; au rôle des experts...

La considération de l'histoire des sciences peut ici aider, car tirer des enseignements des erreurs ou des succès des attitudes développées dans le passé permet d'être mieux armé dans le présent ; de réfléchir de manière plus distanciée aux implications sociales des développements scientifiques et techniques ; de faire prendre conscience d'un devoir de vigilance...

C'est donc une fonction de formation de l'individu et du futur citoyen : l'histoire des sciences au service d'une meilleure compréhension des rapports entre science et société, d'une implication accrue, informée et responsable, du citoyen dans les polémiques touchant à ces rapports.

5. Pour mieux cerner et éclaircir par contraste le contenu des concepts scientifiques contemporains

En spécifiant quelques étapes clés de l'évolution d'un concept scientifique, et en comparant le sens actuel et le sens passé, on peut espérer mieux comprendre le sens actuel. Il s'agit à la fois faire lien avec des idées passées apparentées mais plus simples et plus intuitives, et de différencier les concepts scientifiques actuels de ces anciennes idées simples et intuitives, de manière à faire mieux saisir l'idée plus complexe et contre-intuitive qui est en jeu.

C'est donc une fonction didactique : l'histoire des sciences au service de la facilitation de l'apprentissage des sciences.

6. Pour rechercher et analyser les obstacles épistémologiques

Il s'agit ici d'identifier et de lutter contre les préconceptions des élèves qui constituent des obstacles à l'apprentissage de certaines notions scientifiques.

Quand de réelles similitudes apparaissent entre les préconceptions des élèves et des idées scientifiques anciennes, la présentation des modèles scientifiques anciens, la confrontation de ces derniers avec les modèles actuels, et éventuellement, la présentation de quelques arguments ayant conduit à abandonner l'ancien pour le nouveau, peut susciter un questionnement chez les élèves et les aider à reconsidérer leurs conceptions initiales.

C'est donc une fonction didactique : l'histoire des sciences au service de la facilitation de l'apprentissage des sciences.

7. Pour montrer aux élèves la cohérence des savoirs enseignés, pour décloisonner les disciplines et leur donner ainsi plus de sens

L'histoire des sciences met en relation science et histoire. Elle peut montrer l'évolution historique des rapports entre la science et d'autres champs, ou entre les différentes disciplines scientifiques.

Cette dimension peut être déployée à travers des projets interdisciplinaires mobilisant des enseignants de diverses disciplines ; ou favorisée par des contenus de programmes coordonnés dans cet esprit (coordination des programmes d'histoire et de physique-chimie par exemple).

C'est donc une fonction de liaison et de donation de sens : l'histoire des sciences intervient ici à titre de mise en relation entre plusieurs disciplines scolaires ordinairement enseignées de manière séparée (par ex. physique-chimie et histoire, ou physique-chimie et SVT...).

III. Méthodologie de l'histoire des sciences

III.1. Difficultés méthodologiques liées à l'histoire des sciences

L'histoire des sciences est l'histoire d'un objet particulier, les sciences, mais elle relève de la discipline historique. Elle se heurte donc aux mêmes difficultés, et est soumise aux mêmes réquisits méthodologiques, que toute discipline historique.

Les récits historiques ne sont jamais de purs décalques du réel. Ils comportent inévitablement une dimension interprétative. Or la méthode de validation du récit historique permet la coexistence de plusieurs comptes-rendus différents, voire incompatibles, des mêmes épisodes passés. L'histoire des sciences ne fait pas exception : il existe des versions différentes, souvent conflictuelles, de la plupart des grands épisodes scientifiques.

D'où une difficulté pour le non-spécialiste qui veut utiliser l'histoire des sciences : comment choisir entre ces comptes-rendus ? Cette difficulté vaut tant pour les enseignants que pour ceux qui élaborent les programmes et les documents d'accompagnement, car ni les uns ni les autres ne sont en général sérieusement formés à l'histoire des sciences et à ses difficultés méthodologiques propres.

Certains choix s'apparentent à une simple option concernant la délimitation du sujet. On peut lire ainsi les distinctions classiques entre histoire de la genèse et histoire des résultats, ou entre histoire internaliste et histoire externaliste des sciences. Dans cet esprit, on considère ces distinctions :

- comme le choix, 'neutre', de se focaliser, par ex., sur les produits de la recherche (chronologie des lois, principes théoriques, résultats expérimentaux, techniques...), ou bien d'intégrer, *de plus*, l'analyse des conditions y ayant conduit (raisonnements, méthodes, polémiques, erreurs, contexte historique...);
- ou encore comme la décision, 'neutre', de se focaliser sur les facteurs internes (théories et méthodes scientifiques passées), ou bien d'intégrer *de plus* des facteurs externes (organisation institutionnelle de la recherche, circuit de diffusion des informations, conditions sociales, culturelles, religieuses, politiques...).

Mais de tels choix sont en fait rarement, de la part de l'historien, 'neutres'. Les distinctions entre histoires de la genèse/ des résultats, et histoire internaliste/ externaliste traduisent, le plus souvent, des thèses opposées sur la nature de la science et de son développement. Ecrire une histoire de la genèse *internaliste*, par ex., suppose d'admettre que les facteurs externes peuvent être passés sous silence, donc d'admettre que la science a une logique interne indépendante. À l'inverse, de nombreuses histoires de la genèse *externalistes* sont animées par la conviction que la science est un *pur produit social* (les résultats d'expérience n'étant pas déterminants). La distinction internaliste/ externaliste devient, dans ces cas, une *opposition* portant sur les facteurs causaux du développement scientifique.

Dès que l'on veut faire de l'histoire des sciences de manière un peu approfondie, il est indispensable de prendre position et de se repérer au sein de ces divers comptes-rendus incompatibles.

Il est de plus souhaitable d'être conscient que la manière dont on raconte un épisode induit, plus ou moins subrepticement, une certaine image du développement scientifique.

- Par ex., une chronologie suggère souvent un progrès linéaire et une croissance cumulative ;

- Ou encore, la technique date-nom-découverte suggère une conception de la découverte comme processus soudain, œuvre d'un seul homme et indépendante du contexte théorique et historique.

Ceci n'implique pas du tout qu'il ne faille pas procéder de la sorte. Mais ceci incite à s'interroger au préalable pour agir en connaissance de cause. Car selon la manière dont on raconte l'histoire des sciences, on contribue à véhiculer et inculquer une certaine idée de ce qu'est la science, la méthode ou l'attitude scientifiques – en d'autres termes une certaine philosophie des sciences ou épistémologie. C'est en ce sens que l'histoire des sciences et la philosophie des sciences sont intimement liées, et liées par des relations à double sens : la manière dont on raconte l'histoire des sciences est porteuse d'une certaine idée de la science, et réciproquement, l'idée que l'on se fait de la science influe sur la manière dont on raconte l'histoire des sciences.

Ceci est source de difficultés. Pour introduire l'histoire des sciences en connaissance de cause, les enseignants devraient s'appuyer sur une conception de la science elle-même adoptée en connaissance de cause. Or la nature de la science – de sa démarche spécifique, de la dynamique de son progrès (évolutions cumulatives ou refontes profondes par exemple), de son origine, etc. – ne vont pas de soi. Les philosophes des sciences spécialistes manifestent des désaccords importants sur ces questions. En outre, presque tous s'accordent, négativement, pour récuser comme intenable une certaine image de la science, souvent dite 'empiriste' ou 'positiviste' naïve, qui s'identifie à celle du 'sens commun' ou en tout cas s'avère extrêmement répandue chez ceux qui n'ont pas entrepris une réflexion approfondie sur ces questions, ce qui est le cas de la plupart des enseignants de science comme de ceux qui élaborent les programmes. On ne peut évidemment pas le leur reprocher dans la mesure où ces éléments n'entrent pas dans la formation scientifique ordinaire. Résultat : c'est presque toujours une épistémologie implicite, ou une épistémologie explicite spontanée (non discutée et discutable), qui opère de manière sous-jacente dans les cours de science ou dans les instructions officielles. Ceci vaut déjà pour la conception d'un cours ou d'un TP, mais ceci se manifeste de manière encore plus marquée pour ce qui est de la manière dont est traitée l'histoire des sciences.

Enfin, si l'histoire *des sciences* est soumise, comme noté plus haut, à toutes les difficultés méthodologiques de l'histoire tout court, elle est *de plus*, par rapport à d'autres types d'histoires, soumise à un risque *spécifique* qui tient à la nature *particulière* de son objet d'étude, la science. Contrairement à ce qui vaut pour d'autres domaines, la science est en effet supposée progresser. Il existe certes des débats entre philosophes des sciences quant à la nature du progrès scientifique (de plus en plus de vérités toujours plus précises ? Ou seulement des outils théoriques et techniques de plus en plus puissants pour prédire et agir ?). Néanmoins, la science reste l'un des rares domaines où l'on admet communément qu'il y a progrès. Comparativement, le progrès est beaucoup moins évident, par ex., dans des domaines comme l'art, la philosophie, etc.

En conséquence, le présent de la science est supposé supérieur au passé. D'où un risque pour celui qui se fait historien des sciences : prendre le point d'arrivée (l'état présent de la science) comme jauge du passé ; projeter abusivement le présent sur le passé ; lire le passé « à

et contre tous, nos vérités d'aujourd'hui. Des vestiges de telles histoires subsistent dans la plupart des manuels introduisant de l'histoire des sciences. Ces manuels doivent à l'examen être considérés avec la plus grande méfiance : ils sont souvent, non seulement très contestables du point de vue de la conception véhiculée de la science et de sa méthode, mais de plus inexacts d'un point de vue historique (des exemples seront présentés plus loin).

Bref, l'histoire des sciences exige beaucoup de vigilance.

Le cas des chronologies

L'intérêt potentiel de ce genre d'approche est de donner aux élèves de grands repères temporels, de leur faire acquérir une culture scientifique minimale et, ainsi, les aider à se situer dans l'histoire humaine et à prendre conscience des profonds changements qui sont intervenus au niveau des conditions de vie et des croyances. L'intérêt est aussi d' 'accrocher' les élèves, toujours captivés quand on leur raconte des histoires.

Situer les découvertes les unes par rapport aux autres est toujours positif pour les élèves. Il faut également le penser en terme de construction de la notion de temps, en situant l'ensemble dans une chronologie historique (en référence au programme d'histoire).

Mais ce genre d'approche a ses côtés presque inévitablement dénaturants. D'un point de vue méthodologique, il faut être très vigilant (cf. ci-dessus), notamment :

- ne pas simplifier excessivement les faits et débats scientifiques passés, ce qui est difficile compte tenu de la brièveté correspondant à chaque item du descriptif (ainsi l'histoire de la vision comporte d'autres théories et débats que ceux qui sont mentionnés : en annexe [AII.7.2. Une histoire de la vision](#)) ;
- ou encore, ne pas les décrire de manière anachronique ;
- ou, peut-être surtout, ne pas laisser croire que les scientifiques du passé, ayant eu des idées proches des théories actuelles, les soutenaient sur la base des preuves actuelles (le plus souvent, ils les soutenaient sur la base d'autres éléments que les nôtres, mais dans ce genre de chronologie, on se contente en général de mentionner les croyances, non les arguments pour et contre ces croyances).

Dans le même esprit, la tentation est grande, dans ce genre de présentation, soit de ne retenir que des idées, théories ou résultats proches de ceux qui sont actuellement acceptés, en glorifiant leurs auteurs, soit d'y ajouter quelques éléments aujourd'hui jugés erronés, mais en recourant à des formulations qui discréditent ou font paraître fantasques ceux qui y ont cru. Le risque est d'induire l'idée, insoutenable à l'examen, que l'histoire des sciences consiste en une série de découvertes qui s'additionnent les unes aux autres sans remises en cause essentielles, ou encore qu'elle est l'œuvre de précurseurs ayant contre tous entrevu la vérité (c'est-à-dire ce que nous croyons) avant les autres. Or en fait, notre histoire des sciences manifeste des ruptures importantes à tous les niveaux, et il n'est pas rare que des anciens savants, ayant cru à certaines idées très différentes des nôtres, l'aient fait pour d'excellentes raisons, compte tenu des connaissances de l'époque et des autres éléments de leur contexte historique. Par exemple, Aristote niait l'existence du vide pour d'excellentes raisons du point de vue de l'ensemble de sa science.

Les séquences proposées (en annexe [AII.7.1. Une histoire générale des sciences](#) et [AII.7.2. Une histoire de la vision](#)) n'échappent pas complètement à ces risques. Le professeur a conçu pour le collège plusieurs approches 'panoramiques', c'est-à-dire des présentations sous forme de grandes chronologies d'ensemble qui, forcément, ne retiennent qu'un nombre restreint de faits marquants d'histoire des sciences (découvertes, techniques, démarches...) et qui,

forcément, donnent de ces faits une description souvent schématique. On peut cependant, en considérant qu'elles s'adressent à des élèves de collège, nuancer certaines des dérives dénoncées ci-dessus. Le souhait du professeur, dans le cas de l'histoire générale des sciences, était de reprendre des événements historiques et les lois qu'il avait évoqués dans les trois années de cours de sciences physiques de collège tout en élargissant les connaissances des élèves.

Il faudra cependant bien prendre les précautions suivantes :

- Mettre en relation la complexité des phénomènes et les outils disponibles à une époque donnée, et valoriser le travail des savants dont la puissance de raisonnement a permis de faire avancer la science, et même si leurs écrits sont contredits par la science actuelle, celle-ci leur est quand même redevable de ses progrès.
- Présenter donc les révolutions scientifiques comme des remises en cause profondes des idées antérieures, mais sans ne jamais dévaloriser l'œuvre des anciens savants à la lumière des nouvelles connaissances que de toute façon, les élèves de cet âge n'ont pas vraiment intégrées. À chaque époque ses vérités.

III.2. Les documents utilisés : Typologie, fonctions, qualités, difficultés.

III.2.1. Les textes

1. Les sources primaires sont représentées par les écrits des savants qui s'adressent à leurs pairs :

Dans la période de recherche, c'est le cas des notes de laboratoire, ou des correspondances entre savants. Ces textes ne sont pas réellement mis en forme et sont donc difficiles à exploiter pour introduire un problème. Ils peuvent cependant documenter les apports de la séquence.

Plus généralement, on utilise les textes de diffusion des connaissances, que l'on retrouve par exemple dans les communications aux sociétés savantes (Comptes-Rendus des séances de l'Académie des Sciences, Proceedings of the Royal Society of London , Annalen der Physik ...) ou dans les ouvrages des savants (L'Optique de Newton, le Traité de Chimie de Lavoisier...).

2. Les textes secondaires sont également souvent écrits par les savants eux-mêmes, mais ils ont l'ambition de présenter leurs résultats à un public plus étendu que celui qui compose la communauté scientifique. Nous sommes proches de la vulgarisation, qui peut relever de plusieurs genres : le texte allégé de l'aspect mathématique (Galilée : Le dialogue sur la pluralité des mondes), la correspondance fictive (Euler : Lettres à une princesse d'Allemagne), les entretiens (Fontenelle: Entretiens sur la pluralité des mondes).

Outre la barrière de la langue qui exclut totalement les textes en anglais ou allemand qu'il faut prendre le temps de traduire, les textes français présentent des difficultés à prendre en compte :

Le vocabulaire employé fait apparaître des termes qui ne sont plus utilisés maintenant ou différemment :

L'eau est le véritable menstree des parties falines & gommeuses d'un mixte, l'esprit-de-vin s'empare des parties résineuses, l'éther diffout les parties huileuses, les acides attaquent spécialement les terres calcaires, les parties métalliques, &c.

Sigaud de la Fond, description et usage d'un cabinet de physique expérimentale, 1784

Lémery, cours de chimie, 1734

Il y a autant de différens fels alkalis, comme il y a de ces matieres qui ont des pores différens, & c'est la raison pourquoi un acide fera fermenter une matiere, & n'en pourra pas faire fermenter une autre; car il faut qu'il y ait une proportion entre les parties acides & les pores de l'alkali: une matiere, & n'en pourra pas faire fermenter une autre; car il faut qu'il y ait une proportion entre les parties acides & les pores de l'alkali.

avec une orthographe surprenante pour les orthodoxes,

CONCLVSION
DES DEVX PRECEDENS
TRAITEZ.

Pascal, Traité de l'équilibre des liqueurs et de la masse de l'air, 1663

Voltaire, lettre à Maupertuis, 1732 :

Il [Newton] nous a menez dans un nouvau monde, et je voudrois bien y voiajer à votre suite.

La syntaxe est différente, même chez les auteurs qui sont en même temps des représentants de la littérature française,

Jacques Rohault, Traité de Physique, 1705

Ainsi, si deux hommes d'une égale grandeur & grosseur, sautaient du haut d'un pont dans une rivière, & qu'ils s'avisassent pendant leur chute de se prendre mutuellement la main l'un à l'autre, nous ne voyons pas que cette sorte pût faire qu'ils descendissent avec plus de vitesse qu'ils n'auraient fait s'ils avaient sauté séparément.

Le graphisme est parfois surprenant, notamment pour la lettre s que l'on pourrait confondre avec un f.

Les unités sont également à transposer dans le système actuel. Cela fait souvent l'objet d'exercices, dont l'intérêt, souvent uniquement mathématique, permet cependant d'accéder à des comparaisons nécessaires pour percevoir les grandeurs concernées.

Lavoisier, traité élémentaire de chimie, 1784 :

Si donc on a brûlé 100 grains de fer & que l'augmentation de poids que ce métal a acquise ait été de 25 grains, la diminution du volume de l'air est assez exactement de 75 pouces cubiques à raison d'un demi-grain par pouce cube. On verra dans la suite de ces Mémoires, que le poids de l'air vital est en effet, assez exactement, d'un demi-grain par pouce cube.

Il y a donc une nécessité de traduire ces textes en français contemporain, sans en altérer le sens. Jusqu'où aller dans ces modifications ? L'autonomie de l'élève face au texte est ici délicate, et la lecture commentée s'impose. On peut également faire apparaître, en note de marge ou de bas de texte, des définitions - traductions, en prenant garde à ne pas introduire d'anachronisme flagrant (en mécanique, l'*impetus* n'est pas la quantité de mouvement).

3. Les textes de vulgarisation peuvent aussi être utilisés.

Ils présentent souvent l'intérêt d'être plus accessibles que les écrits précédents. Mais il faut toujours en vérifier la qualité : exactitude des faits rapportés, absence d'anachronisme, apporté par une lecture qui ne tient compte dans l'argumentation que des connaissances actuelles et donne aux savants des intentions qu'ils n'avaient pas, niveau des connaissances impliquées.

En ce sens, le répertoire des informations que l'on peut trouver sur Internet autour du problème d'Archimède est significatif de l'absence fréquente de rigueur (Annexe : [AII.6. Archimède : une anecdote](#)).

L'exemple du texte sur la mesure des températures (voir en annexe la section AII.5. Histoire du Thermomètre) est également représentatif des erreurs rencontrées. Par exemple :

« **Mais au XVIII^e siècle, la fabrication du froid n'était pas encore connue.** » Ici, il s'agit d'une erreur ou d'une imprécision. Il aurait fallu noter « la fabrication industrielle du froid », qui n'intervient que dans la deuxième partie du XIX^e siècle. La technique du mélange réfrigérant permettait en effet de fabriquer le froid à l'époque de Louis XIV.

« Choisir une échelle de 0 à 100 fut très difficile car le choix d'une telle échelle impliquait l'utilisation de nombres négatifs. **Au XVII^e siècle, on ne maîtrisait pas les nombres négatifs !** »

Cette dernière affirmation n'est pas exacte, on connaît les nombres négatifs, mais on les évite.

La longueur des textes est aussi une préoccupation permanente, les élèves étant souvent rebutés par des textes qui dépassent une page. Or, il est souvent difficile de limiter le texte choisi à une demi-page, sans altérer sa compréhension. La présentation par l'enseignant des extraits choisis, oralement, ou par un texte introductif, peut donc être indispensable pour en compléter le sens. La lecture commune est souvent pratiquée, le texte est découpé en paragraphes qui font successivement l'objet de la réflexion.

III.2.2. Les documents graphiques

Les supports iconiques sont relativement variés.

1. Ils peuvent simplement illustrer, par exemple en donnant le portrait d'un savant (Fresnel) :



ou des situations reconstituées, qui caractérisent souvent les ouvrages de vulgarisation du 19^e siècle (Figuier par ex.) :

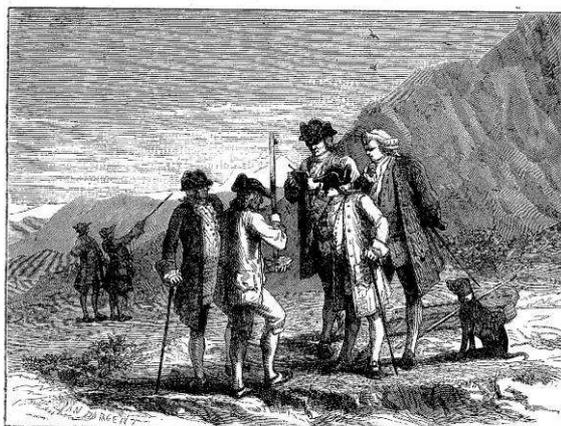
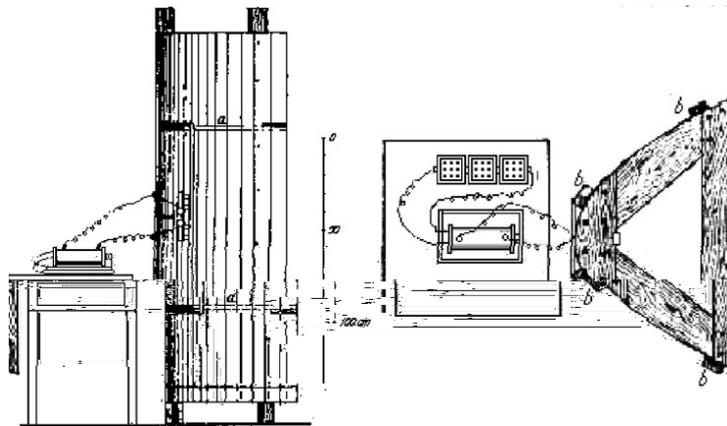
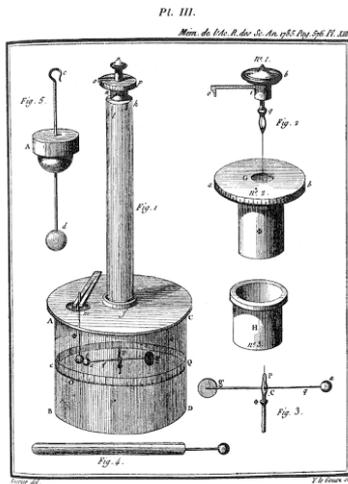


Fig. 18. — Périer mesurant la hauteur du tube de Torricelli sur le haut du Puy-de-Dôme (page 36).

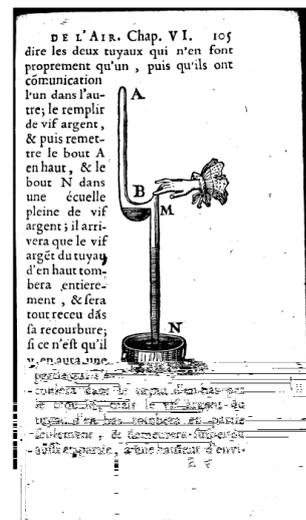
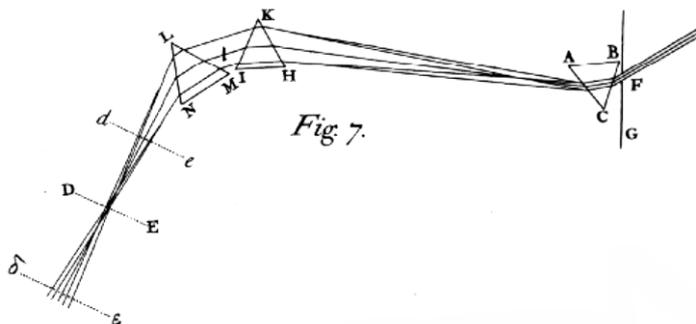
2. D'autres sont d'un intérêt moins anecdotique. Ils rejoignent les écrits primaires et secondaires. Certains dessins figurant dans les notes de laboratoires sont des croquis faits à main levée, mais ils restent plus difficiles à lire que ceux qui figurent dans les traités.

Nous pourrions privilégier

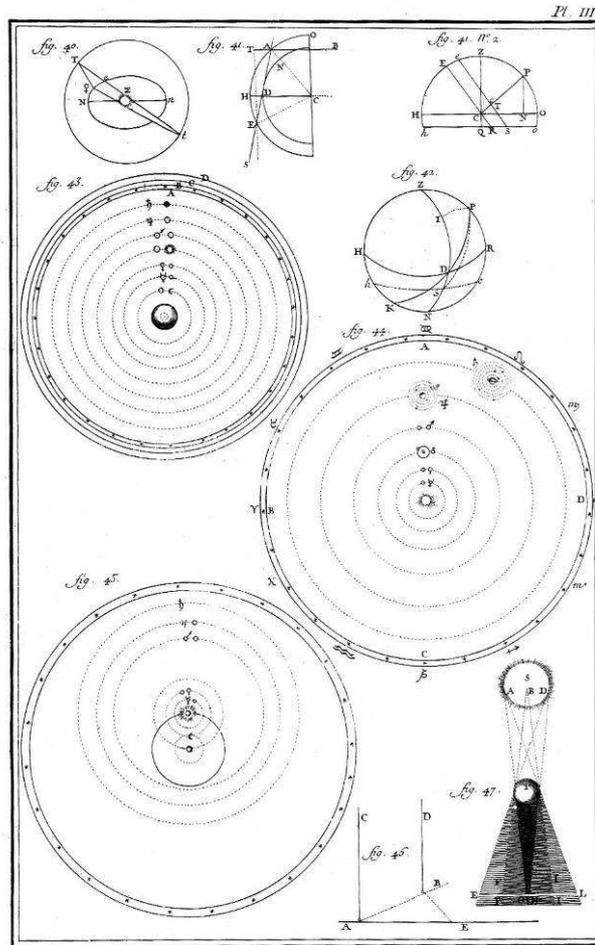
- ceux qui présentent le matériel utilisé : la pile de Volta , la balance de Coulomb, l'émetteur de Hertz



- ceux qui représentent les expériences (expériences de Newton en optique, du vide dans le vide de Pascal),

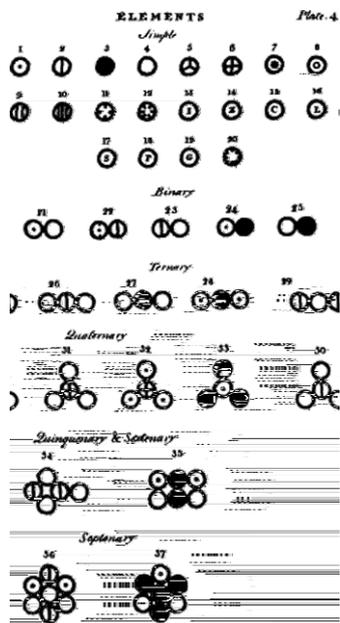


- ceux qui donnent des visions synthétiques (modèles cosmologiques de l'Encyclopédie Diderot et D'Alembert).



63.

Astronomie.



Il y aussi les tableaux, par exemple :
 - tableau d'éléments en chimie (Les éléments de Dalton).

- de mesures (tables de Berzelius en chimie, mesures sur l'estérification par Berthelot et Péan de St Gilles)

(58)						(59)					
Noms.	Formules.	Poids de l'atome.	+ E.	- E.	Ess.	Noms.	Formules.	Poids de l'atome.	+ E.	- E.	Ess.
Oxidum cerosum.		2698.88				Oxidum ferricum . . .		3913.72			
		4148.3a						3670.58			
		5397.76				ferrosium . . .	Fe	878.43	77.23		22.77
chromicum . . .	Ch	1103.04	63.76	36.24				1756.86			
chromosum . . .	Ch	1003.64	70.11	29.89				2635.29			
		669.09						3513.72			
		2007.28				ferroso-ferricum.	Fe+Fe ²	2635.29	71.785		28.215
		3010.92				hydrargyricum	Hg	2731.6	92.68		7.32
cobalicum . . .	Co	938.00	78.68	21.32				2463.2			
		1976.00						8194.8			
		2814.00						10926.4			
		3752.00				hydrargyrosium	Hg	2631.6	96.20		3.80
superoxidum cobalicum . . .	Co	1038.00	71.10	28.90				5263.2			
		692.00				hydrogenicum (Vide Aqua)	H+O=2q.	112.835	11.06		88.94
(oxidum cobaliviride) . . .	Co+Co ²	3014.00	73.46	26.54		superoxidum iodicum . . .	I	1566.70	80.25		19.75
cupricum . . .	Cu	991.39	79.83	20.17				1044.47			
		1982.78				iridium . . .					
		2974.17				iridium . . .					
		3965.56				iridium . . .					
cuprosium . . .	Cu	891.39	88.78	11.22		iridium . . .					
		1782.78				kalium . . .	K	1179.83	83.05		16.95
		2674.17						2359.66			
ferricum . . .	Fe	978.43	69.34	30.66				3539.49			
		652.29						4719.32			
		1956.86				suboxidum kalicum . . .	K	1079.83	90.74		9.26
		2935.29									

Durée de l'expérience (heures)	Pourcentage de l'acide initial estérifié
4	25,8
5	31,0
9	41,2
15	47,4
32	55,7
60	59,0
83	60,6
150	65,0

Selon la nature de ces documents graphiques, leur utilisation en classe sera différente. Certains peuvent devenir riches d'exploitation, notamment les descriptifs d'expériences qui peuvent être répliquées. Bien sûr, se posera le problème des instruments de mesure qui seront adaptés par rapport à ceux de l'époque considérée comme dans le cas de l'expérience du plan incliné de Galilée. Cet anachronisme voulu est à faire remarquer et la question « comment ont-ils fait pour mesurer ? » n'est pas sans intérêt. L'utilisation d'une clepsydre peut contribuer à cette prise de conscience, en même temps qu'elle concrétise le problème des instruments de mesure du temps.

III.2.3. Ressources

Où trouver les documents ?

Bibliothèques

Les bibliothèques universitaires scientifiques conservent souvent un fonds ancien, parfois difficile d'accès. Mais les documents que l'on peut y consulter ne peuvent pas toujours être photocopiés. La solution admise est l'appareil numérique qui permet cette duplication avec une qualité suffisante.

Bibliothèques en ligne

La bibliothèque en ligne Gallica (<http://gallica.bnf.fr/>), créée par la B.N.F. apporte la solution d'un accès à l'essentiel des ouvrages intéressants. Elle donne des reproductions scannées des ouvrages de bonne qualité, accessibles en format pdf ou tiff. Les agrandissements donnent souvent des résultats médiocres, mais on ne peut pas à la fois numériser un ouvrage de plusieurs centaines de pages et garder la meilleure qualité graphique. Une page pèse environ 30 ko, ce qui montre bien le niveau auquel on peut s'attendre.

Le CNAM a également numérisé des ouvrages, plutôt techniques, mais en nombre restreint : <http://cnum.cnam.fr/RUB/fcata.html>. On y trouve notamment beaucoup d'ouvrages essentiels en histoire de l'électricité.

L'Université Paris I met en ligne les œuvres complètes de Lavoisier, en versions numérisée et transcrite, ce qui permet de reprendre facilement des extraits :

<http://histsciences.univ-paris1.fr/i-corpus/lavoisier/index.php>

A l'étranger, on peut citer la bibliothèque de Göttingen :

<http://gdz.sub.uni-goettingen.de/search-entry.shtml>

Le ministère de l'Éducation nationale a créé un site sur lequel se trouvent les écrits de Marie Curie : <http://mariecurie.science.gouv.fr/bibli/bibli.php>

Le CNRS a reproduit l'œuvre d'Ampère : <http://www.ampere.cnrs.fr/>

...

Musées

Les sites des musées scientifiques et techniques sont aussi à noter. Ils apportent surtout des images d'objets scientifiques, mais certains dépassent ce cadre et illustrent des expériences.

On pourra découvrir des expériences ou le matériel de l'époque dans les musées des techniques :

Le musée des Arts et Métiers à Paris, avec le laboratoire de Lavoisier, le pendule de Foucault
À Munich, le Deutsches Museum qui montre l'expérience de Röntgen, le laboratoire de Liebig, etc.

...

Éditions

Les éditions d'ouvrages d'histoire des sciences éditent souvent des fac-similés d'œuvres originales, les rendant ainsi accessibles. C'est le cas par exemple des librairies Blanchard (Kepler, Poincaré...) et Vrin à Paris, des éditions du CNRS (Galilée, Einstein).

On trouve aussi des compilations autour d'un thème : astronomie et astrophysique, collections « Les Essentiels ».

Les historiens des sciences publient souvent sur les grands domaines (lumière, astronomie, chimie, mécanique...) ou sur des thèmes précis (arc-en-ciel, les atomes)

Revues

La littérature de vulgarisation devient abondante. Il faut citer *les Cahiers de Science et Vie*, *Pour la Science* qui publie des hors série spécifiques à l'histoire des sciences, ainsi que *La Recherche*. Le *bulletin de l'Union des Physiciens et Chimistes* contient fréquemment des articles de fond ou sur l'enseignement de l'histoire des sciences.

TICE

Les émissions télévisées sont rares, peu accessibles car diffusées sur des chaînes confidentielles (Planète, Discovery, Encyclopedia...). Des émissions de vulgarisation scientifique introduisent des éléments d'histoire, mais il faut extraire ces moments d'un ensemble plus vaste, en veillant à une rigueur historique acceptable. Nous rappelons que la copie des émissions en vue de leur diffusion est soumise à l'acquisition de droits. Il vaut mieux utiliser les émissions libres de droits (*C'est pas sorcier* par exemple). L'enseignant a cependant droit à citation et donc ici à extrait. Le site du SCEREN,

http://www.cndp.fr/tice/ressources_av/ indique les programmes des émissions et précise celles qui sont libres de droit..

Les sites traitant de l'histoire des sciences sont très nombreux, mais souvent en anglais. Ils peuvent être source d'images, d'animations, on peut citer :

Le musée d'histoire des sciences de Genève :

<http://www.ville-ge.ch/musinfo/mahg/musee/mhs/scien2.html>

En France, le site gouvernemental répertorie un grand nombre de sites intéressants pour l'histoire des sciences :

<http://www.science.gouv.fr/index.php?action=page&target=select&rubrique=5>

Il faut noter l'extrême diversité des sites auquel conduit la recherche sur Internet. On pourra en prendre conscience en consultant le document en annexe (AII.6. Archimède : une anecdote) portant sur le principe d'Archimède. Cette recherche montre deux textes importants, l'un qui est la source historique, le texte de Vitruve, dont l'interprétation est pourtant contestable, et l'autre en fin de chapitre, qui consiste en une étude argumentée de la solution plausible. Tous les autres textes cités sont l'occasion, pour leurs auteurs, d'interpréter, de broder, d'inventer, de divaguer et d'introduire des erreurs. Mais il faut bien prendre conscience que ces sites seront ceux auxquels arriveront les élèves via un moteur de recherche sur Internet. La solution prise par les enseignants est souvent de sélectionner des sites de référence et de conduire les élèves vers ces sites, dont on peut souvent charger le contenu sur le disque dur.

IV. Analyse de quelques séquences

Dans cette partie, le groupe de recherche présente des séquences qu'il a élaborées. Chacune de ces séquences, ou chaque version d'une des séquences, a été plus particulièrement portée (initialement élaborée et mise en œuvre) par l'un des praticiens du groupe. Tous les membres du groupe ne sont pas toujours tombés d'accord sur la bonne démarche à suivre et sur l'intérêt des séquences proposées – ce qui n'est pas vraiment étonnant vu ce qui a été dit dans la partie [III.1. Difficultés méthodologiques liées à l'histoire des sciences](#). Par exemple, des discussions ont eu lieu à propos des risques possibles d'une présentation procédant par grands panoramas chronologiques (voir [AII.7. Deux approches 'panoramiques'](#)). Nous avons néanmoins tenu à présenter un échantillon des différents types de séquences qui ont été discutées au sein du groupe. Ce qui importe est que le lecteur considère ces séquences d'un œil critique, comme des propositions sur lesquelles réfléchir plutôt que comme des modèles.

IV.1. Présentation générale

Chaque séquence sera présentée selon le plan suivant :

- Une grille présentant la séquence mobilisant l'histoire des sciences
- Une analyse de la séquence, de sa mise en œuvre et des éléments d'évaluation s'il y a lieu.
- Une explicitation des variantes : adaptation à une autre classe, autres modalités
- Les étapes de l'évolution, les problèmes rencontrés, le pourquoi des reformulations, témoins du travail de recherche entrepris.
- Les supports essentiels (textes et questions, fiches TP pour les élèves...).

La grille :

Elle vise à donner d'emblée une vue d'ensemble synthétique de la séquence, selon les 12 items suivants :

1. Thème historique mobilisé.
2. Activité intégrant certains moments ou aspects d'histoire des sciences au sein d'une séquence de physique-chimie ou pure activité d'histoire des sciences
3. Niveau(x) de la (les) classe(s) potentiellement concernée(s)
4. Type d'activité : TP, cours, IDD, TPE, activité thématique...
5. Objectifs de la séquence + (pour les activités scientifiques mobilisant de l'histoire des sciences à titre d'ingrédients) objectifs spécifiques des moments d'histoire des sciences (les numéros des objectifs renvoient à la numérotation indiquée en II.4. Répertoire synthétique des divers objectifs assignables à l'histoire des sciences dans un cours de science)
6. Connaissances et compétences pré-requises
7. Situation(s) possible(s) dans la progression du programme + (pour les activités scientifiques mobilisant de l'histoire des sciences à titre d'ingrédients) : situation(s) possible(s) au sein de la séquence scientifique
8. Types de supports utilisés pour l'introduction de l'histoire des sciences (textes originaux ; littérature 'secondaire' ; images ; schémas ; films ; Internet ; objets...)
9. Descriptif : titre ; étapes du déroulement ; durée de l'activité ; organisation de la classe...
10. Évaluation éventuelle

11. Mise en œuvre : appréciation de la manière dont la séquence s'est déroulée ; remarques des élèves ; difficultés éventuelles rencontrées...
12. Éléments bibliographiques

Les supports essentiels :

Les « supports essentiels » désignent les documents distribués aux élèves (textes et questions, fiches TP...) dans la dernière version à laquelle le groupe a finalement abouti. Ils sont donc directement utilisables par les enseignants. Certaines des versions initiales ou intermédiaires, modifiées au cours du travail de recherche, sont données en annexe.

Newton et les couleurs

IV.2. Newton et les couleurs

IV.2.1. Grille de la séquence Newton et les couleurs

Thème historique mobilisé	Explications physiques des couleurs : confrontation des explications d'Aristote et Newton, sur la base de quelques expériences
Activité intégrant l' HS au sein d'une séquence de physique-chimie / pure activité d'histoire des sciences	Activité au sein de la séquence : Un système disper

Ainsi, Aristote pensait que les diverses couleurs provenaient de l'affaiblissement de la lumière blanche. Lors du passage dans un prisme, les rayons qui traversent la plus faible épaisseur sont moins affaiblis et ressortent rouges, ceux qui traversent la plus forte épaisseur sont plus affaiblis et ressortent bleus.

Newton, au XVII^e siècle, proposa une autre théorie en s'appuyant sur des expériences qu'il qualifiait de cruciales : la lumière blanche est composée de sept couleurs élémentaires.

Il nous a paru important de montrer aux élèves que plusieurs théories ont expliqué le même phénomène, et que, historiquement, certaines expériences permettent d'éliminer une théorie et d'en accepter provisoirement une autre.

Aussi avons-nous élaboré des séquences pédagogiques comportant étude de document et expériences dont on retrouve la présentation dans la grille ([IV.2.1. Grille de la séquence Newton et les couleurs](#)). Le contenu de la séance et la progression ont évolué au cours des trois années passées.

B – Etapes d'évolutions – modifications

Cette séquence a été traitée en lycée entre 2003 et 2005 par un professeur en classe de seconde. Chaque séance est accompagnée de commentaires de l'enseignant et de modifications pour la progression des séances, le contenu des textes proposés ou l'ajout d'un nouveau support pédagogique.

C – Mise en œuvre dans les classes

Cette séquence a été réalisée trois années consécutives, avec chaque fois, des modifications de documents et/ou de progression. C'est pour cette raison que la mise en œuvre dans les classes a dû évoluer et qu'elle est détaillée chronologiquement.

Séquence réalisée en 2003

Le temps imparti pour aborder ce sujet et les connaissances à transmettre en seconde sont réduits. Les questions ont été limitées à l'essentiel.

Le texte ([Activité 1](#)) est celui du livre de seconde des éditions Belin édition 2000 qu'utilisent les élèves. Ce choix limite les photocopies. Il est extrait de « *Newton et la mécanique céleste* » [Maury 1990].

Il faut éviter d'utiliser le terme « décomposition » de la lumière solaire lorsqu'on se réfère aux travaux antérieurs à Newton, car ce terme contient déjà l'interprétation que la lumière blanche est constituée de couleurs plus élémentaires.

Le texte est lu par les élèves, l'expérience intervient lorsque les élèves ont proposé le dispositif expérimental (question 3). Aucune difficulté n'est repérée dans le travail demandé aux élèves.

Dispositif expérimental :

Projecteur de diapositives, prisme à 50cm, fente sur un carton blanc à 1 m, prisme à 20cm, écran légèrement de biais à 1m.

C'est le choix d'une fente et non d'un trou qui a été retenu. Le second prisme ne dévie pas la totalité de la couleur choisie. On observe donc une partie de la couleur déviée et une partie de la couleur non déviée. De plus, avec un trou, l'intensité lumineuse trop faible risque de rendre

difficile l'observation du phénomène sans « mettre le nez » sur l'écran, ce qui est gênant pour une expérience en classe.

Il est préférable de choisir la couleur rouge (plus lumineuse) bien que la couleur violette donne aussi de bons résultats. Pour les autres couleurs, la bande colorée issue du premier prisme est trop étroite pour qu'une seule couleur traverse la fente.

Séquence réalisée en 2004

Avec le même texte qu'en 2003, la démarche est modifiée. Le texte n'est donné aux élèves qu'après qu'ils aient vu l'expérience du passage de la lumière blanche dans un prisme et qu'ils aient tenté de l'expliquer.

Après le TP sur la réfraction, l'expérience du prisme a été réalisée puis il a été demandé aux élèves de l'interpréter : ils évoquent la décomposition de la lumière, la lumière composée de différentes couleurs... Lorsqu'une demande de justification de leurs réponses est formulée, l'un d'eux répond avec conviction : « *parce qu'on l'a appris en troisième.* » Le professeur leur explique alors que des scientifiques ont interprété différemment le phénomène (théorie d'Aristote) et leur demande s'ils trouvent cette hypothèse plausible. Après un court moment de silence, un élève répond « *pourquoi pas* ». À ce moment de la présentation, les élèves ne semblant pas convaincu par la théorie d'Aristote, le polycopié est distribué.

Les élèves le lisent, puis ils répondent aux questions. Des questions ont été posées par des élèves sur la signification du terme affaiblissement entre autres. Elles mettent en évidence le fait que le texte proposé n'était pas assez complet : un aperçu de la théorie des couleurs selon Aristote est indispensable pour comprendre. Les compléments ont été donnés oralement et le texte a été modifié dans ce sens pour l'année suivante (**Activité 1**) en utilisant l'édition 2004 du livre de seconde Hachette qui est aussi rédigé à partir de « *Newton et la mécanique céleste* » [Maury 1990, 15-17].

(Le texte initial utilisé en 2003 ne figure plus dans l'édition Belin 2004, celui qui le remplace est moins complet et semble moins intéressant. Il est extrait de [Guicciardini 2003]).

Une gravure a été ajoutée et 2 questions supplémentaires : « En quoi l'expérience de Newton permet-elle de réfuter cette explication ? ». « ... et ajouter des couleurs au niveau du faisceau lumineux sur la gravure ».

Comme en 2003, les élèves répondent plutôt facilement aux questions. 2.16436(e)3.74(n)-0.25585(r)2.74

L'expérience du passage de la lumière à travers un prisme a été présentée, puis il a été demandé aux élèves de l'interpréter :

C'est le spectre de la lumière

Il y a des couleurs qui pénètrent plus facilement, elles ne sont pas réfractées de la même façon

Il y a dispersion de la lumière

La lumière blanche donne plusieurs couleurs, les couleurs primaires. Le prisme divise les couleurs. Les trois couleurs primaires se superposent. Le rouge donne de l'orange car le rouge s'étire

Qu'est ce qu'il y a dans le prisme ?

Du verre

Non je voulais dire qu'est ce qui s'y passe, avec les angles

Toutes les couleurs sont réunies, le prisme les divise

A ce stade, il apparaît de façon évidente que les élèves connaissent la théorie des couleurs de Newton (qui est vue au collège) et qu'ils sont prêts à écouter une explication de cette théorie en lien avec la réfraction de la lumière. La théori

D – Variantes – au collège

L'apparition des couleurs à partir de la lumière blanche est aussi vue au collège. En abordant avec ses élèves de 4^e le thème de la lumière, le professeur a décidé d'introduire un peu d'histoire des sciences en leur proposant une reconstitution de l'expérience de Newton. Il souhaitait leur présenter plus précisément un savant dont ils connaissaient le nom, mais aussi leur montrer qu'il y avait une démarche scientifique réfléchie derrière une découverte.

Bien sûr, il ne s'agit là que d'une étude superficielle du travail de Newton. Les connaissances des élèves de collège, l'hétérogénéité des classes et le temps imparti à ce genre d'activité ne permettent pas en effet d'approfondir le travail autant qu'au lycée.

L'activité s'insère dans le cours sur les couleurs après la découverte d'un spectre et avant la présentation des synthèses additives et soustractives des couleurs.

Déroulement de l'activité

Chaque élève reçoit une feuille avec un texte et un questionnaire, une représentation du spectre de la lumière blanche et une reproduction de l'expérience (Activité 2).

Le texte et le schéma de l'expérience sont tirés du livre *La Lumière* [Maitte 1993, 117]. Le professeur a rédigé les questions.

Les élèves lisent le texte et répondent aux questions en se référant à l'expérience ou à son schéma.

La première fois que le professeur a fait ce travail, il n'avait pas présenté l'expérience aux élèves, faute de prisme. Après quelques échanges avec les membres du groupe du PARI, il est paru indispensable de toujours montrer aux élèves le dispositif expérimental, au moins jusqu'à l'isolement d'une couleur.

En général, les élèves apprécient l'activité. Le texte étant assez court, ils restent facilement concentrés et répondent aux questions. Dès la 2^e question, une discussion s'engage : *la lumière du Soleil est jaune puisqu'il est jaune*. Par contre, ils ne sont pas surpris de voir un « arc-en-ciel » à la sortie du prisme. L'idée du trou dans la planche de bois leur semble ingénieuse. Les questions 6 et 7 ont une formulation semblable, mais les réponses obligent les élèves à approfondir leurs raisonnements : si pour beaucoup, il ne fait aucun doute que *le bleu est bleu*, ils s'attendent aussi à ce que la lumière *blanche* soit *blanche*. Heureusement, en revenant au texte ou à l'expérience, ils corrigent leur conception initiale.

Pour la question 8, on peut s'attendre à des réponses variées quant à la liste des couleurs qui composent le spectre. Le professeur pourra alors engager une discussion sur la division du spectre continu en un nombre fini et conventionnel de couleurs, et indiquer les sept couleurs retenues par Newton en les faisant noter sous le spectre représenté.

La représentation de l'expérience sur le document isole le rouge, contrairement à l'expérience de Newton rapportée dans le texte qui isole le bleu. Ceci peut être l'occasion d'un échange avec les élèves, qui leur fasse prendre conscience que ce qui vaut pour le bleu vaut également pour les autres couleurs.

Dans ce travail, la démarche scientifique est détaillée grâce aux différentes questions. Elle permet de montrer aux élèves que les découvertes scientifiques ne sont pas dues à une pomme qui tombe sur la tête d'un savant, mais que le processus de découverte met en jeu une démarche complexe dont ils peuvent comprendre les grandes étapes.

La difficulté de ce genre d'activité est de rendre accessibles les faits scientifiques tout en restant rigoureux. Car si les élèves sont très intéressés par l'histoire des sciences, ils retiennent très souvent les anecdotes.

IV.2.3. Supports de la séquence Newton et les couleurs

Activité 1 (seconde)

NEWTON ET LES COULEURS

Depuis 1654, Isaac NEWTON (1642 – 1727) note dans des carnets ses lectures, ses expériences et ses idées. À la suite de Galilée, Descartes et Kepler, il s'interroge sur la lumière et les couleurs :

Réfraction

IV.3. La réfraction des rayons lumineux

IV.3.1. Grille de la séquence la réfraction des rayons lumineux

Thème historique mobilisé	Quelques expériences et hypothèses historiques relatives à la loi de réfraction de la lumière : Ptolémée ; Alhazen ; Grossetête ; Kepler ; Descartes-Snell
Niveau	Seconde
Type d'activité	TP intégrant l'HS au sein d'une séquence de physique-chimie
Objectifs spécifiques des moments d'HS (cf. répertoire des objectifs possibles proposé en début de recherche)	Découvrir ce que sont les sciences réelles (aspects) : de nombreux savants ont travaillé sur la question ; l'établissement de la loi aujourd'hui admise n'a rien d'évident, elle ne sort pas immédiatement des expériences effectuées (d'excellents savants se sont d'ailleurs trompés) (objectif 3) ; Culture scientifique : quelques grands noms de savants + accomplissement + période ; éventuellement (selon comment on présente les choses) : idée que la démarche expérimentale n'a pas toujours été considérée comme <i>la</i> méthode à suivre en physique (objectif 2).
Objectifs de la séquence	Vérification expérimentale de la loi de Snell-Descartes
Connaissances et compétences pré-requises	Proportionnalité Calcul du sinus d'un angle
Situation dans la progression du programme	Étude d'un système dispersif : le prisme (début du chapitre)
Types de supports utilisés pour l'introduction de l'HS	Document élaboré à partir de littérature « secondaire »
Descriptif	1h30 Présentation du phénomène de la réfraction et du dispositif expérimental, lecture des hypothèses des savants, vérification expérimentale
Évaluation	Echanges oraux, questionnaire, exercice : voir plus bas, D. Éléments d'évaluation de la séquence la réfraction des rayons lumineux.
Éléments bibliographiques	[Calmette1997, 1957-1965] Site web de Jean Ripert : http://www.ac-toulouse.fr/sc_phy/ripert.htm [Rashed, 1997]

IV.3.2. Analyse de la séquence la réfraction des rayons lumineux:

A – Présentation générale de la séquence

Dans le cadre des nouveaux programmes de seconde, le professeur a souhaité, dès l'année scolaire 2000-2001, faire une approche plus innovante de la séance de travaux pratiques au cours de laquelle les élèves vérifient les lois de Descartes relatives à la réfraction.

Sensibilisé à l'importance de la place de l'histoire des sciences dans l'enseignement, il a choisi comme point de départ, pour élaborer le TP qui se trouve en *annexe TP*, le travail de Jean Ripert, expérimentateur des nouveaux programmes dans l'académie de Toulouse : http://www.ac-toulouse.fr/sc_phy/ripert.htm et un article du BUP N° 798 pages 1957 à 1965 (novembre 1997).

Une approche historique a été retenue par un collègue de l'académie de Grenoble :

<http://www.ac-grenoble.fr/phychim/confjjma/jjpnf2000/phoc/tphoc.htm>

B – Etapes d'évolution - modifications

Sans s'être livré à une analyse précise de l'impact de la séquence, à chaque fois que le TP a été proposé à des élèves entre 2000 et 2003, la participation a été bonne et les élèves ont manifesté de l'intérêt pour le travail proposé.

Des recherches dans le cadre du PARI ont permis de découvrir l'importance des travaux des savants arabes, en optique en particulier, d'où la décision de modifier légèrement l'approche historique du TP en y ajoutant des travaux de Ibn Al-Haytham (Alhazen) après consultation du livre de Roshdi Rashed [Rashed 1997].

Les travaux de Ibn Al-Haytham sont très importants, en quantité et en qualité. Le savant a élaboré une théorie de la vision particulièrement pertinente pour l'époque. Il est tout à fait regrettable que les travaux des savants arabes ne soient généralement pas mentionnés dans les documents historiques qui figurent dans les manuels des élèves. Les travaux d'Ibn Al-Haytham furent étudiés et commentés en arabe et en latin jusqu'au XVIII^e siècle. Ce savant travaillait la réfraction de la lumière dans l'air, dans l'eau et dans le verre avec des angles inférieurs à 80° (pour 90°, la relation $d < i/2$ dont la vérification est demandée aux élèves n'est plus valable).

La version finale du TP se trouve en [TP2 : version du TP avec illustrations](#)

C . Mise en œuvre dans les classes de la séquence la réfraction des rayons lumineux

Voir ci-dessous, partie IV.3.3, les supports « TP1 » et « TP2 » ; le texte des deux documents est identique, mais le second document comporte quelques illustrations en plus).

Un compromis a été trouvé pour que le T.P. soit réalisable en 1h 30. Un développement plus important de la partie historique n'était pas possible faute de temps. De plus, les élèves risquaient de « se perdre » en refaisant les calculs des savants et de ne pas saisir l'essentiel. Il est bien précisé qu'il s'agit de « Quelques hypothèses de quelques savants ».

Si Ptolémée s'est livré à des commentaires qualitatifs, il les déduisait déjà de travaux expérimentaux.

Il est intéressant de préciser oralement aux élèves que dans le cas de plusieurs des savants mentionnés dans le TP, la loi ne s'appuie pas sur une expérimentation systématique. L'introduction de l'expérimentation systématique et sa valorisation comme méthode de preuve par excellence n'interviennent qu'au XVII^e, notamment avec Galilée.

C'est la façon dont est mené le T.P. qui le rend intéressant. Le contenu de l'article du BUP permet au professeur d'apporter des compléments en rapport avec l'histoire des sciences. Ces compléments donnés oralement peuvent varier selon les séquences, en particulier en fonction des questions posées par les élèves.

I – Expérience préliminaire: changement de direction du rayon lumineux d'un laser à la surface de l'eau. (Les expériences d'objets cassés sont délicates à utiliser à ce stade car pour les comprendre, l'élève est obligé de faire un cheminement qu'il n'a pas le temps de faire au cours du TP).

II – Le dispositif expérimental: ce paragraphe permet aux élèves de découvrir le dispositif qu'ils vont utiliser et de préciser le vocabulaire.

Un groupe réalise l'expérience dans le cas du passage air/eau afin de tester la troisième hypothèse de Ptolémée. Les autres élèves étudient le passage air/plexiglas. Chaque groupe modifie l'angle d'incidence, observe, commente. Le schéma du dispositif indiquant la surface de séparation, le rayon incident, le rayon réfracté, la normale à la surface, les angles d'incidence et de réfraction est alors complété progressivement sur le photocopié et au tableau: c'est l'élève qui a lu une définition qui vient compléter le schéma du dispositif reproduit au tableau. Si le rayon incident est représenté en vert, une croix verte est faite près de la définition sur le photocopié.

Les observations expérimentales des élèves sont notées au tableau :

- Rayons incident et réfracté dans le plan du disque.
- Si le rayon incident est perpendiculaire à la surface de réfraction, le rayon réfracté n'est pas dévié.
- Pour un angle d'incidence de 30°, l'angle de réfraction est de 20 ° dans l'air et 22° dans l'eau.

III – Les hypothèses des savants

Les hypothèses des savants sont lues par les élèves. Pour chaque hypothèse, nous nous interrogeons sur la validité de celle-ci, chaque fois que c'est possible. Ce qui permet de compléter rapidement le photocopié dans le cas des hypothèses ne nécessitant pas de calcul.

Dans l'étude des hypothèses de Ptolémée, il est demandé aux élèves la signification du terme « qualitatif » et la différence avec « quantitatif ». Spontanément un élève affirme lorsqu'on aborde Ibn Al-Haytham : « il a fait des calculs ».

Un élève d'origine marocaine, qui n'était pas interrogé, a prononcé spontanément Ibn-al-Haytham, aidant ainsi l'élève interrogé. Ses parents informeront le professeur quelques jours plus tard qu'avant son arrivée en France en classe de quatrième, il faisait ses études au Maroc en arabe et français.

À la question « Où se situe Bassora ? », *en Irak* est la réponse de plusieurs élèves en 2004. En 2005, les élèves ne savent pas. L'actualité a changé.

Un élève propose la loi : $r = 2/3 i$, revient sur son affirmation. L'élève fait à nouveau part de son interrogation en fin de TP, il lui est alors proposé de réfléchir et de donner le résultat de ses réflexions par écrit au cours suivant. Ce qu'il fait (voir évaluation dans le paragraphe

suivant). En lui rendant sa recherche, le professeur lui explique en quoi sa proposition est très proche de l'hypothèse de Kepler.

Au niveau de la page 2, les élèves font une lecture complète des hypothèses d'un savant. Lorsqu'on aborde la page 3, les élèves comprennent spontanément qu'il ne faut pas tout relire : en effet, lors de l'exploitation des mesures, seule une partie du texte est importante.

Plusieurs propositions sont faites pour montrer que i et r sont proportionnels : produit en croix, variation de i de 10 pour une variation de r de 7, tracé d'une droite.

(Le tracé de la courbe $\sin i$ en fonction de $\sin r$ sera réalisé avec leur professeur d'informatique comme exercice d'utilisation d'Excel).

Une remarque est exprimée quant au fait que l'angle i augmente régulièrement de 10 en 10. L'explication de la régularité due au choix des valeurs de i est donnée. Le tableau comporte beaucoup d'informations et cet élève n'a pas immédiatement compris que cette régularité n'était pas liée à la loi cherchée mais au choix qui a été fait des valeurs initiales.

Les trois premières affirmations de Ptolémée ont déjà été vérifiées, elles sont notées en bas de la page 2.

Les élèves affirment que, pour vérifier les autres hypothèses, il faut faire des mesures (page 3).

Lorsque les mesures sont terminées, les élèves trouvent les grandeurs à placer dans les lignes du tableau afin de vérifier les hypothèses.

D. Éléments d'évaluation de la séquence la réfraction des rayons lumineux

- Évaluation 2004

Ce TP a été réalisé dans une classe de niveau moyen, dans laquelle un certain nombre d'élèves ont des difficultés à se concentrer, à maintenir leur attention.

Les élèves de cette classe demandent à être souvent interrogés, à lire plusieurs fois pendant un TP et il est parfois difficile de les satisfaire. La participation a été très bonne, il y avait matière à participer d'où une attention soutenue. Ils se sont sentis concernés par le travail des savants, se prenant au jeu de chercher les erreurs des savants et même d'essayer de faire une découverte. Le fait que Grossetête (malgré son nom) ait fait une hypothèse fautive a fait sourire plus d'un.

En début de TP, après la présentation, un élève s'exprime : « Ils essaient de trouver une loi chaque fois que quelque chose se passe ? ».

En fin de TP, il est demandé à un groupe (12 élèves) de faire part, par écrit, de leurs remarques relatives au TP : ce n'est pas une obligation, ça peut être anonyme, avec des remarques positives ou négatives, non noté... Ces indications sont données pour essayer d'obtenir des remarques sincères bien qu'une méthode efficace pour y parvenir réellement semble difficile à élaborer. Quatre réponses ont été rédigées, dont une faite en commun par 2 élèves.

- « Cette expérience m'a plu, car j'ai aimé manipuler les appareils et faire les calculs dans le tableau, de plus, cette expérience n'était pas très difficile. Je l'ai compris facilement. ».
-

- « Ptolémée a plus de mérite que Kepler ou Descartes car il a démontré des choses vraies bien longtemps avant eux et avec un matériel beaucoup moins développé. On a bien aimé le TP » (2 élèves).

De la part de l'élève cité plus haut : « On constate que jusqu'à i inférieur ou égal à 30° ou r inférieur ou égal à 20° , $r = 2/3 i$ ou $i = 3/2 r$

Après la règle ne marche pas.

Ex : quand $i = 30$, $r = 20$ et $3/2 * 20 = 30$ ».

Lors d'un exercice, un élève avait, dans le cas d'angles de l'ordre de 20 à 30° , calculé l'angle de réfraction par la relation $r = i / n$ et a fait remarquer qu'il obtenait un résultat pratiquement juste. Nous avons fait référence à l'affirmation de Kepler.

- Évaluation 2005

Pendant quelques minutes en fin de TP, il y a eu un échange informel sur le travail réalisé. Un certain nombre d'élèves ont exprimé en quoi le fait de faire référence à l'histoire des sciences était positif ainsi que leur étonnement devant le temps qu'il a fallu pour établir cette loi. Certains élèves ont exprimé le fait que cela faisait beaucoup de choses à savoir, beaucoup de relations, avec le risque de mélanger. Un élève a dit qu'il n'y avait que la loi de Descartes à connaître pour la suite du cours et des exercices. Au cours du TP, un élève redoublant a dit qu'il savait que la loi de Descartes était juste, donc ce n'était pas utile de faire tout ce cheminement.

Il semblait intéressant de recueillir plus précisément les remarques des élèves, ce qui s'est fait, par écrit, pendant le cours qui a suivi le TP (24 élèves présents au cours sur les 26 élèves présents en TP).

Pour que les réponses soient les plus sincères possible, il a été indiqué aux élèves :

- qu'ils pouvaient s'abstenir de répondre à une partie des questions ou à la totalité (les 24 élèves ont au moins répondu à une question) ;
- qu'ils pouvaient ou non faire figurer leur nom (certains l'ont mis, d'autres pas, d'autres ont utilisé un pseudonyme) ;
- que la démarche s'inscrivait dans un travail de recherche : le professeur a élaboré le TP, qui a été discuté et modifié suite à un travail avec d'autres professeurs, le TP leur a été proposé et il leur est demandé un avis afin d'améliorer ou de modifier éventuellement la démarche choisie ;
- qu'en aucun cas leur nom ne serait diffusé. Une personne qui lira le compte rendu saura juste que dans un lycée de l'Académie, des élèves ont formulé ces remarques par rapport au TP proposé.

Toutes ces indications avaient aussi pour but de mettre en évidence l'importance accordée à leur participation.

Les élèves disposent du TP pour répondre aux questions qui se veulent ouvertes. Il me semble que l'objectif de donner des questions ouvertes est atteint puisque certains élèves ne répondent pas à une question, en indiquant qu'ils ont déjà dit ce qu'ils avaient à dire dans une question précédente.

Questions :

- Par rapport aux travaux sur la réfraction présentés en page 2 du TP, quelles sont vos remarques et commentaires ?
- Par rapport au travail effectué en TP, quelles sont vos remarques et commentaires ?
- Des élèves ont fait remarquer, au cours du TP ou à la fin du TP, que ce qui était à retenir impérativement pour la suite du cours et pour les exercices, c'était la loi de Descartes. L'étude qui a précédé la vérification de cette loi présentait-elle un intérêt ?

Envisageant au départ de faire le compte-rendu de cette enquête par question, au vu des réponses des élèves, leurs réponses ont été réparties en deux parties :

- Intérêt d'utiliser l'histoire des sciences dans la séquence proposée,
- Critiques : points positifs, négatifs ou à améliorer.

L'intitulé exact des réponses des élèves (en italique) est repris en corrigeant les fautes d'orthographe mais pas les autres fautes. À chaque élève est attribué un numéro.

Les questions posées et les réponses des élèves se trouvent en annexe section AII.2. [Evaluation 1](#)

Les réponses n'étant pas toutes anonymes, il a été constaté que les réponses les plus pertinentes n'étaient pas toujours celles des élèves qui ont les meilleures notes. De bons élèves répondent très succinctement ou maladroitement.

Malgré quelques erreurs ou maladresses ou mauvaises utilisations de la langue (confrère, Ptolémée n'a pas fait d'expérience à rapprocher d'étude qualitative...), un certain nombre d'élèves ont mis en évidence le fait qu'ils ont conscience que pour obtenir la loi de Descartes, *il a fallu du temps, ce n'était pas simple, cela a nécessité la contribution de plusieurs savants.*

Certains ont souhaité que le document distribué soit plus aéré avec des illustrations (les élèves sont habitués à de beaux livres). Une version avec illustrations est proposée : [TP2 : version du TP avec illustrations](#). Cette dernière version a été montrée aux élèves qui avaient fait la remarque. En plus des portraits, ils auraient souhaité des schémas aidant à la compréhension. Compte tenu des époques de recherche évoquées, il est difficile d'illustrer par d'autres images que des portraits.

Quelques élèves auraient préféré qu'on donne juste la loi de Descartes.

L'intérêt de faire des expériences est souvent souligné et a permis comme l'affirme un élève de se mettre *dans la peau d'un physicien*.

Le bilan semble globalement positif d'autant que la participation des élèves pendant le TP a été bonne.

Il est important de faire écrire après le TP les lois de Descartes aux élèves afin que les éléments indispensables pour la suite du cours soient clairement précisés. Un élève doit toujours connaître précisément les savoirs exigés dans une évaluation et l'apport de l'histoire des sciences ne doit pas compliquer l'apprentissage de l'élève qui peut avoir le sentiment de se disperser.

Nous avons fait remarquer que la première loi de Descartes était déjà connue de Ptolémée.

Pour les élèves qui ont eu des difficultés à comprendre la loi de Descartes en TP, le cours et les exercices sont censés les aider.

Afin d'évaluer leurs acquis, un exercice a été proposé dans le cadre d'un devoir. L'énoncé de l'exercice et l'examen des réponses des élèves se trouvent en annexe section AII.2. **Evaluation 2.** Il s'agit d'un exercice donné lors d'un devoir en classe afin de vérifier que les élèves avaient acquis les connaissances relatives à la relation de Descartes (exigée pour le passage air - milieu transparent sous la forme $\sin i = n \cdot \sin r$) en leur proposant une démarche proche de celle utilisée en TP.

À l'examen des réponses, on peut considérer que la relation de Descartes est acquise par une majorité d'élèves mais des difficultés mathématiques sont mises en évidence dans la réponse à la question 2 (des élèves ne savent pas comment montrer que deux grandeurs sont proportionnelles). De plus, des élèves ont appris la relation sans connaître la signification des lettres, en particulier la signification de n . Ces deux remarques pourraient être faites dans de nombreux cas et l'approche de la réfraction avec introduction de l'histoire des sciences ne pouvait résoudre ces difficultés, mais n'a pas empêché les élèves d'acquérir les notions exigées.

- Bilan

En résumé, pour l'ensemble des années, la participation des élèves et leur attention soutenue sont probablement liées, en grande partie, au choix fait quant à la présentation du TP. L'aspect historique a dynamisé leur travail, ils se sentaient en quelque sorte acteurs de la recherche et ont découvert le long cheminement pour aboutir à une loi.

Les travaux de Ibn Al-Haytham, ajoutés au TP après que le professeur aura eu des précisions sur leur contenu, seront abordés dans le cadre des nouveaux programmes de cinquième à la rentrée 2006. Cette introduction de l'histoire des sciences arabes dans l'enseignement apparaît tout à fait positive.

IV.3.3. Supports de la séquence la réfraction des rayons lumineux

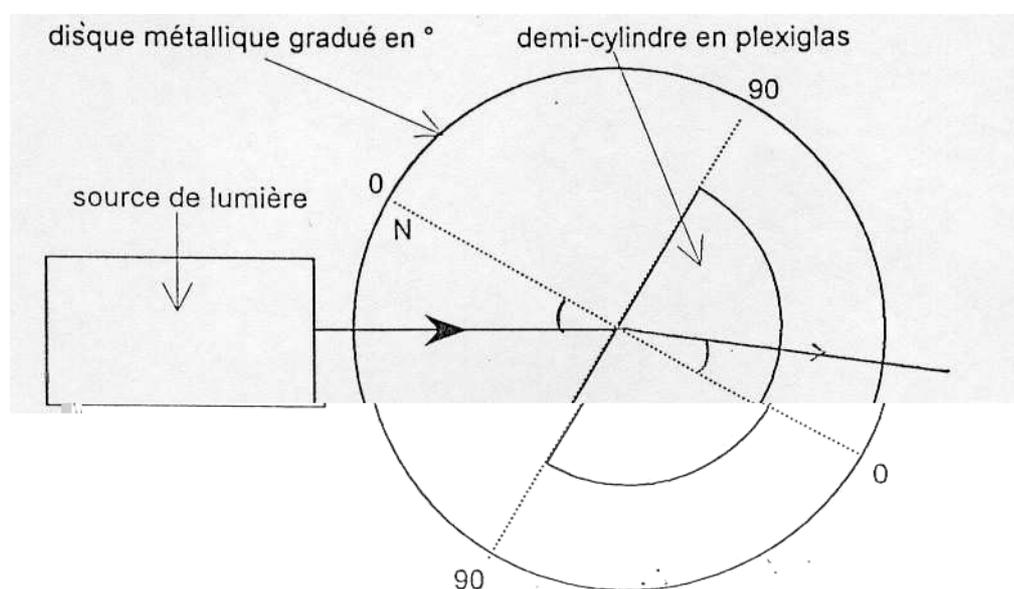
TP1: version du TP sans illustration

La réfraction des rayons lumineux

I - EXPÉRIENCE PRÉLIMINAIRE

On étudie les modifications de direction que subit un rayon lumineux issu d'un laser lorsqu'il rencontre la surface de l'eau. Reproduire un schéma de l'expérience.

II – LE DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL



Sur un disque métallique gradué est posé un demi-cylindre.

Définitions

- Rayon incident : rayon issu de la source qui parvient sur le demi-cylindre au point d'incidence.
- Point d'incidence : point I où le rayon arrive sur la surface du dioptre.
- Normale au point d'incidence : droite NN' perpendiculaire à la surface du dioptre.
- Angle d'incidence : angle i que fait le rayon incident et la normale NN' .
- Plan d'incidence : plan contenant la normale et le rayon incident (plan du disque gradué).
- Rayon réfracté : rayon après la traversée du dioptre.
- Angle de réfraction : angle r que fait le rayon réfracté et la normale NN' .
- Le phénomène de réfraction se produit chaque fois qu'un rayon lumineux change brutalement de milieu transparent. Sa direction est modifiée.*

III – QUELQUES HYPOTHÈSES DE QUELQUES SAVANTS

1- **Claude PTOLÉMÉE**, physicien grec du II^e siècle après J.C., a réalisé des mesures relatives à la réfraction et s'est livré à des commentaires d'ordre qualitatif. Il a observé que :
Le rayon incident et le rayon réfracté sont situés dans un plan perpendiculaire à la surface de réfraction.

Les rayons perpendiculaires à la surface ne sont pas réfractés.

L'importance de la réfraction dépend de la densité du milieu.

2- **Ibn al-Haytham ou ALHAZEN** (Bassora 965-Le Caire 1039), mathématicien et astronome arabe reprend les lois de PTOLÉMÉE. Il établit plusieurs lois quantitatives. Parmi ces lois :

a. L'angle de réfraction croît en raison de l'angle d'incidence : si $i' > i$ alors $r' > r$

b. Si la lumière pénètre d'un milieu moins réfringent dans un milieu plus réfringent (c'est le cas de l'expérience que vous réalisez) : $d < i / 2$, d étant l'angle de déviation ($d = i - r$).

3- **Robert GROSSETÊTE**, maître des études à l'université d'Oxford (1168-1253) considère que l'expérimentation est le meilleur moyen pour étudier la réflexion et de la réfraction de la lumière. La loi de la réfraction qu'il a proposée est : l'angle de réfraction est égal à la moitié de l'angle d'incidence.

4- **Johannes KEPLER**, physicien allemand (1571-1630) était convaincu que la bonne équation devait prendre la forme d'une fonction trigonométrique. Il n'a pas découvert cette équation, mais a proposé : l'angle de réfraction est proportionnel à l'angle d'incidence pour de petites valeurs d'angles.

5- **René DESCARTES**, philosophe et savant français (1596-1650) : on lui attribue la loi de la réfraction (1637) qui fait intervenir le sinus de l'angle d'incidence et le sinus de l'angle de réfraction : $\sin i = n \cdot \sin r$

Remarque : quelques années avant DESCARTES, SNELL (hollandais) établit expérimentalement cette loi. C'est Pierre de FERMAT, mathématicien et physicien français (1601-1665) qui fait la première démonstration rigoureuse à partir d'un principe général qui affirme que le temps mis par la lumière pour aller d'un point à un autre est minimum.

IV – ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

Tests de quelques hypothèses de Ptolémée.

- Le rayon incident et le rayon réfracté

- Le rayon perpendiculaire à la surface du dioptre

- Lorsqu'on remplace le plexiglas par de l'eau, l'angle de réfraction

Mesures

i (°)	0	10	20	30	40	50	60	70
r (°)								

Tests des hypothèses proposées :

Alhazen

Grossetête

Kepler

Descartes

Loi de Descartes (1637)

La loi de Descartes caractérise un milieu transparent par son indice de réfraction par rapport à l'air n . C'est un nombre supérieur ou égal à 1, sans unité.

Quand un rayon arrive de l'air et se réfracte dans un milieu transparent, il se rapproche de la normale au dioptre :

Quand un rayon arrive d'un milieu transparent et se réfracte dans l'air, il s'éloigne de la normale au dioptre :

Valeur de quelques indices moyens

Verre ou crown : $n = 1,5$

Cristal ou flint : $n = 1,6$

Eau : $n = 1,33$

Diamant : $n = 2,4$

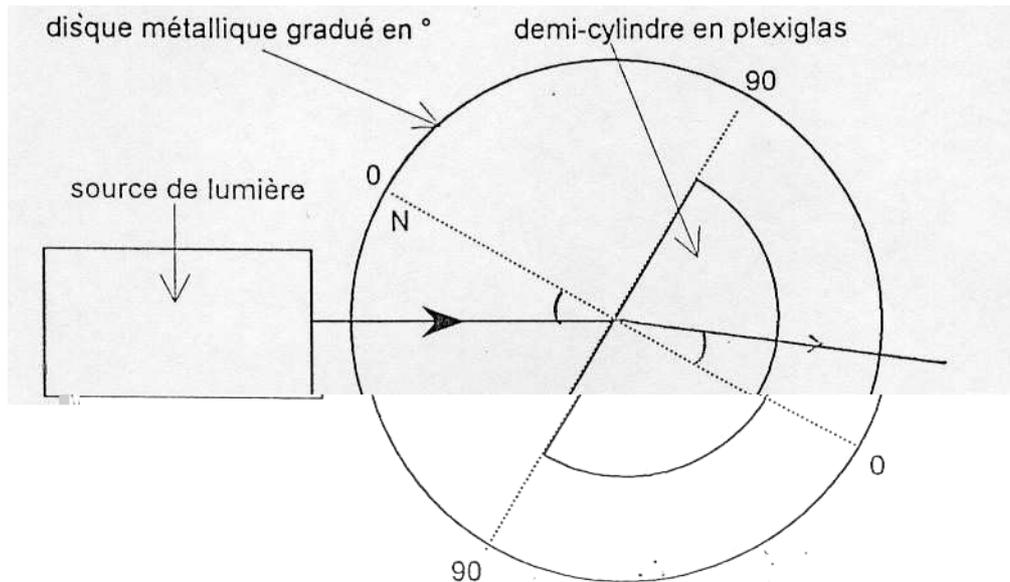
TP2 : version du TP avec illustrations

La réfraction des rayons lumineux

I - EXPÉRIENCE PRÉLIMINAIRE

On étudie les modifications de direction que subit un rayon lumineux issu d'un laser lorsqu'il rencontre la surface de l'eau. Reproduire un schéma de l'expérience.

II – LE DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL



Sur un disque métallique gradué est posé un demi-cylindre.

Définitions

Rayon incident : rayon issu de la source qui parvient sur le demi-cylindre au point d'incidence.

Point d'incidence : point I où le rayon arrive sur la surface du dioptre.

Normale au point d'incidence : droite NIN' perpendiculaire à la surface du dioptre.

Angle d'incidence : angle i que fait le rayon incident et la normale NN'.

Plan d'incidence : plan contenant la normale et le rayon incident (plan du disque gradué).

Rayon réfracté : rayon après la traversée du dioptre.

Angle de réfraction : angle r que fait le rayon réfracté et la normale NN'.

Le phénomène de réfraction se produit chaque fois qu'un rayon lumineux change brutalement de milieu transparent. Sa direction est modifiée.

III – QUELQUES HYPOTHÈSES DE QUELQUES SAVANTS



1- **Claude PTOLÉMÉE**, physicien grec du II^e siècle après J.C., a réalisé des mesures relatives à la réfraction et s'est livré à des commentaires d'ordre qualitatif. Il a observé que :

Le rayon incident et le rayon réfracté sont situés dans un plan perpendiculaire à la surface de réfraction.

Les rayons perpendiculaires à la surface ne sont pas réfractés.

L'importance de la réfraction dépend de la densité du milieu.

2- **Ibn al-Haytham ou ALHAZEN** (Bassora 965-Le Caire 1039), mathématicien et astronome arabe reprend les lois de PTOLÉMÉE. Il établit plusieurs lois quantitatives. Parmi ces lois :

L'angle de réfraction croît en raison de l'angle d'incidence : si $i' > i$ alors $r' > r$

Si la lumière pénètre d'un milieu moins réfringent dans un milieu plus réfringent (c'est le cas de l'expérience que vous réalisez): $d < i / 2$, d étant l'angle de déviation ($d = i - r$).

3- **Robert GROSSETÊTE**, maître des études à l'université d'Oxford (1168-1253) considère que l'expérimentation est le meilleur moyen pour étudier la réflexion et de la réfraction de la lumière. La loi de la réfraction qu'il a proposée est : l'angle de réfraction est égal à la moitié de l'angle d'incidence.



4- **Johannes KEPLER**, physicien allemand (1571-1630) était convaincu que la bonne équation devait prendre la forme d'une fonction trigonométrique. Il n'a pas découvert cette équation, mais a proposé : l'angle de réfraction est proportionnel à l'angle d'incidence pour des valeurs d'angles petites.



5- **René DESCARTES**, philosophe et savant français (1596-1650) : on lui attribue la loi de la réfraction (1637) qui fait intervenir le sinus de l'angle d'incidence et le sinus de l'angle de réfraction :

$$\sin i = n \cdot \sin r$$


Portrait de Descartes par Weenix, Musée d'Utrecht

Maison natale du savant qui est maintenant transformée en musée dans la petite ville de Descartes (Indre et Loire)

Remarque: quelques années avant DESCARTES, SNELL (hollandais) établit expérimentalement cette loi. C'est Pierre de FERMAT, mathématicien et physicien français (1601-1665) qui fait la première démonstration rigoureuse à partir d'un principe général qui affirme que le temps mis par la lumière pour aller d'un point à un autre est minimum.

IV – ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

1) Tests de quelques hypothèses de Ptolémée.

- Le rayon incident et le rayon réfracté

.....

- Le rayon perpendiculaire à la surface du dioptre

- Lorsqu'on remplace le plexiglas par de l'eau, l'angle de réfraction

2) Mesures

$i (^\circ)$	0	10	20	30	40	50	60	70
$r (^\circ)$								

3) Tests des hypothèses proposées :

Alhazen

Grossetête

Kepler

Descartes

Évaluation 1

Questions posées :

- Par rapport aux travaux sur la réfraction présentés en page 2 du TP, quelles sont vos remarques et commentaires ?
- Par rapport au travail effectué en TP, quelles sont vos remarques et commentaires ?
- Des élèves ont fait remarquer, au cours du TP ou à la fin du TP, que ce qui était à retenir impérativement pour la suite du cours et pour les exercices, c'était la loi de Descartes. L'étude qui a précédé la vérification de cette loi, présentait-elle un intérêt ?

Évaluation 2

Énoncé de l'exercice

On réalise des mesures à l'aide d'un héli cylindre

L'expérience de Boyle et Mariotte

IV.4. L'expérience de Boyle et Mariotte

IV.4.1. Grille de la séquence l'expérience de Boyle Mariotte

Thème historique mobilisé	La loi de Mariotte: expérience de Mariotte sur la relation entre pression et volume
Niveau(x)	4 ^e (adaptable en seconde)
Type d'activité	TP appuyé sur le texte de Mariotte, pure activité d'HS
Objectifs spécifiques des moments d'HS (cf. répertoire des objectifs possibles proposé en II.4.)	Comprendre le raisonnement expérimental de Mariotte (et Boyle) Voir comment, avec peu de moyens techniques, Mariotte a pu établir que « l'air, comprimé une fois et demi..., « se condense » une fois et demi... » (objectifs 3-2) .
Connaissances et compétences pré-requises	Relation entre pression et volume Correspondance volume/hauteur de liquide dans un tube, pression/ hauteur de liquide dans un tube notion de pression et mesure de pression au baromètre de Torricelli
Situation dans la progression	Dans le thème de l'air La loi de Mariotte a déjà été introduite, c'est une séance de renforcement
supports utilisés	Texte extrait du livre de Mariotte [Mariotte 1740] et croquis explicatifs
Descriptif :	30 à 40 minutes. Lecture collective commentée du texte et analyse du schéma joint Mise au point collective du protocole expérimental et réalisation en groupes d'élèves de l'expérience (tube coudé en U + tuyau plastique transparent, voir photos en IV.4.2. Analyse de la séquence l'expérience de Boyle et Mariotte) Mesures de la hauteur d'air, référence à la pression atmosphérique donnée par le baromètre de Torricelli, ajout d'eau et mesure de la variation de hauteur d'air
Évaluation	Possible : à partir de trois schémas représentant le dispositif de l'expérience du TP, les deux schémas du document et un troisième dans lequel on a ajouté de l'eau, demander une explication.
Éléments bibliographiques	[Mariotte 1740] ; [Massain 1966, 61-65] .

IV.4.2. Analyse de la séquence l'expérience de Boyle et Mariotte

A. Présentation de la séquence

Ces travaux pratiques se font à la fin du cours sur la loi de Mariotte et Boyle, comme complément.

La pression a déjà été traitée :

1. La pression s'explique par les chocs entre molécules dans les gaz.
2. Expérience : dans un tube en U le niveau d'un liquide est le même dans les deux colonnes (la pression a la même valeur de chaque côté du tube, à la surface du liquide). On crée une surpression en soufflant d'un côté. Le dénivelé mesure cette surpression (en cm eau).
3. Expérience : le piston d'une seringue (bouchée avec le doigt) est tiré à moitié (on peut considérer qu'il n'y a pas de molécules et une pression nulle à l'intérieur). On retourne la seringue sur une cuve à eau et on débouche : c'est la pression de l'air extérieur qui envoie l'eau dans le tube. Anecdote des fontainiers de Florence (d'après Galilée).
4. Torricelli remplace l'eau par le mercure ; les unités de pression sont données ainsi que la notion de pression atmosphérique. Pascal et les variations de pression (au Puy de Dôme en fonction de l'altitude - et à la tour St Jacques en fonction des conditions météorologiques) ($1013 \text{ hPa} = 76 \text{ cm Hg} = 10.33 \text{ m eau} = 1.013 \text{ bar}$).
5. Expériences : hémisphères de Magdebourg, une bouteille plastique qu'on vide s'écrase, un ballon se gonfle en dépression, augmentation de la pression sous l'eau, le son ne se propage pas dans le vide.

B. Déroulement :

1. Un élève lit le texte à haute voix

- *On pourra faire remarquer que l'abbé Edme Mariotte (v.1620-1684) a établi sa loi en 1676, que Boyle l'avait déjà établie en 1662 et que la réédition (voir photo du document élève) date de 1740.*
- *Il faudra expliquer le mot « condensation » qui dans l'esprit de Mariotte signifie une contraction, une diminution de volume.*
- *On peut faire calculer les dimensions du tube en « J » utilisé, ainsi que les hauteurs de mercure.*
- *28 pouces \approx 76cm*

La fin du texte est assez difficile à comprendre : il faut noter qu'il n'est pas si facile d'être clair...

- *Faire remarquer que dans une éprouvette graduée un volume double correspond à une hauteur double. Mariotte note simplement la hauteur d'eau et parle de volume. (ce n'est pas tout à fait rigoureux, mais on comprend qu'on s'occupe de variations de hauteur qui sont proportionnelles aux variations de volume).*

2. Mise en place de l'activité expérimentale.

Des explications orales sont données pour que tous les élèves comprennent le travail demandé.

Mariotte explique que le volume de l'air se contracte proportionnellement à la pression, « se condense selon la proportion des poids dont il est chargé ».



On peut encore dire que le volume se contracte 2, 3, 4,... fois lorsque la pression double, triple, quadruple,...

On peut encore remarquer que mathématiquement, il suffit d'écrire que $P \times V$ ne varie pas.

On peut aussi calculer dans quelles proportions la pression augmente, et vérifier que le volume diminue dans les mêmes proportions (ce qu'on fait ensemble).

Exemples de valeurs obtenues :

19 mai 2005, collège Le Tholy (altitude 650 m) :

Baromètre de Torricelli : 70,9 cm Hg soit $P = 964$ cm H₂O pour une colonne d'air de 57 cm.

On rajoute de l'eau : la surpression est 197cm soit $P' = 1161$ cm H₂O. L'air dans le tube n'occupe plus que 48,5cm.

La pression a été multipliée par $1161/964 = 1,20$ et le volume a été divisé par $57/48,5 = 1,17$



16 mai 2005, collège Le Tholy (altitude 650m) :

Baromètre de Torricelli : 69,9 cm Hg soit $P = 950,5$ cm H₂O pour une colonne d'air de 56 cm.

On rajoute de l'eau : la surpression est 166,5 cm soit $P' = 1117$ cm H₂O. L'air emprisonné n'occupe plus que 47,3cm.

La pression est multipliée par 1,17 et le volume divisé par 1,18.

Le même jour dans un autre groupe, la surpression est de 193,8 cm et le volume d'air passe de 47,7 cm à 39,5 cm

La pression a été multipliée par 1,20 et le volume a été divisé par 1,20

En conclusion, on peut remarquer que des lois fondamentales ont été découvertes avec des appareils simples et que la précision des mesures vaut celle des sondes EXAO.

IV.4.3. Support de la séquence l'expérience de Boyle Mariotte

Activité



DISCOURS de la NATURE DE L'AIR (1676)

C O M P R E N A N T
Tous les Traitez de cet Auteur, tant ceux qui
n'avoient pas encore été publiés ;
REVUES & CORRIGÉES DE NOUVEAU.
T O M E P R E M I E R.



La première question qu'on peut faire là-dessus, est de savoir si l'air se condense précisément selon la proportion des poids dont il est chargé, ou si cette condensation suit d'autres lois et d'autres proportions. Voici les raisonnements que j'ai faits pour savoir si la condensation de l'air se fait à proportion des poids dont il est pressé. [...]

Que si l'on en veut faire des expériences plus sensibles, il faut avoir un tuyau recourbé, dont les deux branches soient parallèles, et dont l'une soit d'environ huit pieds de hauteur, et l'autre de douze pouces ; la grande doit être ouverte en haut, et l'autre scellée exactement.

On commencera à verser un peu de mercure pour remplir le fond où est la communication des deux branches, et on fera en sorte que le mercure ne soit pas plus haut dans l'une que dans l'autre, afin d'être assuré que l'air enfermé n'est pas plus condensé ou dilaté que l'air libre.

On versera ensuite peu à peu du mercure dans le tuyau, prenant garde que le choc ne fasse entrer de nouvel air avec celui qui est enfermé ; et on verra, comme je l'ai vu plusieurs fois, que, lorsque le mercure sera élevé à quatre pouces dans la petite branche, le mercure sera dans l'autre quatorze pouces plus haut, c'est-à-dire, dix-huit pouces au-dessus du tuyau de communication ; ce qui doit arriver, si l'air se condense à proportion des poids dont il est chargé, puisque l'air enfermé est alors chargé du poids de l'atmosphère qui est égal au poids de vingt-huit pouces de mercure, et encore de celui de quatorze pouces, dont la somme 42 pouces est à 28 pouces premier poids qui tenait l'air à douze pouces dans la petite branche, réciproquement comme cette étendue de douze pouces est à l'étendue restante de huit pouces.

Si l'on verse du nouveau mercure....

L'expérience proposée : on remplace le mercure par de l'eau

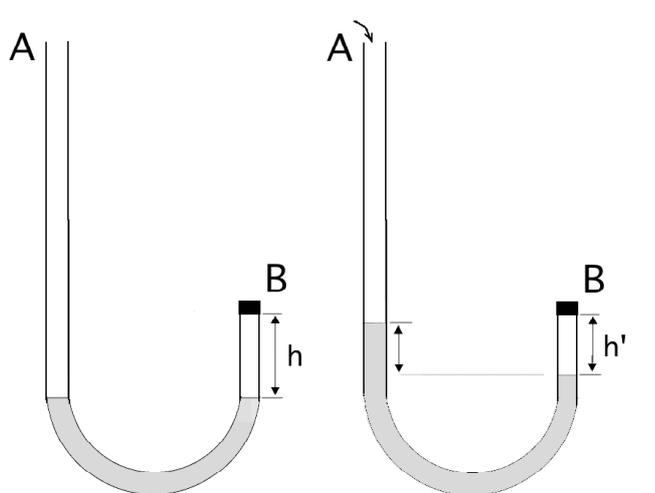
Un tube coudé en verre d'environ 60cm (B) est prolongé par un tube en plastique cristal de 2,50 m. (A)

On verse un peu d'eau, puis on bouche en B.

La condensation se fait selon la proportion des poids dont il est chargé

Pour comprendre

1 toise = 6 pieds
(1,949 m)
1 pied = 12 pouces
(32,48 cm)
1 pouce = 12 lignes
(2,707 cm)
1 ligne = 12 points
(2,256 mm)
1 point (0,188 mm)

<p><u>Croquis de gauche :</u> On note la hauteur de l'air emprisonné dans la colonne B : $h = \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm}$ Cet air n'est pas comprimé, il est à la pression atmosphérique. Le baromètre de Torricelli indique une hauteur de $\underline{\hspace{2cm}} \text{ cm Hg}$, ce qui correspond à une hauteur d'eau 13,6 fois plus grande (la masse volumique du mercure est 13,6 kg/L). Ici on trouve : $P = \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm d'eau.}$</p>		<p><u>Croquis de droite :</u> On verse ensuite de l'eau avec une seringue en A. Il faut remarquer que l'air emprisonné en B voit son volume diminuer. On note la hauteur de l'air emprisonné dans la colonne B : $h' = \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm.}$ On mesure ensuite la surpression dans la colonne A : la hauteur est de $\underline{\hspace{2cm}} \text{ cm}$ et on en déduit la pression $P' = \underline{\hspace{2cm}} +$ $P' = \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm d'eau.}$</p>
---	--	---

Analyse des résultats : comme Mariotte, on calcule le rapport des pressions et le rapport des volumes.

La pression passe de $\underline{\hspace{2cm}} \text{ cm d'eau}$ à $\underline{\hspace{2cm}} \text{ cm d'eau}$: elle a été multipliée par $\underline{\hspace{2cm}} / \underline{\hspace{2cm}} =$

Dans le même temps le volume passe de $\underline{\hspace{2cm}} \text{ cm}$ à $\underline{\hspace{2cm}} \text{ cm}$: il a été divisé par $\underline{\hspace{2cm}} / \underline{\hspace{2cm}} =$

Franklin

IV.5. Mesure d'une petite longueur: l'expérience dite « de Franklin »

IV.5.1. Grille de la séquence l'expérience dite « de Franklin »

Thème historique mobilisé	<ul style="list-style-type: none"> * Expériences visant à mesurer l'épaisseur d'une fine couche d'huile, et sous l'hypothèse que la couche d'huile est monomoléculaire, à évaluer la taille d'une molécule d'huile (Rayleigh ; Pockels). * Plus largement : expériences et réflexions (ayant eu historiquement des buts fort divers) étudiant le comportement de l'huile versée sur l'eau (Franklin, Reynolds). 		
Niveau	Seconde.		
Type d'activité	TP. Activité intégrant l'HS au sein d'une séquence de physique-chimie		
Objectifs spécifiques des moments d'HS (cf. répertoire des objectifs)	<ul style="list-style-type: none"> * Donner une culture scientifique (quelques grands noms, accomplissements et périodes ; évolution de la place des femmes en sciences) (objectif 2). * Faire comprendre certains aspects des sciences réelles. Une « même » expérience (mêmes types de manipulations) peut avoir plusieurs buts et plusieurs interprétations ; plusieurs niveaux interprétatifs d'un même résultat expérimental (ici la mesure de la couche mince) en fonction des hypothèses théoriques faites (hypothèse d'une structure moléculaire de la matière ; hypothèse d'une couche monomoléculaire) ; possibilité de l'erreur, nécessité de bien cerner les conditions de l'expérience ; beaucoup d'acteurs et une longue temporalité sont souvent indispensables à l'accomplissement d'un résultat... (Objectif 3). 		
Objectifs de la séquence	Mesurer une petite longueur; donner un ordre de grandeur de la molécule...		
Connaissances et compétences pré-requises	Maîtrise des calculs de surfaces, de volumes, conversions		
Situation dans la progression du programme	Exploration de l'espace - Échelle des longueurs : « Mesurer une petite... distance : mettre en œuvre une technique de mesure utilisée en TP ; garder un nombre de chiffres significatifs en adéquation avec la précision de la mesure »		
Supports utilisés	Document élaboré à partir d'extraits de textes originaux (traduits)		
Descriptif : 1h30	<p>AG</p> <ul style="list-style-type: none"> * Lecture collective du document IV.5.3. Supports de la séquence de l'expérience dite « de Franklin » - TP1, questions et réponses. * Lecture du mode opératoire. * Expérience et mise en commun des résultats. 	<p>AR</p> <ul style="list-style-type: none"> * Lecture collective du document - TP2 sur les travaux de Franklin, * Présentation de l'expérience de Rayleigh, questions et réponses. * Travaux d'A. Pockels montrant l'importance de la dilution. * Présentation du mode opératoire et expérience. * Explication de Langmuir. * Bilan. 	<p>MJF</p> <ul style="list-style-type: none"> * Lecture collective du document - TP3 sur les travaux de Franklin et Rayleigh, questions et réponses. * Découverte du mode opératoire à partir du matériel disponible. * Expérience et mise en commun des résultats. * Discussion sur les différences entre les résultats des élèves et ceux de Lord Rayleigh. * Lecture des textes concernant Pockels et Langmuir.
Évaluation	TP noté	Prévue à partir de 3 questions (cf. paragraphe C-2 page 3 et 4 de l'analyse AR)	Voir paragraphe C-2 , fiche évaluation et exercice dans un devoir Evaluation 1 et Evaluation 2
Éléments bibliographiques	<p>[Bolmont 2001] Lettre de Franklin à William Brownrigg en annexe : Le texte original de Franklin ou http://www.chem.brown.edu/chem12/Avogadro/BenFranklin.html Sur William Brownrigg : http://www.bbc.co.uk/history/historic_figures/brownrigg_william.shtml [De Gennes et Badoz 1994, 103-106] avec un extrait : http://www.ac-grenoble.fr/phychim/propos/tp/franklin/pggennes.html voir en annexe AII.3. : Deux textes contemporains</p>		

IV.5.2. Analyse de la séquence de l'expérience dite « de Franklin »

A. Présentation générale de la séquence

Dans le cadre des nouveaux programmes de seconde, ce qui est appelé « expérience de Franklin » ou « TP Franklin » est présenté dans de nombreux manuels de seconde et dans les documents d'accompagnement des programmes de seconde CNDP 2000. Ces présentations utilisent le plus souvent des extraits de l'un ou l'autre des deux textes suivants :

a/ Un article de Roland Lehoucq paru dans la revue *Pour la science* en 1999 [Lehoucq 1999] ;

b/ Un livre de Pierre-Gilles de Gennes et de Jacques Badoz, *Les objets fragiles*, paru en 1994 [De Gennes 1994] (voir [Deux textes contemporains](#)).

En s'inspirant de ces présentations, les professeurs avaient élaboré, avant de s'engager dans la recherche PARI, une première version du TP (en annexe AII.3. : *TP1, TP2, TP3*) dans laquelle les élèves sont invités à reproduire une expérience présentée comme voisine de celle de Franklin, afin de connaître l'ordre de grandeur de la taille d'une molécule.

Or ces présentations s'avèrent, à l'examen, problématiques à divers égards, comme l'a montré Etienne Bolmont dans un article publié en 2001 dans le Bulletin de l'Union des Physiciens [Bolmont 2001].

Les problèmes relèvent de trois registres : affirmations inexactes d'un point de vue historique ; affirmations insoutenables d'un point de vue épistémologique ; et présentations susceptibles d'induire des confusions d'un point de vue didactique.

Donnons quelques exemples.

- Inexactitudes historiques ; anachronismes.

Certains documents affirment que Franklin a mesuré la taille d'une molécule d'huile ou cherchait à le faire.

Ainsi, Roland Lehoucq écrit que Benjamin Franklin « visait à mettre en évidence l'existence d'un film monomoléculaire ». Cette affirmation est contraire à la réalité historique. Franklin, vers 1773, n'a pas mesuré la taille d'une molécule, et ne risquait pas de le faire puisque le concept de molécule ne sera introduit qu'au XIX^e siècle ; c'est donc un anachronisme. Franklin s'est certes intéressé à ce qui se produisait quand on verse de l'huile sur de l'eau, a réalisé un certain nombre d'expériences de ce type et a risqué une interprétation du phénomène d'étalement rapide de l'huile sur l'eau en couche très fine. Mais le but de ses expériences n'était pas d'évaluer la taille d'une molécule, ni même l'épaisseur de la mince couche d'huile. L'intention de Franklin était de comprendre pourquoi l'huile calmait les vagues de l'eau, et d'essayer d'utiliser cet effet pour sauver des vies en mer en cas de tempête.

Les historiens des sciences attribuent à Rayleigh, bien plus tard, la détermination de la taille d'une molécule d'huile à partir de la détermination de l'épaisseur du film d'huile. L'explication du fait que l'huile s'étale en une couche monomoléculaire est attribuée à Langmuir. Ce sont donc d'autres savants qui, après Franklin, les siècles suivants, ont d'une part expliqué le phénomène, et d'autre part mis en relation l'épaisseur de la couche avec la taille d'une molécule.

- Critiques sur le plan didactique

Le TP comporte deux moments qui devraient être bien distingués mais qui ne le sont pas toujours : d'une part l'évaluation de l'épaisseur de la fine couche d'huile grâce à la technique mise en œuvre dans le TP ; d'autre part l'interprétation de cette mesure en terme de taille d'une molécule d'huile. Bien entendu, ce second moment repose sur des hypothèses supplémentaires par rapport au premier. Le premier peut tout à fait être conduit sans aucune hypothèse sur la structure de la matière. En revanche, pour passer au second, il faut admettre l'hypothèse moléculaire, il faut supposer que la couche d'huile est monomoléculaire... Il est très important que les élèves comprennent cela, en particulier qu'ils ne croient pas que les interprétations théoriques, comme l'hypothèse des atomes, sont directement imposées par l'observation. Ceci nous conduit au troisième plan.

- Critiques épistémologiques

Le texte de Roland Lehoucq se termine par la phrase suivante : « *l'évaluation de la taille des molécules n'est qu'une question d'observations* ». Cette affirmation est totalement insoutenable d'un point de vue épistémologique, et elle risque d'induire chez les élèves une idée complètement faussée de la démarche scientifique. Bien entendu il ne suffit pas d'observer l'huile sur l'eau pour dégager la taille d'une molécule. D'ailleurs historiquement, de telles observations furent faites dès l'Antiquité, et ce n'est qu'au 19^{ème} siècle qu'on les utilisa comme indices de la taille d'une molécule. C'est donc un difficile et long travail d'élaboration théorique impliquant de très nombreux savants qui se trouve comme effacé dans de telles affirmations. Si l'un des buts importants du cours de science est de donner aux élèves une juste idée de ce qu'est la démarche scientifique réelle, il faut être attentif à bannir ce genre d'affirmations.

Ces exemples sont tout à fait caractéristiques des types de problèmes qui, pour les spécialistes d'histoire et de philosophie des sciences, sont manifestes dans les manuels ou les documents d'accompagnements.

On peut s'interroger sur les raisons qui ont conduit à la déformation de la réalité historique dans les activités proposées aux élèves.

Il est vrai, à la décharge des auteurs, que l'histoire et l'épistémologie des sciences ne s'improvisent pas, et que les enseignants et concepteurs de manuels y sont très peu formés, pour ne pas dire pas du tout : cette composante ne fait pas partie des éléments obligatoires d'un cursus scientifique traditionnel.

Parfois, pourtant, les auteurs paraissent informés, mais continuent de recourir à des formulations critiquables. Ainsi Pierre-Gilles de Gennes et Jacques Badoz écrivent, en 1994 dans *Les objets fragiles*, [De Gennes 1994, 106]: « *Franklin peut estimer assez bien la surface du film d'huile. Elle est énorme: de l'ordre de 100 m² [sic : au lieu de 2000m²]. Cette expérience [de Franklin] porte en elle-même un résultat considérable qui ne sera pas exploité par Franklin, mais seulement cent ans plus tard par Lord Rayleigh.* ». Ces citations nuancées montrent que les auteurs sont informés. Pourtant juste avant, la description des mêmes expériences fait l'objet de commentaires anachroniques (« *l'huile s'étale, mais l'aspect optique de la surface ne change pas (car le film est très mince par rapport à la longueur d'onde de la lumière)* »)... Et quelques années plus tôt, en 1991, Pierre-Gilles de Gennes écrivait à propos de la taille

des molécules, dans la préface de la réédition du livre *Les atomes* de Jean Perrin : « *Je regrette seulement que n'y soit cité Benjamin Franklin, qui, en versant quelques centigrammes d'huile sur une mare (par un jour sans vent), avait déjà, au XVIII^e siècle, une idée sur la longueur des chaînes d'acide oléique* ». [De Gennes 1991, 14-15]

Il faut aussi noter que les problèmes du type précédent ne sont pas toujours aussi manifestes que dans les exemples mentionnés. Parfois c'est plus insidieux.

Ainsi, le document d'accompagnement de Physique de seconde CNDP 2000 propose, en page 4, une activité qui respecte la réalité historique : « Après une description rapide de l'expérience telle qu'elle fut réalisée par Franklin, on explique comment cette expérience réalisée à une échelle réduite par Lord Rayleigh un siècle plus tard, permit de déterminer l'ordre de grandeur de la taille des molécules d'acide stéarique ». Dans ce document se trouve aussi un autre texte, retenu en annexe, qui respecte lui aussi la réalité historique : le contenu du texte explique le comportement de l'huile sur l'eau et l'existence d'une couche monomoléculaire (« les molécules forment une couche bien régulière dont l'épaisseur est égale à une longueur moléculaire »), puis il mentionne les travaux de Franklin. Jusqu'ici le document n'est pas sujet aux critiques précédentes. Seulement, le titre de l'activité reste « T. P. Franklin – Comment déterminer l'ordre de grandeur de la taille d'une molécule ? ». De là à faire croire que Franklin a déterminé l'ordre de grandeur de la taille de molécule, il n'y a qu'un pas, qui a été franchi par de nombreux auteurs de manuels et de professeurs.

On peut souligner que malgré une nouvelle édition des manuels de seconde en 2004, l'approche historique de l'expérience dite « de Franklin » n'a, le plus souvent, pas été sensiblement modifiée. Elle reste donc à notre sens le plus souvent non correcte.

Après identification des problèmes 561(a)3.74(c)3.74(c)3.74(o)-0.294363(m)-2.45995(0.295585(e)3.745(r)2

B. Étapes d'évolutions – modifications

- AG

La première version (cf. annexe section AII.3., *TP1*) comporte un extrait de l'article de R. Lehoucq : « la taille de molécules » » [Lehoucq 1999], puis le protocole expérimental pour réaliser l'expérience.

Dans la nouvelle version (cf. IV.5.3. *Supports* de la séquence de l'expérience dite de Franklin - TP1), le professeur a relaté les faits historiques dans un texte qu'il a élaboré à partir d'éléments historiques.

Dans les deux versions, le protocole expérimental est le même et donne des résultats satisfaisants. La grande différence tient au fait que, à partir d'un texte presque aussi court que dans la première version, la réalité historique est respectée dans la seconde version.

Le temps disponible pour réaliser l'expérience est suffisant pour qu'elle puisse être réalisée avec soin et réussie par les élèves

- AR

La première version (cf. annexe section AII.3., *TP2*) s'inspire largement de celle proposée dans le manuel de seconde des éditions Bordas (collection Parisi, édition 2000), lequel utilise l'article [Lehoucq 1999] qui ne respecte pas la vérité historique : l'évaluation de la taille d'une molécule est attribuée à Franklin qui aurait mis en évidence l'existence d'un film monomoléculaire.

La deuxième version (cf. annexe section AII.3., - *TP2*) a le souci de respecter la réalité historique.

Quelques remarques ont été faites par les membres du groupe PARI sur le document de cette seconde version.

Le professeur a souhaité conserver le titre « la goutte d'huile » qu'il trouve plus poétique que « Mesure d'une petite longueur » ou « Estimation de la taille d'une molécule avec un double-décimètre ». La démarche proposée aux élèves conforte ce titre.

Le choix a été fait de passer sous silence que Franklin voulait, par son expérience, calmer les vagues, avec l'avantage de ne pas se disperser par rapport à l'objectif du TP, mais en perdant la richesse de la séquence historique plus complète ainsi que certains enseignements épistémologiques susceptibles d'en être tirés.

- MJF

La première version (cf. annexe section AII.3., *TP3*) a été élaborée à partir du document d'accompagnement de Physique de seconde CNDP 2000 [Progr. Acc. 2nde 2000, 47]. Ce document utilise un texte adapté de [De Gennes 1994] et il intitule ce texte « L'esprit Benjamin Franklin ».

Le professeur ne s'est pas livré à une analyse précise de l'impact de cette séquence dans sa première version, mais il témoigne que cette version, chaque fois qu'elle a été proposée, a entraîné une bonne participation et l'intérêt des élèves. Le professeur avait le sentiment de

proposer un travail cohérent aux élèves avant de découvrir à quel point il avait déformé la réalité historique.

Afin de ne plus déformer la réalité historique, la nouvelle version (voir section AII.3. TP3) se veut relativement complète. Lors de l'élaboration, il a fallu faire un compromis entre une réalité historique à présenter de façon assez complète, le temps imparti, et le risque que les élèves se perdent dans les détails.

C. Mise en œuvre dans les classes

Les versions des professeurs AR et MJF apparaissent longues, compte tenu de la durée du TP (1h 30). Il est donc envisagé de distribuer une partie du document aux élèves avant le TP afin qu'ils le lisent et répondent aux questions à la maison (par exemple la première page pour MJF).

- AR

Le professeur aurait souhaité, comme indiqué dans le paragraphe I du document support section IV.5.3. (- TP2), réaliser une expérience proche de celle de Franklin à petite échelle. Il a dû renoncer car, lorsqu'il faisait tomber une goutte d'huile dans l'eau, celle-ci restait sous forme de goutte et ne s'étalait pas.

Les élèves ont eu des difficultés à comprendre le sens de la manipulation. Plusieurs explications ont été nécessaires. L'occasion en était donnée avec la description des expériences réalisées par Franklin, Rayleigh puis Pockels.

Le calcul n'a pu être mené à son terme faute de temps.

- MJF

*2004

À travers ce TP, en plus de l'expérience réalisée, il s'agit de retracer le parcours qui, de Pline à Langmuir, a permis de déterminer le diamètre d'une molécule d'huile et d'expliquer à l'échelle moléculaire le comportement d'une couche monomoléculaire d'huile en présence d'eau.

Le temps imparti (1 heure 30) permet sans difficulté de traiter les paragraphes I, II et III. Si le paragraphe IV ne peut être traité en T. P., il peut l'être en cours. Le travail sur le sujet n'est terminé qu'avec la fin de l'exploitation du document relatif à l'évaluation des travaux effectués sur le sujet ([Evaluation 1](#); [Evaluation 2](#)).

Le déroulement de la séance est le suivant :

- À tour de rôle un élève lit une partie du document. Des élèves ou le professeur posent des questions, commentent ... La participation des élèves est très positive.
- Les forces de tension superficielle sont précisées comme étant des phénomènes complexes dont les élèves ont déjà observé les conséquences (ménisque d'un liquide, capillarité, formes des gouttes d'eau et des bulles de savon).
- La page 2 n'est distribuée que lorsque le professeur a posé les questions du début de cette page et que les élèves y ont répondu oralement. Il s'agit en effet de leur faire trouver le mode opératoire à partir du matériel dont ils disposent dans la salle.
- Les travaux d'Agnès Pockels pourraient être présentés en même temps que ceux de Rayleigh mais dans ce cas le mode opératoire serait en partie dévoilé.

- Pour faciliter les calculs, il est possible de proposer aux élèves, avant le TP un exercice (calcul de surfaces, de volumes, conversions). C'est aussi dans le but de faciliter les calculs que les unités sont précisées dans le document distribué aux élèves.
- Les résultats des différents groupes ont naturellement été mis en commun. Ils sont compris entre $2 \cdot 10^{-9}$ m et $5 \cdot 10^{-9}$ m. En moyenne un groupe sur six réussit mal l'expérience, mais ne peut la recommencer faute de temps (ce qui est regrettable).
- Pour justifier la différence entre les valeurs mesurées et celles obtenues par Rayleigh, les élèves ont évoqué l'imprécision des mesures, le fait que la couche n'était peut-être pas parfaitement monomoléculaire et le fait que les molécules de différentes huiles n'ont pas la même dimension (comment connaître les dimensions d'une molécule d'huile d'olive, sachant qu'il n'y a pas une seule sorte de molécule dans l'huile utilisée?)
- À propos de l'élaboration du mode opératoire par les élèves:
 - des élèves proposent d'utiliser une aussi grande bassine que celle de Rayleigh (il faut leur faire observer à nouveau le matériel disponible) ;
 - pour mesurer le volume d'une goutte, certains élèves proposent de mesurer le diamètre avec un double-décimètre ;
 - pour diluer l'huile, un solvant soluble dans l'eau a été proposé (la réponse est correcte puisque certains protocoles diluent l'huile dans l'éthanol)
- Juste après les réponses aux dernières questions du TP un élève m'a demandé pourquoi l'huile calmait les vagues. Sa question et le dialogue qui a suivi m'ont montré que l'élève s'attendait, suite à la présentation des travaux de Franklin et de Langmuir à comprendre précisément le rôle de l'huile pour calmer les vagues. Ni l'élève ni moi n'avons été totalement satisfaits de ma réponse.

Après réflexion et compte tenu de la longueur du travail proposé, il a été décidé pour les prochaines fois de donner la page 1 du document support du TP à préparer à la maison (voir section IV.5.3., - TP3), afin de ne pas avoir à reprendre le TP au cours suivant.

D. Eléments d'évaluation

- AR

AR a fait un projet d'évaluation. Considérant que le principal apport à évaluer ici était la prise de conscience que les découvertes scientifiques sont rarement le fait d'un seul scientifique mais le fruit de plusieurs dizaines ou centaines d'années de recherche, il propose de soumettre aux élèves le document du manuel de seconde des éditions Belin, édition 2000 ou 2004, et de leur poser quelques questions à son propos, en vue d'une critique de leur part :

- Pensez vous que le titre du document (note : « L'expérience historique de Benjamin Franklin) soit justifié ?
- Selon vous, est-il possible que l'observation de Franklin « visait à mettre en évidence l'existence d'un film monomoléculaire » (ligne 2-3) ?
- Quels autres scientifiques ont participé à l'élaboration de cette expérience, dans quelle mesure ?

Les élèves doivent ici faire preuve d'un esprit critique, vérifiant ainsi un objectif culturel majeur. On vérifie également s'ils ont bien compris qu'il est abusif d'attribuer à un seul ce

qu'on doit en fait à de nombreux chercheurs.

Cette évaluation ne doit pas nécessairement être notée. Elle ne correspond à aucune *connaissance* exigible (telles qu'elles sont définies dans les nouveaux programmes mis en œuvre à partir de l'année 2000, [[Progr. Lycée 1999](#)]), mais elle correspond néanmoins à certaines exigences des instructions officielles (notamment celles mises en avant dans l'annexe « *enseignement des sciences au lycée* » [[Progr. Lycée 1999](#)]).

- MJF

Les travaux de MJF ont fait l'objet d'une évaluation (voir section IV.5.2.D. [Eléments d'évaluation](#), [Evaluation 1](#) et [Evaluation 2](#)).

* D'une évaluation orale, il ressort que l'expressi

la nôtre afin que le volume d'une goutte soit inférieur à celui que nous avons en TP (utilisation d'un fil). En effet, compte tenu de la taille de la bassine, il ne pouvait verser que moins d'une goutte d'huile ou une goutte de plus petit volume.

E. Variantes

Les travaux des trois professeurs constituent des variantes qui respectent la réalité historique.

Les trois nouvelles versions proposées se révèlent différentes et non exhaustives. La première peut être étudiée en totalité au cours du TP. Ce n'est pas le cas des deux autres nouvelles versions, en particulier de la troisième qui, en étant la plus complète, nécessite un travail préliminaire.

L'activité pourrait être étoffée dans le cadre par exemple d'une activité thématique, ou encore dans une activité mobilisant un professeur d'anglais (étude des textes de Franklin).

IV.5.3. Supports de la séquence de l'expérience dite « de Franklin »

- TP1

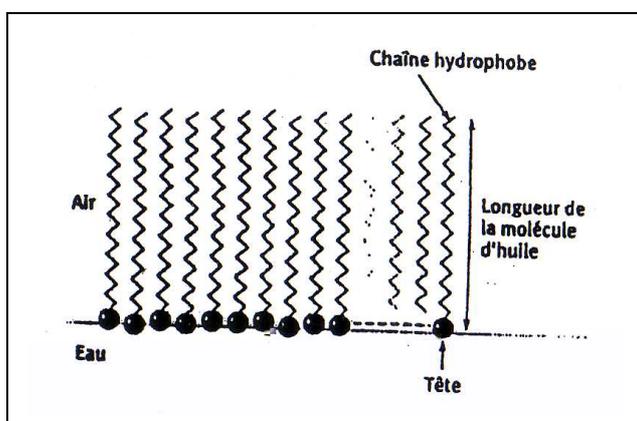
Détermination de l'ordre de grandeur de la taille d'une molécule

But : Déterminer expérimentalement l'ordre de grandeur de la taille d'une molécule.

I - Aspect historique

On peut dire que le point de départ de la "démarche" est les expériences de Benjamin FRANKLIN (1706-1790). En aucun cas cependant, B. FRANKLIN ne cherchait à mesurer la longueur d'une molécule, concept qui ne sera introduit qu'au XIX^e siècle. Il cherchait à comprendre pourquoi, lorsqu'on verse de l'huile sur de l'eau, cela atténue les vagues qui se forment à la surface les jours de grand vent. En 1762, lors d'un voyage à Londres, FRANKLIN avait en effet remarqué qu'en versant une cuillère à café d'huile à la surface d'un étang, celle-ci s'étalait sur l'eau d'une surface d'un demi acre environ (2000 m²).

FRANKLIN ignorait la raison de cet étalement. L'explication ne sera donnée qu'un siècle et demi plus tard grâce aux travaux successifs de scientifiques comme O. REYNOLDS (1842-1912), Lord RAYLEIGH (1842-1919), Agnès POCKELS (1862-1935) et I. LANGMUIR (1881-1957) : les molécules d'huile possèdent une tête hydrophile (qui aime l'eau) qui pénètre dans l'eau et une chaîne hydrophobe (qui craint l'eau) qui reste dans l'air. L'huile forme un film dont l'épaisseur est supposée égale à la taille d'une molécule (voir schéma ci-contre). La principale approximation réside dans la supposition que la couche formée est unique.



Question

Peut-on, à partir des seules données du texte, retrouver l'ordre de grandeur de la longueur des molécules ? Justifier et faire le calcul.

II - Activité expérimentale

Il est possible d'adapter cette expérience pour déterminer l'ordre de grandeur de la taille d'une molécule d'acide gras, l'acide oléique. Nous nous inspirons des expériences de Lord RAYLEIGH qui utilisait une baignoire.

Une goutte d'acide oléique déposée à la surface de l'eau s'étale sur une surface d'aire S en une couche monomoléculaire (si la taille du récipient le permet), dont l'épaisseur notée e peut être considérée comme la taille d'une molécule.

Compte tenu des dimensions du cristallisateur, il faut limiter la quantité d'huile déposée ; c'est pourquoi on la dilue dans un solvant, l'éther de pétrole qui s'évapore lorsque le mélange est déposé à la surface de l'eau tiède (environ 40°C). La température de l'eau est suffisante pour favoriser l'évaporation du solvant.

La solution est obtenue en versant 1 mL d'acide oléique liquide à la température ordinaire dans une fiole jaugée de 500 mL et en y ajoutant de l'éther de pétrole jusqu'au trait de jauge. Après agitation, la solution A est prête.

Protocole

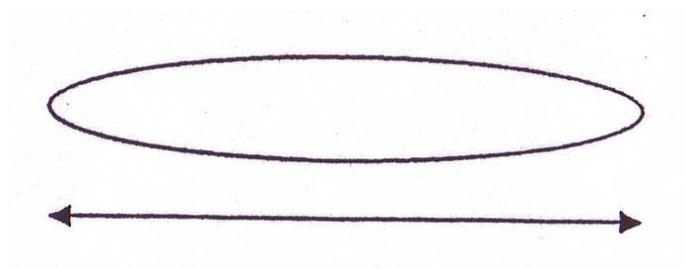
Mettre de l'eau tiède dans le cristalliseur environ 1 à 2 cm de hauteur et laisser reposer jusqu'à ce que la surface de l'eau soit au repos.

Déposer une très fine couche de lycopode à la surface de l'eau.

Très près de l'eau et au centre du cristalliseur, déposer avec la liquipipette une goutte de la solution A.

Mesurer rapidement le diamètre d de la tache circulaire qui se forme. Noter cette mesure.

Exploitation



Compléter le schéma ci-dessus en faisant apparaître l'épaisseur de la couche e et le diamètre d .

En utilisant des arguments tirés du texte, montrer que c'est l'acide gras et non l'éther de pétrole qui forme une pellicule très fine et permanente à la surface de l'eau. Quelle est la proportion en volume, notée p , d'acide gras dans la solution A ?

Choisir parmi les grandeurs suivantes, celle qu'il faut aussi mesurer afin de pouvoir calculer l'épaisseur de la pellicule:

le volume d'une goutte d'acide gras

le volume d'une goutte d'éther de pétrole

le volume d'une goutte de solution A.

le volume d'acide gras dans une goutte de solution A ;

le volume d'éther de pétrole dans une goutte de solution A.

5. Pour déterminer la grandeur choisie on utilise la liquipipette qui a servi à déposer une goutte : proposer un protocole.

6. Exprimer le volume de la couche d'acide gras déposée sur l'eau en fonction de p et de la grandeur choisie à la question 4.

7. Exprimer l'épaisseur e de la pellicule en fonction de la proportion en volume p , du diamètre d du disque et du volume V_A d'une goutte de solution A.

8. Déterminer alors l'ordre de grandeur d'une molécule d'acide gras. Comparer à la valeur donnée au début du document.

- TP2

LA GOUTTE D'HUILE

but : mesurer la taille d'une molécule... avec un double-décimètre !

I. Les constatations de Franklin (1706-1790)

Franklin a écrit dans une lettre en 1773 :

« Alors que j'étais à Clapham (note : au sud de Londres), où il y a dans la commune une grande mare que j'observais un jour très agitée par le vent, j'apportai un petit flacon d'huile et en versai un petit peu sur l'eau. je la vis s'étendre avec une surprenante rapidité sur la surface. [...] Je suis ensuite allé sur le côté au vent, là où [les vagues] commencent à se former et l'huile, quoique je n'en aie pas mis plus d'une cuillère à thé, produisit un calme dans l'espace de plusieurs yards carrés qui s'étendit étonnamment et graduellement jusqu'au côté sous le vent, rendant tout le quart de la mare, sûrement la moitié d'un acre, aussi lisse qu'un miroir »

Franklin tente ensuite de donner une explication : « C'est comme si une répulsion mutuelle entre ses (note : celles de l'huile) particules avait lieu dès qu'elle touche l'eau »

Refaire l'expérience de Franklin : saupoudrer de talc un cristalliseur rempli d'eau jusqu'à moitié environ. Faire tomber une goutte d'huile. Noter les observations et les comparer à celles de Franklin.

1) En connaissant le volume d'huile versé, que faudrait-il mesurer pour calculer l'épaisseur du film d'huile ? Faire un schéma.

II. L'expérience de Rayleigh (1842-1919)

Rayleigh suppose la couche d'huile qui s'étale sur l'eau comme monomoléculaire, ce qui le conduit à déterminer la taille d'une molécule d'huile en déterminant l'épaisseur du film d'huile :

« L'appareil utilisé dans l'expérience comprenait une bassine de toilette de 84 cm de diamètre, acquise chez un forgeron local. Après avoir rempli la bassine avec de l'eau, on déposa une succession de gouttelettes d'huile sur la surface, dans le but de déterminer le volume d'huile suffisant pour couvrir la surface d'eau »

Il trouve 1,6 nm.

2) Si la couche est monomoléculaire, à quoi correspond l'épaisseur du film d'huile ?

3) Exprimer alors la longueur de la molécule l en fonction du volume d'huile versé V et de la surface de la tâche (mesurée par Rayleigh) S . Quel volume d'huile Rayleigh a-t-il dû verser ?

4) Quelle précaution faut-il prendre pour que l'expérience de Rayleigh soit exploitable ? Peut-on alors utiliser l'expérience réalisée précédemment au paragraphe I ?

III. L'idée de Pockels (1862-1935)

Elle (car c'est une femme, ce qui est rare car elles n'étaient pas admises dans les universités) améliore l'expérience de Rayleigh en diluant l'huile dans un solvant : si on choisit bien le solvant, celui-ci s'évapore dès le contact avec l'eau et ne change donc rien à la formation du film d'huile.

5) Quel est l'intérêt de la dilution ?

EXPERIENCE :

prélever 1mL du mélange huile+hexane à l'aide d'une pipette

vider goutte à goutte cette pipette en comptant le nombre de gouttes et en récupérant le mélange dans un bêcher propre, il sera réutilisé pour d'autres classes.

remplir un cristalliseur d'eau tiède jusqu'à mi-hauteur et placer dessous une feuille petits carreaux ou de papier millimétré.

saupoudrer d'une très fine couche de poudre de lycopode
 près de la surface de l'eau et au centre du cristalliseur, faire tomber une goutte du
 mélange huile+hexane
 mesurer rapidement le diamètre d de la tache formée. Si la tache présente une forme
 d'étoile, l'expérience doit être refaite.

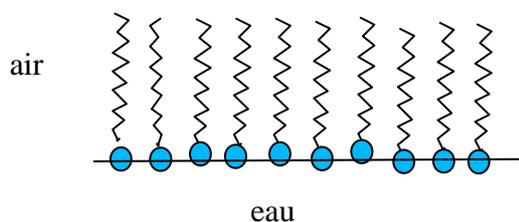
6) Donner le nombre de gouttes trouvé dans 1mL de mélange. Quel est le volume V
 d'une goutte ?

7) Calculer la taille de la molécule d'huile en faisant apparaître les calculs.

IV. L'explication de Langmuir (1881-1957)

Ce prix Nobel de chimie (1932) découvre que certaines molécules (comme les huiles, les
 savons,...) ont une partie hydrophile (« qui aime l'eau ») et une partie hydrophobe (« qui
 n'aime pas l'eau »). On explique ainsi le fait de l'étalement de l'huile en une couche
 monomoléculaire.

8) Sur le schéma, porter les indications : tête hydrophile, chaîne hydrophobe, longueur
 de la molécule d'huile.



bilan :

La taille d'une molécule d'huile (grosse molécule) est de l'ordre du

Il a fallu un long cheminement scientifique pour mettre au point une méthode fiable pour
 mesurer la taille de ces molécules.

Peut-on évaluer la taille de toutes les molécules grâce à cette méthode ?

Utilise-t-on encore ce type de méthode de nos jours ?

- TP3

Mesure d'une petite longueur: l'expérience dite « de Franklin »

But : Mesurer l'épaisseur d'une fine couche d'huile déposée sur l'eau avec, pour simple
 instrument de mesure, un double décimètre.

I - Étude préliminaire : les expériences de Benjamin FRANKLIN (1706 - 1790)

En 1777, Benjamin FRANKLIN¹ expose dans une lettre à son ami médecin William
 BROWNRIGG ses idées, ses expériences et les résultats de ses recherches relatives au
 comportement de l'huile et de l'eau lorsqu'elles sont mises en présence.

« ... Dans ma jeunesse, j'avais lu avec amusement les comptes-rendus de Pline² sur une
 pratique des marins de son temps, qui consistait à calmer les vagues dans une tempête en
 versant de l'huile dans la mer ; ... »

La première expérience de FRANKLIN est réalisée sur une grande mare à Clapham (sud de
 Londres). Un jour où la mare est très agitée par le vent, il verse un peu d'huile sur la surface.
 L'huile s'étend rapidement mais les vagues ne se calment pas. Pour obtenir le calme, il doit
 refaire l'expérience en plaçant une cuillère à thé d'huile là où les vagues commencent à se
 former. Il observe que l'huile s'étale en produisant un calme sur environ la moitié d'un acre

¹ Benjamin Franklin : philosophe, physicien et homme d'état américain.

² Pline l'Ancien 23-79.

(1 acre = 40,5 ares soit 4 050 m²). Il répète cette expérience chaque fois qu'il le peut et la réussit constamment.

« C'est comme si une répulsion mutuelle entre ses particules [celles de l'huile] avait lieu dès qu'elle touche l'eau. L'intensité de la force et la distance à laquelle elle agit, je ne les ai pas encore établies ; mais je pense que c'est une recherche curieuse et je désire comprendre d'où cela vient ».

Questions

Indiquer l'ordre de grandeur de la surface de la tache d'huile.

Franklin aurait-il pu déterminer l'épaisseur de la couche d'huile à partir de ses expériences ?

En plus de la surface de la tache d'huile, quelle grandeur devait-il connaître ?

A l'aide d'un schéma, explicitez votre démarche. Indiquez la relation à utiliser pour calculer l'épaisseur de la tache.

II - Les expériences de REYNOLDS et de RAYLEIGH

L'ingénieur anglais REYNOLDS (1842-1912) parvient à expliquer le phénomène observé par Franklin en 1880 à partir des phénomènes de tension superficielle.

Le physicien anglais Lord RAYLEIGH. (1842-1919) poursuit les recherches sur la tension superficielle et il mesure l'épaisseur du film d'huile qu'il suppose monomoléculaire.

L'appareil utilisé dans l'expérience comprenait une bassine de toilette de 84 cm de diamètre, acquise chez un forgeron local. Après avoir rempli la bassine avec de l'eau, on déposa une succession de gouttelettes d'huile sur la surface, dans le but de déterminer le volume d'huile suffisant pour couvrir la surface de l'eau.

RAYLEIGH, en 1890, détermine le diamètre moléculaire : 1,6 nm.

Questions

Quelle précaution est prise quant à la quantité d'huile versée ? Pour quelle raison ?

Quelle hypothèse a fait RAYLEIGH afin de déterminer le diamètre moléculaire à partir de ses mesures ?

III - Expérience : mesure d'une fine couche d'huile

Questions

Comment réaliser l'expérience au laboratoire avec le matériel proposé sachant qu'une goutte d'huile, s'étalerait sur une surface supérieure à celle du cristalliseur ?

Comment déterminer le volume d'une goutte ?

Préparation du montage.

Placer une feuille quadrillée sous le cristalliseur.

Introduire de l'eau tiède dans la cuve environ à mi-hauteur et attendre que la surface de l'eau soit au repos.

À l'aide d'un tamis déposer une très fine couche de talc à la surface de l'eau.

Détermination du volume V d'une goutte

Placer quelques millilitres de solution d'huile d'olive dans la burette.

Ouvrir le robinet de sorte que les gouttes tombent suffisamment lentement pour pouvoir les compter.

Compter le nombre de gouttes correspondant à l'écoulement de 1 mL de solution.

En déduire la valeur du volume V d'une goutte.

Détermination du volume V₁ d'huile contenu dans une goutte de solution.

La solution a été préparée en mélangeant 0,1 mL d'huile d'olive à 30 mL d'hexane.

À partir des proportions indiquées ci-dessus, calculer V₁.

Détermination du diamètre D₁ de la tache.

Très près de l'eau et au centre du cristalliseur, déposer avec la burette une goutte de la solution contenant le mélange d'huile d'olive et d'hexane.

Mesurer rapidement le diamètre D_1 de la tache circulaire qui se forme. Noter cette mesure.
Si la tache présente une forme en étoile, la manipulation doit être recommencée après nettoyage du cristalliseur avec du détergent et rinçage.

Détermination de l'épaisseur de la tache.

Calculer la surface S de la tache circulaire en m^2 .

Indiquer la valeur du volume V_1 en m^3 .

Donner l'expression de l'épaisseur e .

Calculer e en m , puis le convertir en nm . (garder un nombre de chiffres significatifs en adéquation avec la précision des mesures)

Comparer l'épaisseur que vous avez calculée avec le résultat des mesures de RAYLEIGH.

Avons-nous la certitude dans le cas de l'expérience de RAYLEIGH et dans le cas de notre expérience d'avoir déposé une couche d'huile monomoléculaire ?

IV - Les travaux d' Agnès POCKELS et d' Irving LANGMUIR

Une jeune femme allemande : Agnès POCKELS (1862 - 1935), réalise des mesures en diluant l'huile dans un solvant organique. Ce solvant s'évapore rapidement dès que les gouttes sont déposées, elle mesure avec précision l'épaisseur de la couche supposée monomoléculaire. Non admise à l'université car elle est une femme, c'est grâce à RAYLEIGH que ses travaux peuvent être publiés.

Irving LANGMUIR (1881 - 1957), ingénieur de recherche américain, prix Nobel de chimie en 1932, découvre que les molécules dans une monocouche ont une orientation commune, avec la distinction entre extrémités hydrophile et hydrophobe.

Questions

Que signifient les qualificatifs « hydrophile » et « hydrophobe » ?

Représentez quelques molécules d'huile disposées à la surface de l'eau.

Combien de couche(s) de molécules se trouve(nt) à la surface de l'eau ?

Évaluation 1 :

FICHE D'ÉVALUATION du T.P. « Mesure d'une petite longueur »

Prendre le TP N°4 de physique et remplir le tableau ci-dessous :

Nom du savant	Date ou période de l'expérimentation	Nature de la recherche, de la découverte ou des travaux effectués
PLINE		
FRANKLIN		
REYNOLDS		
RAYLEIGH		
POCKELS		
LANGMUIR		

Combien d'années (environ) se sont écoulées entre le moment où le comportement de l'huile en présence d'eau a intéressé FRANKLIN et la date à laquelle la mesure du diamètre moléculaire a été effectuée ?

L'expérience que vous avez réalisée est généralement appelée « L'expérience historique de Benjamin Franklin » (Voir livre des Editions Belin page 214 par exemple). Le nom généralement donné à cette expérience vous semble-t-il justifié ? Pourquoi ?

Évaluation 2 :

EXERCICE

« Le physicien anglais Lord RAYLEIGH. (1842-1919) poursuit les recherches sur la tension superficielle et il mesure l'épaisseur du film d'huile qu'il suppose monomoléculaire.

L'appareil utilisé dans l'expérience comprenait une bassine de toilette de 84 cm de diamètre, acquise chez un forgeron local. Après avoir rempli la bassine avec de l'eau, on déposa une succession de gouttelettes d'huile sur la surface, dans le but de déterminer le volume d'huile suffisant pour couvrir la surface de l'eau.

RAYLEIGH en 1890, détermine le diamètre moléculaire : 1,6 nm. »

Le texte ci-dessus est extrait de la fiche d'un précédent T.P. Les calculs demandés seront effectués en tenant compte des données de ce texte.

Indiquer l'épaisseur du film d'huile (en mètre)

Calculer la surface du film (en m²)

En déduire le volume d'huile versé

Sachant que 50 gouttes correspondent à un volume de 1 cm³, calculer le volume d'une goutte.

En déduire le nombre de gouttes versées. Peut-on verser moins d'une goutte d'huile ? Que penser vous des indications du texte ?

Chimie en seconde

IV.6. Une progression en chimie en classe de seconde

IV.6.1. Grille de la séquence une progression en chimie

1. Thème historique mobilisé	Une progression incluant des éléments d'histoire de la chimie qui ont conduit à la définition de la mole
2. Niveau	Seconde
3. Types d'activités	TP, cours, exercices, travaux à la maison.
4. Objectifs spécifiques des moments d'HS (cf. répertoire des objectifs possibles proposé en début de recherche)	Montrer l'évolution des idées au cours des siècles avec les hésitations, les erreurs, les controverses, les hypothèses pas toujours acceptées mais qui se sont vérifiées.(objectif 3) Montrer qu'une unité utilisée par tous les chimistes résulte du travail de nombreux savants au fil des siècles.(objectif 5) Culture scientifique : découvrir quelques grands noms de savants et leur contribution à l'évolution de la chimie. (objectif 2)
Objectifs des séquences	Classification périodique des éléments, la mole.
5. Connaissances et compétences pré-requises	
6. Situation dans la progression	- La classification périodique des éléments - La mole.
7. Types de supports utilisés pour l'introduction de l'HS	Documents élaborés à partir de littérature « secondaire » (voir bibliographie)
8. Descriptif	- Etude du document : « A propos des poids atomiques ». (A propos des poids atomiques....). - TP sur la classification périodique avec les cartes : Cartes - Introduction relative à la mole : TP sur la mole - Exercices : Exercices sur la Mole
9. Evaluation	Voir les éléments d'évaluation dans le document de présentation (section IV.6.2. Présentation)
10. Éléments bibliographiques	[Bensaude-Vincent 1994] ; [Buès 2000] ; [Perrin 1991]

IV.6.2. Présentation de la séquence une progression en chimie en classe de seconde

Chaque année, en respectant la progression du programme de seconde, le professeur ressentait une insatisfaction lors de la présentation du chapitre sur la mole. Les élèves demandaient par exemple pourquoi avoir choisi $6,02 \cdot 10^{23}$ et pas un autre nombre. Afin de mieux cerner les difficultés quant à l'introduction de la mole, un questionnaire a été élaboré (voir en annexe section AII.4., *Chimie*).

L'attitude des élèves en cours ainsi que leurs réponses au questionnaire ont confortée le professeur dans le fait que l'histoire des sciences a sa place dans le chapitre sur la mole. Présenter la mole comme une unité commode qui permet de travailler à l'échelle macroscopique afin de simplifier les calculs amène des interrogations chez les élèves. Historiquement, le poids atomique et la molécule-gramme ont été définis avant que les savants ne soient sûrs de l'existence des atomes. Une progression qui ne complique pas le cours mais qui rende les apprentissages plus cohérents pour les élèves a alors été envisagée. Il était aussi souhaitable que les élèves connaissent succinctement ce que les savants appelaient les poids atomiques avant de réaliser un TP sur la classification de Mendeleïev.

La progression choisie est la suivante (elle respecte la chronologie des découvertes).

- Traiter la partie du programme de physique « l'air qui nous entoure » avant « l'univers en mouvement ». Cette partie est ainsi traitée avant la mole et les élèves savent alors que, pour un gaz, les grandeurs température, volume et pression sont liées. Évidemment, à ce stade, il faut se contenter d'indiquer aux élèves : pour une quantité donnée de gaz parfait : $P.V / T$ est constant. L'équation d'état des gaz parfaits ne sera donnée qu'à la fin du chapitre sur la mole après la définition du volume molaire.
- Etudier le document : voir section IV.6.3., [A propos des poids atomiques.....](#)
- Réaliser le TP sur la classification périodique avec les cartes (voir section AII.4., [Cartes](#)).
- Au début du chapitre sur la mole, indiquer par quelques phrases comment on est passé du poids atomique à la molécule-gramme et à la mole. Terminer ce chapitre par l'équation des gaz parfaits.
- Proposer quelques exercices en rapport avec l'histoire de la chimie. (voir section IV.6.3., [Exercices sur la Mole](#))

Ceci dans le but de donner aux élèves un aperçu du cheminement qui a abouti à l'adoption de l'unité 'mole' et rendre ainsi la présentation de cette unité moins abstraite.

Document « A propos des poids atomiques »

(voir section IV.6.3., [A propos des poids atomiques....](#)et, en annexe section AII.4. [Poids atomiques- réponses](#)).

Le document a été conçu pour être relativement court sans déformer la réalité historique. Il est étudié à la maison et corrigé en cours. Il a pour objectif d'expliquer de façon accessible comment les savants ont été amenés à définir le poids atomique au XIX^{ème} siècle et ce qu'il représente.

Malgré un texte jugé difficile par un certain nombre d'élèves, la plupart d'entre eux comprennent que dans 22 L de gaz contenant l'élément oxygène on trouve toujours une masse d'oxygène de 16 g ou un multiple de 16 g. Les chimistes ont appelé la valeur numérique de cette masse, poids atomique. Les élèves peuvent ainsi comprendre la grandeur poids atomique qui figure sur les cartes qui seront utilisées dans le TP sur la classification périodique. Il est important de préciser aux élèves que le terme poids au XIX^{ème} n'a pas la même signification que maintenant. Le plus

souvent l'un d'entre eux commente la remarque en indiquant la confusion entre poids et masse qui reste fréquente actuellement.

TP sur la classification périodique

(voir section en annexe AII.4 : [Cartes](#)).

Ce T.P. s'inspire d'un article du *BUP* n° 766 de juillet, août, sept 94 : « Construire le tableau périodique des éléments » de Bernadette Bensaude-Vincent. Il est demandé aux élèves, à partir des informations dont disposait Mendeleïev pour 19 éléments, de refaire une classification des éléments. Les élèves sont invités à faire un cheminement proche de celui du savant en faisant preuve de perspicacité. Puis ils sont amenés à prendre conscience que la classification actuelle, élaborée à partir de la structure électronique des atomes, est très proche de celle de Mendeleïev.

Le travail comporte deux parties :

1. Construction d'une classification à partir des connaissances de Mendeleïev.

Il est nécessaire de situer brièvement le contexte de l'époque et de donner oralement aux élèves quelques informations sur la chimie au XIX^{ème} siècle.

Les chimistes ont isolé une soixantaine d'éléments. Ces éléments sont bien identifiés grâce à leur poids atomique, plusieurs de leurs propriétés physiques et chimiques sont connues des savants.

Mendeleïev (1834-1907), chimiste et professeur de chimie à l'université de Saint Petersburg, tente, comme un certain nombre d'autres chimistes, de classer les éléments.

Les élèves sont alors invités à chercher, à faire preuve d'imagination afin de construire le tableau périodique pour 19 éléments sur la soixantaine que connaissait Mendeleïev.

Les élèves reçoivent 19 cartes qui correspondent aux 19 éléments (en annexe AII.4. : [Cartes](#)).

Il leur est demandé de classer ces 19 éléments. Toutes les réponses sont notées au tableau et on discute de la pertinence de chaque proposition.

Une première série de réponses apparaît, elles sont discutées:

- Ordre alphabétique par rapport au nom ou par rapport au symbole
- Poids atomique croissant
- Températures d'ébullition ou de fusion ou positive ou autre qualificatif.

La proposition utilisant les poids atomiques croissants est retenue et le choix est justifié.

Selon les groupes, il faut ou non aiguiller les élèves pour qu'ils ne restent pas au stade d'une liste mais envisagent des regroupements. D'autres propositions apparaissent :

- Classement en solide, liquide et gaz
- Classement par abondance
- Point commun au niveau des propriétés chimiques, par rapport aux formules proposées.

Ce TP ayant été proposé plusieurs années consécutives, les suggestions relatives aux propriétés chimiques voisines viennent plus rapidement quand le TP sur les halogènes précède immédiatement celui-ci. Les savants du XIX^e siècle connaissaient un certain nombre de propriétés chimiques des halogènes et avaient constaté les analogies.

Les élèves classent alors les éléments par poids atomique croissant et mettent les éléments ayant des propriétés chimiques voisines dans une même colonne (c'est assez rapide).

Le tableau est recopié en laissant une ligne en dessous de chaque élément et en plaçant une huitième colonne.

Il est expliqué aux élèves que Mendeleïev a, dans sa première classification, placé dans une ligne ce que nous plaçons dans une colonne. Ce qui ne dérange pas les élèves : ils connaissent les tableaux à double entrée. Une reproduction de la première classification de Mendeleïev est présentée.

La première année que le TP a été proposé, les cartes (voir annexe AII.4. : [Cartes](#)) étaient identiques à celles du BUP. Ensuite elles ont été un peu simplifiées en retirant des propriétés qui n'aidaient en rien les élèves dans leur classement. De plus, sur les cartes proposées dans le BUP, c'est la masse atomique molaire qui était indiquée. Le travail sur les poids atomiques (*voir section IV.6.3., (A propos des poids atomiques....)*) permet d'indiquer poids atomique sur les cartes et non masse atomique molaire.

2. La classification à partir des connaissances actuelles.

Le numéro atomique des 19 éléments est donné aux élèves qui écrivent, en utilisant une autre couleur, la structure électronique dans le tableau du paragraphe précédent. Dans la colonne vide à droite, on place les gaz nobles qui n'étaient pas connus de Mendeleïev.

Les élèves disposent ainsi d'une classification réduite avec les symboles des éléments classés par Mendeleïev et les structures électroniques correspondant aux connaissances actuelles, l'ensemble est présenté avec 2 couleurs différentes.

La classification de Mendeleïev repose sur des données macroscopiques physiques et chimiques alors que la classification actuelle repose sur une représentation de la structure microscopique de l'atome. Malgré des critères différents, la démarche inventive de Mendeleïev permet d'obtenir une classification proche de celle que nous utilisons.

Le plus souvent, l'occasion se présente au cours du TP de dire aux élèves que Mendeleïev avait laissé des trous dans sa classification : il avait prévu l'existence et une partie des propriétés de corps pas encore découverts.

On peut conclure :

Mendeleïev a réalisé une classification en classant les éléments par poids atomique croissant et en plaçant dans une même colonne les éléments dont les composés ont des propriétés chimiques voisines. Dans la classification actuelle, les éléments sont classés par numéro atomique croissant et on place dans une même colonne les éléments ayant le même nombre d'électrons sur leur couche externe. Ces 2 classifications sont pratiquement identiques car il y a une correspondance entre la structure électronique des atomes et les propriétés chimiques des corps simples qui leur correspondent.

La participation est bonne. Il n'y a pas eu de difficulté pour mener ce TP. Les élèves sont motivés par la perspective de tenter d'être aussi ingénieux que Mendeleïev.

Cours sur la mole :

Le document [TP sur la mole](#)

Suivent alors :

- Les définitions des masses molaires.
- Un TP classique : détermination de la quantité de matière contenue dans un échantillon, préparation d'un échantillon.

- Cas des gaz : loi d'Avogadro-Ampère, rappel du volume molaire, équation des gaz parfaits.

Exercices sur la mole :

Voir section IV.6.3. ([Exercices sur la Mole](#))

Le premier exercice a pour but de montrer qu'un savant (Loschmidt) a déterminé le nombre de molécules dans un volume autre que celui qui est appelé volume molaire.

Le second exercice montre la divergence entre les chimistes et les physiciens sur l'élément à choisir comme référence pour définir le poids atomique.

Cette progression apparaît cohérente. Les élèves suivent le cheminement proposé. Il n'est pas nécessaire qu'ils le mémorisent. Les connaissances en histoire des sciences n'ont pas à faire l'objet d'une évaluation notée. La participation et les remarques des élèves montrent leur intérêt pour le travail proposé. Cette approche ne gêne pas l'acquisition des notions du programme.

La question suivante a été posée aux élèves : « En faisant référence à vos connaissances en histoire des sciences, expliquer comment les chimistes ont été amenés à définir la mole ».

Deux réponses parmi d'autres :

- *Un homme les a classés puis un autre a pris 22L de H₂O et il a trouvé 16 g d'oxygène et il a trouvé 2 g d'hydrogène donc il s'est dit qu'il allait écrire ça dans un livre et depuis on prend cela comme référence.*
- *Les chimistes ont été amenés à découvrir la mole suite à la découverte sur les poids atomiques et la classification de Mendeleïev.*

Ces deux réponses, malgré la maladresse des propos, reflètent assez bien le contenu des réponses des élèves : ils se souviennent du nom de quelques savants (pas uniquement de Mendeleïev) et ont compris le lien entre un volume de gaz de l'ordre de 22 L et ce que nous appelons maintenant les masses molaires. Ils ont aussi pris conscience de l'évolution, parfois laborieuse, des connaissances.

Cette progression peut être contestée, en effet elle ne respecte pas les textes officiels. Cependant, la démarche ne gêne en rien les acquisitions exigées par les programmes. De plus elle a évité de répondre de façon insatisfaisante aux questions d'élèves mentionnées dans le questionnaire cité plus haut. Elle montre aussi que la physique et la chimie ne sont pas deux matières séparées mais que les avancées dans un domaine peuvent entraîner des avancées dans d'autres domaines : les évolutions étudiées en chimie dans le cadre de cette progression sont liées aux travaux sur les gaz.

On peut lui reprocher un manque de rigueur du point de vue historique. Il est dû en partie à la nécessité de rendre accessible une évolution très complexe.

Il est souhaitable de développer les situations où l'élève est mis en situation créative et de concevoir des progressions qui n'occulent pas totalement le cheminement qui a conduit aux connaissances actuelles.

IV.6.3. Supports de la séquence une progression en chimie en classe de seconde

A propos des poids atomiques....

I – Texte : * Les phrases entre guillemets sont extraites du livre de Jean Perrin³ publié en 1913 et réédité aux éditions Flammarion en 1991, dans lequel le savant relate la naissance et le triomphe de l'hypothèse atomique.

1) Au début du 19^e siècle, Proust⁴ et Dalton⁵ énoncent des lois qu'ils déduisent de différentes expériences. Ces lois sont relatives aux proportions dans lesquelles les corps se combinent lors des réactions chimiques.

« Dalton suppose que chacune des *substances élémentaires* dont se composent les différents corps est formée par une *sorte déterminée* de particules toutes rigoureusement identiques, particules qui traversent, sans se laisser jamais subdiviser, les diverses transformations chimiques ou physiques que nous savons provoquer, et qui, *insécables* par ces moyens d'actions, peuvent donc être appelés *atomes*, dans le sens étymologique.

Une molécule quelconque renferme nécessairement, pour chaque substance élémentaire présente, un nombre entier d'atomes. Sa composition ne peut donc varier de façon continue (c'est la loi de Proust), mais seulement par bonds discontinus correspondant à l'entrée ou à la sortie d'au moins un atome (et ceci entraîne la loi des proportions multiples de Dalton) »

« Bref, tout l'univers matériel, en sa prodigieuse richesse, serait obtenu par l'assemblage d'éléments de construction, les éléments d'un même type étant rigoureusement identiques. Cela fait comprendre combien l'hypothèse atomique pourra simplifier l'étude de la matière si, cette hypothèse est justifiée.»

2) Avogadro⁶, en 1811, admet que « *des volumes égaux de gaz différents, dans les mêmes conditions de température et de pression, contiennent des nombres égaux de molécules. ... Cette proposition, bientôt défendue par Ampère⁷, donne bien, si elle est vraie, et comme l'annonçait Avogadro, une manière de déterminer les masses relatives des atomes et les proportions suivant lesquelles ils entrent dans les combinaisons* »

Cette hypothèse est, selon les savants qui l'ont émise, la seule qui peut rendre compte du fait que tous les gaz se dilatent ou se compriment à peu près de la même façon, lorsque la température ou la pression varient.

Sans fondement expérimental suffisant, l'hypothèse d'Avogadro fut accueillie avec beaucoup de réserve par les chimistes, mais elle permet de donner les rapports des poids atomiques.

Plus tard pourtant, l'analyse chimique, ainsi que les mesures de densité dans l'état gazeux pour des milliers de corps, ont permis de vérifier les conséquences de l'hypothèse d'Avogadro.

« La pression et la température une fois choisies, il y a un volume V (environ 22 L dans les conditions normales) pour lequel ceux de nos récipients qui contiennent de l'hydrogène en contiennent exactement » 1 g (acide chlorhydrique..) ou bien 2 g (eau,...., hydrogène) ou bien 3 g (gaz ammoniac) ou bien 4 g (méthane...)... mais ne contiennent jamais de masses intermédiaires. »

Pour ce même volume, les différents récipients contiennent, si le corps simple oxygène entre dans le composé, 16g (eau), 2 fois 16g (oxygène), 3 fois 16g (ozone) mais jamais des poids intermédiaires. (A cette époque, la distinction entre poids et masse n'était pas faite).

³ : Jean Perrin (1870-1942) – Physicien français – Prix Nobel de physique en 1926 – Créateur du palais de la découverte.

⁴ : Joseph Louis Proust (1754 -1826) – Chimiste français.

⁵ : John Dalton (1766-1844) – physicien et chimiste anglais.

⁶ : Amadéo Avogadro (1776-1856) – Chimiste et physicien italien.

⁷ : André Marie Ampère(1775-1836) – Physicien et chimiste français.

« De proche en proche, on a ainsi pu obtenir expérimentalement, à partir des densités des gaz, une liste de nombres proportionnels remarquables :

$$H = 1, O = 16, Cl = 35,5\dots$$

qui sont dans les mêmes rapports que les poids des atomes si l'hypothèse d'Avogadro est exacte.»

« Pour abrégé, on a pris l'habitude d'appeler ces nombres *poids atomiques* »

II – Questions :

1) Au début du 19^{ème} siècle, les scientifiques sont-ils certains de l'existence des atomes ? Justifier en relevant quelques termes du texte.

2) a) En vous aidant du texte, remplir la première colonne du tableau. Utiliser vos connaissances pour remplir les 2 dernières colonnes.

Nom du corps	Masse d'hydrogène pour 22L	Formule brute	Nombre d'atome d'hydrogène dans la molécule
Chlorure d'hydrogène ⁽¹⁾			
Eau			
Dihydrogène ⁽²⁾			
Ammoniac			
Méthane			

(1) : L'acide chlorhydrique est formé à partir de chlorure d'hydrogène dissout dans l'eau

(2) : Le dihydrogène est le nom utilisé de nos jours, on l'appelait hydrogène au 19^{ème} siècle

Que constatez-vous en comparant le nombre d'atomes d'hydrogène et la masse pour 22L ?

b) Remplir le tableau ci-dessous :

Nom du corps	Masse d'oxygène pour 22L	Formule brute	Nombre d'atome d'oxygène dans la molécule
Eau			
Dioxygène ⁽³⁾			
Ozone ⁽⁴⁾			

(3) : Le dioxygène est le nom utilisé de nos jours, on l'appelait oxygène au 19^{ème} siècle

(4) : L'ozone est formé de 3 atomes d'oxygène.

Que constatez-vous en comparant le nombre d'atomes d'oxygène et la masse pour 22L ?

c) En vous aidant des réponse du a) et b) et du texte, indiquer ce que les savants du 19^{ème} siècle appellent poids atomique. Donner la valeur du poids atomique de l'oxygène au 19^{ème} siècle

TP sur la mole

La mole : unité de quantité de matière

D'après l'hypothèse d'Avogadro (1811) défendue par Ampère, *des volumes égaux de gaz différents contiennent, lorsqu'ils sont à la même température et à la même pression, un même nombre de molécules.*

Il faut utiliser un volume d'environ 22 L, à pression et température normale, pour que dans le cas d'un gaz dont la molécule contient l'élément hydrogène, on trouve toujours une masse d'hydrogène égale à ou à un multiple de . Le gaz contient un nombre N de molécules.

Il faut utiliser un volume d'environ 22 L pour que dans le cas d'un gaz dont la molécule contient l'élément oxygène, on trouve toujours une masse d'oxygène égale à ou à un multiple de . Le gaz contient un nombre N de molécules.

Au 19^{ème} siècle, on a pris l'habitude d'appeler ces masses *poids atomiques* puis *coefficients atomiques* puisque ce sont des nombres et non des poids ou des masses, puis *molécules-grammes* (et maintenant *masses molaires*).

Dans l'hypothèse d'AVOGADRO, toutes les molécules-grammes doivent être formées par le même nombre de molécules. Ce nombre N est ce que l'on appelle la *Constante d'Avogadro*, ou le *Nombre d'Avogadro*, en mémoire du savant qui a fortement contribué à poser les bases de la théorie moderne des atomes et des molécules. Avogadro n'a jamais défini ce nombre. Trouver le nombre d'Avogadro serait trouver toutes les masses de molécules et d'atomes. Par exemple, la masse de l'atome d'oxygène est 16/N.

En 1912, la constante d'Avogadro est déterminée de manière approchée par 13 manières différentes qui donnent des valeurs comprises entre 6,0 à $7,5 \cdot 10^{23}$. La valeur actuellement adoptée est : $6,0221353 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

La commission des poids atomiques créée en 1921 adopte le poids atomique de l'oxygène comme référence. Mais la découverte des isotopes de l'oxygène suscite un clivage entre les chimistes (dont l'échelle est fondée sur le poids atomique de l'oxygène naturel) et les physiciens (qui utilisent l'isotope 16 de l'oxygène).

En 1960, c'est l'isotope 12 du carbone qui est choisi comme référence.

En 1969, une septième unité de base est ajoutée au système international d'unités de mesure (S.I.) : la mole est l'unité de quantité de matière.

(Noté par les élèves après questions, discussions sur le texte ci-dessus)

- Une mole d'atomes de carbone a une masse de 12 g
- Dans 12 g de carbone $^{12}_6\text{C}$, il y a environ $N = 6,02 \cdot 10^{23}$ atomes avec N : constante d'Avogadro.
- Une mole d'atomes, de molécules ou d'ions est la quantité de matière d'un système contenant $6,02 \cdot 10^{23}$ atomes, molécules, ions.
- La masse molaire est la masse d'une mole.
- Le volume molaire d'un gaz est le volume occupé par une mole de gaz (22,4 L à 0° C et à la pression de 1013 hPa).
- La mole est l'unité de quantité de matière.

Exercice :

Compléter :

- Une mole d'atome d'hydrogène a une masse de ... g et contient atomes d'hydrogène.
- $6,02 \cdot 10^{23}$ atomes d'oxygène ont une masse deg, ce qui correspond à une quantité de matière de mole.
- Une mole de molécules de dioxygène O_2 a une masse de ... g et occupe un volume d'environ.....L à une pression et à une température proches des conditions normales.

Exercices sur la Mole

- Exercice 1 :

En 1868, Joseph Loschmidt, physicien autrichien (1821 – 1895) détermine à partir de l'étude de l'évaporation de l'eau, le nombre de molécules contenues dans 1 cm^3 de vapeur d'eau. Ce nombre, noté L, est le nombre de Loschmidt. Il vaut $2,76 \cdot 10^{19}$ à 0°C et sous la pression atmosphérique.

Dans les conditions de l'étude de Loschmidt, le volume molaire d'un gaz est $22,4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$. Déduire une valeur de la constante d'Avogadro de la valeur du nombre de Loschmidt.

Donner le résultat avec un nombre de chiffres significatifs correspondant à la précision des valeurs numériques de l'énoncé. Comparer ce résultat avec la valeur actuelle du nombre d'Avogadro : $6,0221353 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

Abrégé de réponse :

$$N_A = 2,76 \cdot 10^{19} \cdot 22400 = 6,18 \cdot 10^{23}$$

Soit une valeur proche de la valeur actuelle.

- Exercice 2 :

La commission des poids atomiques crée en 1921 adopte le poids atomique de l'oxygène comme référence. La découverte des isotopes de l'oxygène suscite un clivage entre les chimistes (dont l'échelle est fondée sur le poids atomique de l'oxygène naturel) et les physiciens (qui utilisent l'isotope 16 de l'oxygène).

1) Rappeler la définition d'un isotope.

2) L'isotope 16 de l'oxygène ne contient que de l'oxygène $^{16}_8\text{O}$

Calculer la masse d'un atome de cet isotope de l'oxygène et la masse de $6,022 \cdot 10^{23}$ atomes.

3) L'oxygène naturel contient 99,8 % d'oxygène $^{16}_8\text{O}$; 0,05 % d'oxygène $^{17}_8\text{O}$ et 0,15 % d'oxygène $^{18}_8\text{O}$. Indiquer le nombre de nucléons de chaque isotope. Expliquer la raison du désaccord entre les chimistes et les physiciens au début du XX^{ème} siècle.

Abrégé de réponse :

$$\text{Masse d'un atome: } 16 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} = 2,67 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

$$\text{Masse d'une mole d'atome : } 2,67 \cdot 10^{-26} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ kg} = 16 \text{ g}$$

La réponse à la question 3 peut être, par exemple : l'oxygène naturel contient des atomes de masse supérieure à celle de l'isotope 16 donc la masse d'une mole d'atome d'oxygène naturel est supérieure à celle d'une mole d'atome d'oxygène 16.

V. Diffusion et valorisation

Nous avons déjà mis en place plusieurs actions de diffusion et de valorisation de ces travaux.

- Dans des actions de formation initiale et continue :

- Participation de membres de l'équipe aux modules de formation initiale en PLC 2 physique-chimie : le module d'épistémologie et histoire des sciences existe dans le plan de formation des PLC2. Il dure 9 ou 12h selon les sites (Nancy et Metz).
- Participation à des actions de formation continue en direction des professeurs de physique et chimie des collèges et lycées. Ce stage, qui existe depuis plusieurs années a été conduit en 2005-2006 par deux membres de l'équipe, un « théoricien » et un « praticien ». Il a été proposé deux options : histoire de la chimie, histoire de l'optique sous le titre général : « Eléments d'histoire des sciences ». Il a permis cette année, pour une trentaine de stagiaires, une exploitation effective des travaux du groupe, donnant ainsi un ancrage pratique efficace.
- Participation à des actions de formation continue en premier degré, de façon plus ponctuelle : intervention dans un stage sur l'histoire des sciences au siècle des Lumières.

Toutes ces formations peuvent être reconduites et développées dans les années prochaines.

- Dans deux colloques :

- à Reims (20-21 octobre 2003), le colloque sur la recherche en IUFM dans le pôle nord-est des IUFM a été l'occasion de s'interroger sur les problèmes inhérents à la recherche en IUFM. Une partie des questions soulevées dans ce colloque ont été évoquées dans l'introduction ([I. Introduction](#)).
- A Montpellier (20-21 mai 2005), le colloque national portait sur la formation initiale et continue à l'histoire des sciences en IUFM. Notre recherche y a été présentée sous forme d'un poster.

VI. Conclusion

L'histoire des sciences est de plus en plus présente dans les programmes de collège et de lycée. Quelque soit la position du professeur sur l'introduction de l'histoire des sciences dans son enseignement, il se doit de respecter les nouvelles orientations.

Les difficultés sont cependant nombreuses : sa formation ne le prépare le plus souvent pas à cette forme d'enseignement, ses connaissances dans ce domaine sont limitées, il a le sentiment de perdre du temps voire de mal préparer les élèves au baccalauréat, il n'a pas toujours confiance dans la fiabilité des documents dont il dispose, il doit modifier sa pédagogie...

Le travail de recherche de plusieurs professeurs présenté dans ce document montre cependant que, malgré les difficultés, l'introduction de l'histoire des sciences se révèle positive. Les élèves sont intéressés par les activités proposées, intérêt qu'ils manifestent en particulier par leur attention et par leur participation. Au travers des séquences variées allant de la présentation de travaux de savants à des développements d'une durée plus importante (TP par exemple) en passant par des exercices, des études de textes..., les élèves prennent conscience du fait que les connaissances se sont élaborées progressivement, avec la contribution de nombreux savants qui ont commis des erreurs, et aussi des avancées spectaculaires. L'histoire des sciences permet de mieux comprendre le cheminement des savants, leurs difficultés mais aussi leur curiosité, leur faculté d'observation, leur imagination, leur rigueur.

Ce qui a été considéré comme vrai à une époque ne l'a souvent été que provisoirement, la démarche scientifique remettant fréquemment en cause les acquis. L'élève n'apprend plus uniquement les connaissances scientifiques de l'époque où il vit, souvent présentées comme étant une vérité absolue et intemporelle comme s'il s'agissait d'une science exacte. Comme pour toute science expérimentale, il découvre que c'est une évolution des recherches qui a permis d'aboutir à des connaissances qui pourront être remises en cause par de nouvelles études dans un avenir plus ou moins proche. De plus la démarche suivie dans le cheminement scientifique n'est pas étrangère au quotidien de l'élève qui se construit également à travers ses propres expériences.

Il a été constaté à plusieurs reprises que les élèves ayant les meilleurs résultats n'étaient pas toujours ceux qui se montraient les plus intéressés, qui participaient le mieux et donnaient les réponses les plus pertinentes. Un TP élaboré en lien avec l'histoire des sciences sollicite souvent d'autres aptitudes qu'un TP « classique » (cf. « la réfraction des rayons lumineux » ou « TP sur la classification périodique »). L'élève se sent davantage acteur, il est davantage sollicité, la nouveauté pour un élève peu motivé favorise son attention, son intérêt, l'acquisition des connaissances. Les aptitudes sollicitées peuvent être différentes de celles qui le sont habituellement en classe.

Aucune approche de l'histoire des sciences ne doit être rejetée et toutes ont leurs limites.

L'approche se doit d'être adaptée à l'âge et au niveau des élèves. C'est progressivement, avec des approches différentes, mobilisant un temps de travail plus ou moins important que l'élève acquière une démarche, des connaissances.

L'approche historique ne doit pas compliquer l'acquisition des connaissances. Il importe que le professeur indique clairement aux élèves ce qui est à retenir et qui fera l'objet d'une

évaluation tant au niveau des connaissances historiques que des autres connaissances, bien qu'il ait été remarqué que ce que retient d'abord l'élève c'est ce qui l'intéresse ou ce qui l'étonne.

Pour permettre une amélioration de l'enseignement des sciences physiques, il est cependant souhaitable que les spécialistes en histoire des sciences soient davantage sollicités dans l'élaboration des programmes, des documents d'accompagnement et des manuels, que les offres de formations se développent et que les inspecteurs pédagogiques favorisent et encouragent les initiatives et les formations. Introduire l'histoire des sciences dans son enseignement n'est pas une perte de temps mais un formidable moyen d'aborder autrement l'enseignement scientifique avec des conséquences positives tant sur la motivation des élèves que sur leur acquis.

VII. Bibliographie

Audigier, François et Fillon, Pierre (dir.)

1991 *Enseigner l'histoire des sciences et des techniques, une approche pluridisciplinaire*, Didactique des disciplines, INRP, Paris.

Bensaude-Vincent Bernadette

1994 « Construire le tableau périodique des éléments », *B.U.P.*, n°766, 1109-1121.

Boudenot, Jean-Claude

2000 *Histoire de la Physique et des Physiciens*, Ellipses.

Buès, C.

2000 « La mole : une étude historique vecteur d'une approche pédagogique ? », *B.U.P.*, n°825, 1099-1107.

Bolmont, Etienne

2001 « L'expérience de Franklin, encore... », *BUP*, n°833, 647-654.

Calmettes, Bernard

1997 « Histoire et enseignement de la réfraction : propositions », *BUP*, n°798, 1957-1966.

De Gennes, Pierre Gilles

,e, ee

1981 *La lumière*, Seuil.

Mariotte, Edme

1740 *Œuvre de M. Mariotte*

Documents d'accompagnements des nouveaux programmes de 3^{ème} de 2005
9 février 2005

Rashed, R. (dir.)
1997 *Histoire des sciences arabes* Seuil, Paris.

Sites internet

Sur Newton et les couleurs : Site :

<http://www.colorsystm.com/grundlagen/aaf.htm>

Sur la réfraction : site de Jean Ripert :

http://www.ac-toulouse.fr/sc_phy/ripert.htm

Sur Franklin : Lettre de Franklin à William Brownrigg :

http://www.bbc.co.uk/history/historic_figures/brownrigg_william.shtml

ANNEXES

AI. Contrat

P.A.R.I. 2001-2005

Programme Académique de Recherche et d'Innovation en éducation

Académie de Nancy-Metz - IUFM de Lorraine

Contrat de Recherche et d'Innovation

établi entre les différents partenaires :

les responsables de la recherche (binôme (ou trinôme) de formateurs-chercheurs, accompagnateurs,

l'(les) équipe(s) d'enseignant(s)-praticien(s) engagée(s) dans l'action,

le (les) chef(s) d'établissement(s) et/ou IEN(s)) de la(des) circonscription(s) où exercent l' (les) équipes

les responsables du programme -employeurs des contractants- représentés par son comité de pilotage

Le formateur-chercheur, responsable et accompagnateur de la recherche, s'engage à lire et faire lire le présent contrat, se charge de le renseigner et le faire renseigner, d'obtenir les signatures des contractants devant figurer dans les 3 premiers tableaux de signataires prévus en 4^{ème} page, avant de le retourner au Département Recherche de l'IUFM de Lorraine, 5 rue P. Richard, 54230 Maxéville.

Formateurs-Chercheurs, responsables et accompagnateurs de la recherche

NOM Prénom	Statut	Etablissement d'exercice	Adresse électronique	Téléphone
1- SOLER Iéna	Maître de conférences	IUFM de Lorraine Maxéville	l_soler@club-internet.fr	01 45 42 76 21
2- BOLMONT Etienne	Maître de conférences	IUFM de Lorraine Maxéville	etienne.bolmont@free.fr	03 83 43 27 45

Equipe(s) de praticiens

ECOLE / ETABLISSEMENT D'EXERCICE (Nom, adresse, mél, tél)	Membres de l'EQUIPE engagée NOMS Prénoms	Statut - discipline
Collège du Himmelsberg 13 r Abeilles 57215 Sarreguemines Cedex	Bauer Régis	Sciences physiques
Collège La Louvière 53 r Croix St Joseph 57155 MARLY	Breuzin Colin	Sciences physiques
	Barraut Bénédicte.	Sciences physiques
Collège J de la Fontaine 6 r Moselle 54521 LAXOU CEDEX	Butlingaire Nathalie	Sciences physiques
Collège Guynemer 21 bd Joffre 54000 Nancy	Domenjoud Valérie	Sciences physiques
Lycée Gustave Eiffel La Ponte 57525 TALANGE	Falgas Marie Jo	Sciences physiques
Collège Jean Burger 1 sq Soeur Marguerite Zimmer 57250 MOYEUVRE GRANDE	Fuffa Virginie	Sciences physiques
Lycée Majorelle, 16 rue de la Porte de Metz, 54200 TOUL	Girsch Alain	Sciences physiques

Collège Louis Armand 33 av Brabois 54052 Nancy Cedex	Holleville Fabien-Pierre	Sciences physiques
Collège Charles Peguy av Charlemagne 57640 VIGY	Legros Christine	SVT
	Claudet Catherine	Sciences physiques
Collège Jacques Gruber, 4 route de Moncel 54170 COLOMBEY LES BELLES	Marchand Claude	Sciences physiques
LPR Blaise Pascal r Paul Ney 57608 FORBACH CEDEX	Marion Jean-Louis	Sciences physiques
	Philipp Annette	Sciences physiques
Lycée Georges De La Tour 57045 Metz Cedex 01	Pellerin Dominique	Sciences physiques
Lycée Pierre Mendès France	Derousseaux Alexandra	Sciences physiques
Collège Guillaume Apollinaire 21 rte Petit Tholy 88530 Le Tholy	Veynandt Jean-Marie	Sciences physiques

Descriptif de la recherche

TITRE (maxi 200 caractères, espaces compris) **Axe* PARI N° 3**
Faire de l'histoire des sciences pour mieux enseigner les sciences et développer la culture scientifique.

RESUME (Problématique, hypothèse, méthodologie, terrain) (maxi 1000 caractères, espaces compris)

1. Objectif(s), hypothèse(s), cadre théorique :

L'objectif est de concevoir, de tester « sur le terrain » des séquences d'histoire de la physique ou de la chimie (ou des séquences de physique-chimie comportant des éléments d'histoire de la physique-chimie) élaborées en vue d'objectifs didactiques et pédagogiques spécifiés.

L'hypothèse fondamentale, explicitement mise en avant par les instructions officielles, est que l'histoire des sciences peut aider à remplir certaines des missions fondamentales aujourd'hui assignées à l'enseignement scientifique

Cadre théorique : il y a différentes manières de concevoir et de faire de l'histoire des sciences. Or il existe, chez les historiens et les philosophes des sciences, beaucoup de polémiques autour de la question de savoir ce qu'est la science. (150024(s)-2

AII. Textes complémentaires

AII.1. Newton et les couleurs

Activité 1

Texte intégral de l'édition 2000 Belin seconde qui sert de support à un travail en classe en 2003 et 2004 (voir commentaires)

TEXTE : L'expérience historique de NEWTON

Depuis 1664, Isaac NEWTON (1642 – 1727) note dans des carnets ses lectures, ses expériences et ses idées. Nous savons ainsi qu'il étudie la *Géométrie* de Descartes et les travaux de Kepler, et réfléchit au problème de la lumière et des couleurs.

« À cette époque, on sait depuis longtemps qu'un prisme de verre donne des couleurs à un rayon de soleil qui le traverse. L'explication repose sur les très vieilles idées d'Aristote : la lumière est blanche et les couleurs naissent progressivement de son affaiblissement dans le prisme. Un rayon blanc traversant le prisme se colore de rouge du côté de l'arête et de bleu du côté de la base car les épaisseurs traversées sont différentes. Newton réfléchit à tout cela et il raconte : *« Au début de l'année 1666, je me procurai un prisme de verre pour réaliser la célèbre expérience des couleurs. Ayant à cet effet obscurci ma chambre et fait un petit trou dans les volets, pour laisser entrer une quantité convenable de rayons de soleil, je plaçai mon prisme contre ce trou, pour réfracter les rayons sur le mur opposé. Ce fut d'abord très plaisant de contempler les couleurs vives et intenses ainsi produites. »*

De fil en aiguille, Newton arrive bientôt à ce qu'il appelle l'expérience cruciale : à l'aide d'un trou dans une planchette, il isole la partie bleue de la tache produite par le prisme et il envoie cette lumière bleue sur un second prisme. Elle est déviée certes mais pas étalée, ni colorée autrement.

Cette fois Newton en est sûr, la lumière blanche du soleil est un mélange de lumière de toutes les couleurs et le prisme dévie différemment ces diverses lumières. Dès lors, il multiplie les expériences montrant en particulier que l'on peut refaire de la lumière blanche en mélangeant des lumières de couleur ! »

QUESTIONS :

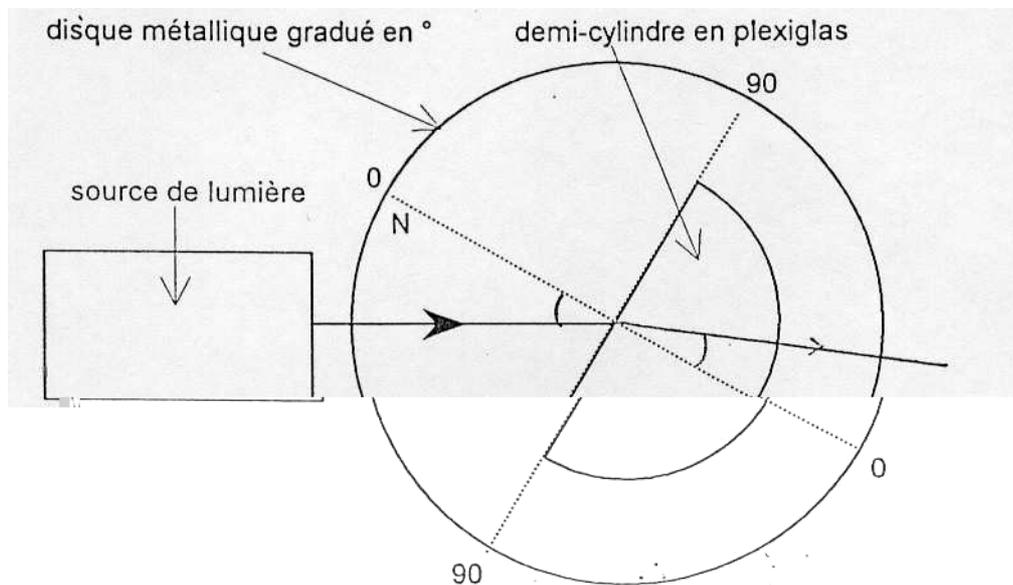
- 1) Le phénomène qui se produit lorsqu'un rayon de soleil traverse un prisme a-t-il été observé pour la première fois par Newton ?
- 2) Avant Newton, comment les savants expliquaient-ils le phénomène observé lorsqu'un prisme est éclairé par la lumière solaire ?
- 3) Proposer un montage permettant de réaliser une expérience voisine de l'expérience cruciale de Newton.
- 4) Quelles connaissances nouvelles sur la lumière ont apportées les expériences de Newton ?

AII.2. La réfraction des rayons lumineux

TP

I - EXPÉRIENCE PRÉLIMINAIRE : On étudie les modifications de direction que subit un rayon lumineux issu d'un laser lorsqu'il rencontre la surface de l'eau. Reproduire un schéma de l'expérience.

II – LE DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL



Sur un disque métallique gradué est posé un demi cylindre.

Définitions

- Rayon incident : rayon issu de la source qui parvient sur le demi cylindre au point d'incidence.
- Point d'incidence : point I où le rayon arrive sur la surface du dioptre.
- Normale au point d'incidence : droite NN' perpendiculaire à la surface du dioptre.
- Angle d'incidence : angle i que fait le rayon incident et la normale NN' .
- Plan d'incidence : plan contenant la normale et le rayon incident (plan du disque gradué).
- Rayon réfracté : rayon après la traversée du dioptre.
- Angle de réfraction : angle r que fait le rayon réfracté et la normale NN' .

Le phénomène de réfraction se produit chaque fois qu'un rayon lumineux change brutalement de milieu transparent. Sa direction est modifiée.

III - LES HYPOTHÈSES DES SAVANTS

1- **Claude PTOLÉMÉE**, physicien grec du II^{ème} siècle après J.C., s'est livré à des commentaires d'ordre qualitatif et a observé que :

- a. Le rayon incident et le rayon réfracté sont situés dans un plan perpendiculaire à la surface de réfraction.
- b. Les rayons perpendiculaires à la surface ne sont pas réfractés.
- c. L'importance de la réfraction dépend de la densité du milieu. Il a remarqué que si i_1 et i_2 sont les angles d'incidence et r_1 et r_2 les angles de réfraction et si $i_1 > i_2$ alors $i_1/i_2 > r_1 / r_2$.

2- **Robert GROSSETÊTE**, maître des études à l'université d'Oxford (1168-1253), fut l'un des pionniers de la méthode expérimentale en affirmant : l'expérimentation est le meilleur moyen de l'étude de la réflexion et de la réfraction de la lumière. La loi de la réfraction qu'il a proposée est : l'angle de réfraction est égal à la moitié de l'angle d'incidence.

3- **Johannes KEPLER**, physicien allemand (1571-1630) était convaincu que la bonne équation devait prendre la forme d'une fonction trigonométrique. Il n'a pas découvert cette équation mais a proposé : l'angle de réfraction est proportionnel à l'angle d'incidence pour des valeurs d'angles petites.

4- **René DESCARTES**, philosophe et savant français (1596-1650) : on lui attribue la loi de la réfraction (1637) qui fait intervenir le sinus de l'angle d'incidence et le sinus de l'angle de réfraction : $\sin i = n \cdot \sin r$

Remarque: quelques années avant DESCARTES, SNELL (hollandais) établit expérimentalement cette loi. C'est Pierre de FERMAT, mathématicien et physicien français (1601-1665) qui fait la première démonstration rigoureuse à partir d'un principe général qui affirme que le temps mis par la lumière pour aller d'un point à un autre est minimum.

IV – ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

1) Vérification de quelques hypothèses de Ptolémée.

- Le rayon incident et le rayon réfracté
-
- Le rayon perpendiculaire à la surface du dioptre
- Lorsqu'on remplace le plexiglas par de l'eau, l'angle de réfraction

2) Mesures

I (°)	0	10	20	30	40	50	60	70
R (°)								

3) Vérification des hypothèses des savants

a) Ptolémée

b) Grossetête

c) Kepler

d) Descartes

4) Loi de Descartes (1637)

La loi de Descartes caractérise un milieu transparent par son indice de réfraction par rapport à l'air n. C'est un nombre supérieur ou égal à 1, sans unité.

Quand un rayon arrive de l'air et se réfracte dans un milieu transparent, il se rapproche de la normale au dioptré :

Quand un rayon arrive d'un milieu transparent et se réfracte dans l'air, il s'éloigne de la normale au dioptré :

5) Valeur de quelques indices moyens

Verre ou crown : $n = 1,5$

Cristal ou flint : $n = 1,6$

Eau : $n = 1,33$

Diamant : $n = 2,4$

La réfraction des rayons lumineux :

Evaluation 1

Questions posées :

- Par rapport aux travaux sur la réfraction présentés en page 2 du TP, quelles sont vos remarques et commentaires ?
- Par rapport au travail effectué en TP, quelles sont vos remarques et commentaires ?
- Des élèves ont fait remarquer, au cours du TP ou à la fin du TP, que ce qui était à retenir impérativement pour la suite du cours et pour les exercices, c'était la loi de Descartes. L'étude qui a précédé la vérification de cette loi, présentait-elle un intérêt ?

Réponses des élèves au questionnaire :

Les réponses des élèves sont réparties deux parties :

- intérêt d'utiliser l'histoire des sciences dans la séquence proposée ;
- critiques : points positifs, négatifs ou à améliorer.

A chaque écrit d'un élève a été attribué un numéro, ce qui permet de connaître l'ensemble de la réponse de chaque élève.

Intérêt d'utiliser l'histoire des sciences dans la séquence proposée;

- 1- .
- 2- *Ptolémée a été le premier à faire des hypothèses sur la réfraction des rayons lumineux, mais il n'a pas fait d'expérience.
J'ai bien aimé, car on fait les expériences pour prouver les hypothèses.*
- 3- *Oui, pour démontrer qu'il faut du temps pour démontrer une loi et pour montrer que ce n'est pas un seul physicien qui trouve la recherche du premier coup mais plusieurs qui fournissent un travail énorme.*
- 4- *J'ai trouvé ça assez bien car on a toute l'évolution de la loi de Descartes, c'était intéressant de se mettre en gros dans la peau d'un physicien
Oui, car on a vu l'évolution de la loi.*
- 5- *Oui, car on comprend que ça a été fait par plusieurs savants et comment on a pu achever ce projet.*
- 6- *Je pense qu'il a été utile de voir que plusieurs physiciens ont travaillé sur la réfraction.
Ça a présenté un intérêt car plusieurs physiciens ont tenté de trouver cette hypothèse.*
- 7- *Je pense qu'ils ont été long à faire leur recherche mais à la fin ils ont réussi. C'est honorable de leur part car à leur époque ils n'avaient pas le matériel qu'on pourrait avoir maintenant.
Oui ce qu'on a fait avant était important car René Descartes s'est aidé de ses confrères physiciens pour faire sa loi.*
- 8- *Les remarques sont bien, on a pu voir toutes les expériences faites pour aboutir au résultat final.
Oui car on a suivi le cours de la découverte pour aller jusqu'au résultat final.*
- 9- *Oui car cela permet de suivre l'histoire de la réfraction et de comprendre.*
- 10- *Oui car on a pu voir qu'il y avait d'autres physiciens intéressants et ça a permis de définir que Descartes avait raison.*
- 13- *Ptolémée suggère des choses mais il ne fait pas d'expérience.
Non parce qu'ils font des hypothèses.*
- 14- *Oui car on annonçait la loi de Descartes et on apprenait à maîtriser les différentes lois utiles.*

- 15- *Je remarque que c'est un travail très long et compliqué. Ils ont mis du temps alors qu'ils sont beaucoup à travailler sur ce projet.*
- 16- *Il fallait du temps pour trouver des solutions sur ce projet.*
- 17- *Remarque sur travaux sur les réfractions. Je n'ai pas de remarque à part que c'est bien.*
- 18- *Remarque sur travaux sur réfraction. Pas de remarque à part que c'est bien. Oui ! Et Non !*
- 19- *Pas de remarque. Ah si une, j'en ai une c'est bien fait
Non René Descartes aurait dû naître avant pour que moins de savants se cassent la tête.*
- 20- *Non parce qu'on ne s'en resservira pas.*
- 21- *Il fallait en mettre plus car il y a des périodes où il y a pas de recherche mais bien dans l'ensemble.*
- 22- *C'est intéressant on sait que sur une expérience il y a plein d'hommes qui travaillent dessus en beaucoup de temps. Mais j'ai trouvé que c'est inutile on aurait pu passer jusqu'au dernier. Mais vous faites comme vous voulez.
C'était long et il y a certains j'ai rien compris mais au moins on a fait des expériences. Mais je pense que c'est bien de passer par plusieurs personnes pour essayer de mieux comprendre.*
- 23- *Je ne comprends pas certaines relations car je n'arrive pas à les appliquer mais je vois que les physiciens s'améliorent avec le temps mais ça ne me servira pas.
Je ne sais pas car dans la vie ça ne sert à rien mais pour voir si les physiciens réussissent avec le progrès des techniques.*

Critiques : points positifs, négatifs ou à améliorer

- 1- *C'était assez simple, le TP était facile.*
- 2- *Travail très intéressant mais il faudrait une amélioration du matériel car j'ai eu du mal à mesurer le faisceau quand il était projeté sur le demi cercle en verre.*
- 3- *Je n'ai pas tellement de remarques, sauf que ça nous apprend plein de choses.*
- 4- *Les textes sont compacts, ça donne pas envie de lire, peut-être espacer plus et quelques schémas donneraient à lire les textes.*
- 5- *Il n'y a pas assez d'images ou de schémas, ça ne donne pas envie de relire, trop de texte.
Non parce que on peut mélanger avec d'autres théories.*
- 6- *Pour le TP c'était intéressant mais c'était un peu inutile de passer une heure trente pour ça !*
- 7- *J'ai trouvé ça bien, ce n'était pas difficile donc même pour moi qui n'est pas fort en physique, j'ai réussi donc j'ai bien aimé.*
- 8- *C'était intéressant mais à faire un peu moins vite.*
- 9- *Je comprends pratiquement toutes les relations sur la réfraction.
C'est mieux de faire les TP que les cours.*
- 10- *Le travail que nous avons fait en TP était pas mal car dans le tableau des mesures cela m'avait plu. En plus les lumières étaient éteintes.*
- 13- *On a bien aimé car on a fait des expériences et résoudre les hypothèses.*
- 14- *Les manipulations sur le TP sont trop courtes mais intéressantes.*
- 15- *Ne présentait pas d'intérêt car il faut juste retenir Descartes.*
- 16- *Pas de remarque spéciale à part que j'ai trouvé ça inutile à part Descartes qui a une loi.*

J'ai bien aimé les TP c'était très intéressant j'ai trouvé ça captivant et très utile à la compréhension.

Oui car la loi peut nous resservir plus tard et c'est intéressant de la savoir.

17- C'est sympathique j'aime bien.

18- Sympathique.

19- Hou lala il y en a trop à citer. Sympathique. Long un peu difficile.

20- Ça va c'était bien.

21- J'ai trouvé ça intéressant mais on aurait dû faire ça plus vite.

Oui parce que ça m'a appris plusieurs choses.

22- C'était simple à appliquer, mais je ne vois pas à quoi ça sert et je ne comprends pas la relation.

La réfraction des rayons lumineux :

Evaluation 2

Enoncé de l'exercice

On réalise des mesures à l'aide d'un héli cylindre transparent en plexiglas posé sur un disque gradué afin de déterminer les valeurs des angles d'incidence dans l'air et des angles de réfraction dans le plexiglas d'un rayon lumineux. Les mesures sont effectuées à 0,5° près. Les lignes vides du tableau pourront être utilisées si nécessaire.

Angle d'incidence(°)	0	10	20	30	40	50	60	70	80
Angle de réfraction(°)	0	6.5	13.5	20	25.5	31	35.5	39.5	43.5

- 6) Faire un schéma sur lequel figureront : la surface de séparation air plexiglas, la normale à cette surface, les angles d'incidence et de réfraction dans le cas d'un angle d'incidence de 30°. Annoter le schéma.
- 7) Au 17ème siècle, Kepler fait l'hypothèse suivante : l'angle de réfraction est proportionnel à l'angle d'incidence pour les valeurs d'angles petites. Cette hypothèse est-elle vérifiée ? Justifier votre réponse.
- 8) Donner la relation entre l'angle d'incidence et l'angle de réfraction. A qui attribue-t-on la loi de la réfraction en France ?
- 9) Vérifier cette loi par le calcul. (Utiliser le tableau pour donner le résultat de vos calculs)
- 10) En déduire la valeur de l'indice de réfraction du plexiglas.

Examen des réponses des élèves : (24 élèves présents)

Le tableau permettait de calculer i/r (Kepler), $\sin i$, $\sin r$ et $\sin i/\sin r$ mais il était possible de répondre sans utiliser toutes les lignes du tableau.

Question 1 : 14 élèves font un schéma juste, les autres repèrent les angles par rapport à la surface (3) ou font un schéma faux, incompréhensible...(7)

Question 2 : 3 élèves donnent une réponse correcte (ci-dessous en italique avec juste correction des fautes d'orthographe). Parmi les autres réponses, certaines apparaissent partiellement justes mais mal formulées et pas justifiées, par un calcul par exemple. Les autres

élèves ne répondent pas ou donnent une réponse erronée ou répondent « oui » ou « non » sans justification cohérente.

Réponses considérées comme justes :

- *Comme le quotient i/r n'est pas égal pour toute valeur de l'angle d'incidence, alors l'angle de réfraction n'est pas proportionnel à l'angle d'incidence.* (l'élève avait calculé i/u pour toutes les valeurs de i , il n'a pas tenu compte de « pour les valeurs d'angles petites » dans sa réponse, mais sa démarche est correcte)
- *L'hypothèse de Kepler a été vérifiée : sur le tableau, j'ai fait les mesures (au lieu de calculs) jusqu'à 30° et on trouve à peu près 1,5 chaque fois. Donc elle est vérifiée.* (le tableau donne les résultats de i/r pour $i = 10^\circ, 20^\circ$ et 30°)
- *Oui ! Cette hypothèse est vérifiée*
 $10/6,5 = 20/13,5 = 1,5$

Question 3 : 23 élèves donnent la relation juste, et 21 indiquent Descartes

Question 4 : 23 élèves font un tableau correct, avec au moins le calcul de $\sin i / \sin r$

Question 5 : 11 élèves donnent la valeur de l'indice de réfraction ce qui montre que le fait que le rapport $\sin i / \sin r$ soit constant est acquis mais que l'indice de réfraction n'est pas toujours bien connu de tous les élèves.

AII.3. Franklin

Le texte original de Franklin

Oil on the Waters

by Benjamin Franklin

De l'huile sur les eaux

Par Benjamin Franklin

Une lettre de Benjamin Franklin à William Brownrigg, 1773

Cher Monsieur : je vous remercie pour les remarques de votre ami érudit de Carlisle. Dans ma jeunesse, j'avais lu avec amusement les comptes-rendus de Pline sur une pratique des marins de son temps, qui consistait à calmer les vagues dans une tempête en versant de l'huile dans la mer ; c'est ce qu'il mentionne aussi bien que l'usage de l'huile fait par les plongeurs ; mais calmer la tempête en projetant du vinaigre dans l'air m'avait échappé. Je pense comme votre ami que, ces derniers temps, cela a été la mode de mépriser le savoir des anciens. Les savants aussi sont capables de trop mépriser les connaissances vulgaires. Le refroidissement par évaporation a été longtemps un exemple de cette dernière attitude. La façon d'adoucir les vagues par l'huile est un exemple de ces deux attitudes.

Il se peut que vous ne détestiez pas avoir un compte-rendu de ce que j'ai entendu et appris et fait dans cette direction. Considérez, s'il vous plait ce qui suit :

En 1757, en mer parmi une flotte de 96 voiliers prêt de Louisbourg, j'observais que les sillages de deux bateaux était remarquablement atténués, alors que tous les autres étaient agités par le vent, qui soufflait frais. Étant intrigué par cette différence, je finis par la montrer à notre capitaine et lui en demandai la signification. « Les cuisiniers, » dit-il, « je suppose, viennent juste de vider les eaux grasses par les hublots, ce qui graisse un peu les côtés de ces bateaux » Et cette réponse, il me la donna avec un air quelque peu méprisant, comme à une personne ignorant ce que tout le monde savait. Dans mon esprit, j'ai d'abord ignoré sa solution même si je n'étais pas capable de penser à une autre ; mais en me souvenant ce que j'avais auparavant lu dans Pline, je me résolus à faire quelques expériences sur l'effet de l'huile sur l'eau quand j'en aurais l'opportunité.

Plus tard, étant encore en mer en 1762, j'observais d'abord le calme étonnant de l'huile sur l'eau agitée dans une lampe en verre que j'avais suspendue dans ma cabine, comme décrit dans mes imprimés. Ceci, je l'observais continuellement et le considérais comme une apparence inexplicable. Un vieux capitaine, alors passager avec moi, y avait réfléchi un peu, supposant que c'était un effet semblable à celui de l'huile sur l'eau pour la calmer, ce qui était, dit-il, une coutume des Bermudiens s'ils voulaient ferrer des poissons qu'ils ne pouvaient pas voir si la surface de l'eau était agitée par le vent. Cette pratique, je n'en avais jamais entendu parler avant, et je lui fut obligé pour cette information, quoique je pensais qu'il se trompait sur la similitude de l'expérience, les opérations étant différentes autant que les effets

Dans un cas l'eau est calme jusqu'à ce que l'huile soit mise sur elle, et ensuite devient agitée. Dans l'autre cas, elle est agitée avant d'appliquer l'huile, puis se calme. Le même gentleman me dit qu'il avait entendu parler d'une pratique des pêcheurs de Lisbonne quand ils retournent dans la rivière (s'ils voient devant eux un ressac trop grand sur la barre, qu'ils craignent car cela pourrait remplir leurs bateaux au passage) qui vidaient une bouteille ou deux d'huile dans la mer, ce qui supprimait les brisants et leur permettait de passer en sécurité. Je n'ai pas encore pu en obtenir une confirmation ; mais en en parlant avec une autre personne qui avait souvent été en Méditerranée, j'appris que les plongeurs de là-bas, qui dans leur travail sous l'eau ont besoin de la lumière que les ondulations en surface interrompent par la réfraction sur les multiples petites vagues, laissent sortir de ci de là une petite quantité

d'huile de leurs bouches, qui en montant à la surface l'adoucit et permet à la lumière de venir jusqu'à eux. J'ai à la fois remué toutes ces informations dans ma tête en m'étonnant de n'en trouver aucune référence dans nos livres de philosophie expérimentale.

Enfin, alors que j'étais à Clapham, où il y a dans la commune une grande mare que j'observais un jour très agitée par le vent, j'apportai un petit flacon d'huile et en versai un petit peu sur l'eau. Je la vis s'étendre avec une surprenante rapidité sur la surface ; mais l'effet de calmer les vagues ne fut pas produit ; car je l'avais appliqué d'abord sur le côté de la mare sous le vent, là où les vagues sont les plus grandes ; et le vent ramenais mon huile sur le rivage. Je suis ensuite allé sur le côté au vent, là où elles commencent à se former ; et l'huile, quoique que je n'en aie pas mis plus d'une cuillère à thé, produisit un calme dans un espace de plusieurs yards carrés qui s'étendit étonnamment, et graduellement jusqu'au côté sous le vent, rendant tout le quart de la mare, sûrement la moitié d'un acre (1 acre = 40,5 ares), aussi lisse qu'un miroir.

À la suite de cela, je m'arrangeai pour emmener, chaque fois que j'allais à la campagne, un petit peu d'huile dans le joint creux supérieur de ma cane de bambou avec laquelle je pouvais répéter l'expérience dès que l'opportunité m'en était offerte, et j'y réussis constamment.

Dans ces expériences, une circonstance me frappa particulièrement. C'était le soudain, vaste et puissant essor de la goutte d'huile à la surface de l'eau, que personne n'a considéré, à ma connaissance. Si une goutte d'eau est posée sur une table en marbre bien polie, ou sur un miroir horizontal, la goutte demeure en place, s'étendant très peu. Quand on la met sur l'eau, elles s'étend instantanément à plusieurs pieds à la ronde, devenant si fine qu'il se produit les couleurs du prisme sur un espace considérable et par dessus tout, encore si fine jusqu'à devenir invisible excepté par l'effet d'adoucir les vagues à une beaucoup plus grande distance.

C'est comme si une répulsion mutuelle entre ses particules avait lieu dès qu'elle touche l'eau, et une répulsion si forte pour agir sur les autres corps flottant à la surface, comme de la paille, des feuilles, des copeaux, etc., les forçant à fuir la goutte par n'importe quel chemin comme depuis un centre, laissant un grand espace libre. L'intensité de la force et la distance à laquelle elle agit, je ne les ai pas encore établies ; mais je pense que c'est une recherche curieuse et je désire comprendre d'où cela vient. Lors d'un voyage dans le nord, quand nous eûmes le plaisir de vous voir à Ormathwaite, nous avons rendu visite au célèbre Mr. Smeaton à côté de Leeds. Alors que j'allais lui montrer l'expérience sur une petite mare à côté de sa demeure, un de ces élèves alors présent, ingénieux, Mr Jessop, nous parla d'un aspect bizarre de cette mare qu'il avait perçu. Il allait laver une petite tasse dans laquelle il conservait de l'huile, et il jeta dans l'eau des mouches qui avaient été noyées dans l'huile. Ces mouches commencèrent à bouger et tournoyèrent dans l'eau très vite comme si elles étaient en bonne santé, quoique après examen, il trouva qu'il n'en était rien. J'en conclus immédiatement que le mouvement provenait du pouvoir de répulsion mentionné plus haut, et que l'huile sortant progressivement du corps spongieux de la mouche continuait le mouvement. Il trouva d'autres mouches noyées dans l'huile avec lesquelles il répéta l'expérience devant nous. Pour montrer que ce n'était pas l'effet d'un retour à la vie des mouches, je l'imitai avec des petits copeaux huilés et du papier coupé en forme de virgule, de la taille de la mouche commune ; quand le flot de particules en répulsion venant du point faisait tourner la virgule dans le sens contraire. Ceci n'est pas une expérience en chambre ; car elle ne peut pas bien être répétée dans un bol ou une assiette d'eau sur une table. Une surface considérable d'eau est nécessaire pour donner de l'espace d'expansion à une petite quantité d'huile. Dans une assiette d'eau, si la plus petite goutte d'huile tombe au milieu, toute la surface est alors couverte d'un film gras fin venant de la goutte ; mais dès que le film a touché les bords de l'assiette, plus rien ne vient de la goutte, mais il reste dans la forme de l'huile, les bords de l'assiette stoppant sa dissipation en interdisant une expansion plus importante du film.

Notre ami Sir John Pringle, étant peu de temps après en Ecosse, appris là-bas que les pêcheurs de hareng pouvaient à distance voir où se trouvaient les bancs de harengs par le calme de l'eau au dessus d'eux, qui pouvait peut-être être causé, pensait-il, par quelque graisse provenant de leurs corps.

Un gentleman de Rhode Island me dit qu'on avait remarqué que le port de Newport était toujours calme quand des baleiniers s'y trouvaient ; ce qui provenait probablement du fait que le blanc de baleine qu'ils transportaient parfois dans la cale, ou la fuite de leurs barils pouvait amener de l'huile à se mélanger à l'eau qu'ils pompaient de temps en temps pour garder leur navire libre, et que de l'huile pouvait s'étendre à la surface de l'eau dans le port et éviter la formation des vagues.

Je vais m'efforcer d'expliquer cette découverte.

Il semble qu'il n'y ait pas de répulsion naturelle entre l'eau et l'air telle qu'elle les empêche devenir en contact. D'où nous trouvons de l'air dans l'eau ; et si nous l'extrayons au moyen d'une pompe à vide, la même eau à nouveau exposée à l'air en absorbera bientôt une quantité égale.

Par conséquent, l'air en mouvement, c'est-à-dire le vent, en passant au dessus de la surface lisse de l'eau peut froter, pour ainsi dire, sur cette surface et la soulever en rides, qui, si le vent continues, sont les éléments des futures vagues.

La plus petite vague dès qu'elle est élevée, ne subsiste pas immédiatement et laisse l'eau autour calme ; mais en subsistant, elle élève pratiquement autant d'eau à côté d'elle, la friction des parties faisant une petite différence. Ainsi, une pierre jetée dans une mare élève d'abord une simple vague autour d'elle, et l'abandonne en tombant au fond ; mais cette première vague en subsistant, en élève une seconde, la seconde une troisième et ainsi de suite en cercles s'agrandissant.

Une petite puissance agissant continuellement produira une grande action. Un doigt appliqué à une lourde cloche suspendue peut d'abord la mouvoir mais peu ; si de façon répétée, on l'applique quoique sans grande force, le mouvement augmente jusqu'à ce que la cloche sonne à sa plus grande hauteur, et avec une force à laquelle on ne peut résister avec toute la force d'un bras et du corps. Ainsi les vagues petites au départ, étant continuellement sous l'action du vent, sont amplifiées continuellement, quoique la force du vent n'augmente pas, deviennent plus hautes et étendent leurs bases jusqu'à inclure une grande masse d'eau dans chaque vague, qui dans son mouvement agit avec grande violence.

Mais s'il y a une répulsion mutuelle entre les particules d'huile, et aucune attraction entre l'huile et l'eau, de l'huile jetée sur l'eau ne se maintiendra pas par adhérence à l'endroit où elle tombe ; elle n'absorbera pas d'eau ; elle aura la liberté de s'étendre ; et elle s'étendra sur une surface qui en plus d'être lisse au plus haut degré de poli, empêche, peut être en repoussant l'huile, tout contact immédiat, en le laissant à distance dans la minute ; et l'expansion continuera jusqu'à ce que la répulsion mutuelle entre les particules d'huile s'affaiblisse et se réduise à rien à cause de leur distance.

Maintenant j'imagine que le vent, en soufflant sur l'eau maintenant couverte d'un film d'huile ne peut pas facilement agir sur elle pour soulever les premières rides, mais il glisse sur elle et la laisse lisse comme il la trouve. Cela remue un peu l'huile, bien sûr, qui étant entre lui et l'eau, lui permet de glisser, et évite la friction, comme l'huile le fait entre ces parties d'une machine qui autrement froteraient durement ensemble. Ainsi l'huile jetée sur le côté au vent d'une mare s'étend graduellement vers le côté sous le vent, comme on peut le voir par le lissé qu'elle génère, pratiquement jusqu'au côté opposé. Car le vent étant ainsi empêché de soulever les premières rides, que je nomme les éléments des vagues, ne peut pas produire des vagues qui doivent être créés par une action continue et un élargissement de ces éléments, et ainsi toute la mare reste calme.

Nous pourrions ainsi supprimer complètement les vagues à tout endroit désiré, si nous pouvions venir à l'endroit au vent où elles prennent leur essor. Ceci ne peut rarement sinon jamais être réalisé dans l'océan. Mais quelque chose peut être entrepris dans des cas particuliers pour atténuer la violence des vagues quand nous sommes au milieu d'elles, et empêcher leur bris là où cela serait gênant.

Car, quand le vent souffle frais, à l'arrière de chaque grande vague, naissent continuellement de nombreuses petites, qui rendent la surface rugueuse et donnent au vent une prise, pour ainsi dire, pour les pousser avec une plus grande force. Cette prise est diminuée en évitant la formation de ces petites vagues. Et peut être aussi quand une surface est huilée, le vent, en passant dessus, pourrait plutôt jusqu'à un certain point appuyer dessus, et contribuer à éviter de la soulever au lieu de la favoriser.

Ceci aurait peu de poids en tant que simple hypothèse si l'effet apparent de jeter de l'huile parmi les vagues n'était pas considérable, et jusqu'à maintenant qu'on n'en aurait pas encore parlé.

Quand le vent souffle si frais que les vagues ne sont pas assez rapides pour suivre son impulsion, leurs crêtes étant plus fines et plus légères sont poussées en avant, brisées, et retournées en une blanche écume. Les vagues communes soulèvent un vaisseau sans le pénétrer ; mais parfois si elles sont grandes, elles se brisent et passent au dessus en causant beaucoup de dégât.

Le fait que cet effet puisse jusqu'à un certain point être évité, ou que la hauteur et la violence des vagues en mer être atténuée, n'est pas rapporté avec certitude ; on ignore la compétence de Pline au sujet de la pratique des marins de son temps. Mais au cours d'une discussion ultérieure sur ce sujet avec son Excellence le comte Bentinck, de Hollande, son fils l'Honorable capitaine Bentinck, et le professeur Allemand (auxquels j'ai montré l'expérience, par un jour de vent, de lisser une grande pièce d'eau au début de Green Park), on mentionna une lettre reçue par le comte de Batavia, relative au sauvetage d'un navire hollandais dans un ouragan en versant de l'huile dans la mer. Je désirai beaucoup voir cette lettre, et une copie me fut promise, que j'ai reçue après.

EXTRAIT D'UNE LETTRE DE MR. TENGNAGEL AU COMTE BENTINCK, DATÉE À BATAVIA, LE 5 JANVIER 1770.

« À côté des îles Paul et Amsterdam, nous rencontrâmes un ouragan, ce qui n'aurait rien de particulier pour justifier une communication à vous, si ce n'est que le capitaine se trouva contraint pour une plus grande sécurité pour manœuvrer le bateau, de jeter de l'huile dans la mer pour éviter que les vagues se brisent sur lui, ce qui eut un effet excellent et réussit à nous sauver. Comme il en versait mais un peu à la fois, la Compagnie des Indes Orientales devait la survie de son bateau à seulement six demi-*ames* (*onces* ?) d'huile d'olive. J'étais présent sur le pont quand ceci fut fait ; et je ne vous en aurais pas mentionné les circonstances, mais nous avons trouvé ici des personnes si prévenues contre cette expérience pour la rendre nécessaire pour les officiers de bord, en certifiant moi même de la vérité... »

A cette occasion, je mentionnai au capitaine Bentinck une pensée qui m'avait occupé en lisant sur les voyages de nos derniers navigateur autour de la Terre, en particulier, là où sont rendus compte des îles agréables et fertiles où ils désiraient beaucoup accoster quand la maladie le rendait plus nécessaire, mais où ils ne pouvaient pas aborder à cause de violents brisants sur le rivage qui le rendaient impraticable. Mon idée était qu'en naviguant par des allers et retours à quelque distance d'une plage sous le vent, en versant continuellement de l'huile dans la mer, les vagues pourraient être si atténuées et amoindries avant qu'elles n'atteignent le rivage en réduisant la hauteur et la violence du ressac et permettant un débarquement, ce qui dans de telles circonstances, était un point suffisamment important pour justifier la dépense d'huile que l'on pourrait réquisitionner dans ce but.

Ce gentilhomme, qui est toujours prêt à promouvoir l'utilité publique, quoique ses inventions n'aient pas atteint la notoriété qu'elles méritent, fut bien obligé en m'invitant à Portsmouth., où une opportunité serait probablement offerte dans les jours suivants de faire l'expérience sur une des plages près de Spithead, dans laquelle il me proposa gentiment de m'accompagner et d'apporter une aide avec autant de bateaux que nécessaire. En conséquence, vers la mi-octobre, je me rendis à Portsmouth avec quelques amis, et comme un jour de vent arrivait, rendant un rivage sous le vent entre Haslar Hospital et la pointe à côté de Jilkecker, nous vîmes depuis le Centaur avec la chaloupe et une barque vers ce rivage. Notre plan était le suivant : la chaloupe était ancrée à un quart de mile du rivage ; une partie de la compagnie fut débarquée derrière le point, à un endroit plus abrité, placé à l'opposé de la chaloupe, où ils pouvaient observer le ressac et noter si un changement arrivait grâce à l'utilisation de l'huile. Un autre groupe, dans la barque, naviguait au vent de la chaloupe aussi loin d'elle qu'elle l'était du rivage, faisant des allers d'environ un demi-mile chacun, en versant continuellement de l'huile d'une grande bonbonne par un trou dans le bouchon un peu plus gros que le tuyau d'une plume d'oie.

L'expérience n'eut pas le succès désiré car aucune différence concrète ne fut observée sur la hauteur et la force du ressac sur le rivage ; mais ceux qui étaient sur la chaloupe purent observer une étendue d'eau lisse, toute la distance à laquelle la barque versait l'huile, et progressivement s'étendant en largeur vers la chaloupe.

...

Il peut être utile de relater les circonstances d'une expérience qui ne réussit pas, car elles peuvent donner des pistes pour des modifications dans des expériences ultérieures ; c'est pour cela que j'ai été aussi minutieux. J'ajouterai seulement ce que je ressens sur la raison possible de notre déception.

Je conçois que l'action de l'huile sur l'eau est la suivante : premièrement, empêcher le soulèvement de nouvelles vagues par le vent ; et deuxièmement, d'empêcher de les pousser ..., et par conséquent, leur continuation à la même hauteur, comme elles l'auraient fait si leur surface n'était pas huilée.

Mais l'huile ne peut pas éviter que les vagues soient soulevées par une autre raison – par une pierre, par ex., qui tombe dans une mare ; car elles s'élèvent alors sous l'impulsion mécanique de la pierre, que la graisse à la surface de l'eau ne peut amoindrir ou éviter, comme elle empêche le vent de saisir la surface et de la soulever en vagues... ».

Mesure d'une petite longueur : l'expérience dite « de Franklin ».

Deux textes contemporains

<http://www.pourlascience.com/numeros/pls-259/physique.htm>

IDÉES DE PHYSIQUE ROLAND LEHOUCQ

Film monomoléculaire

Finalement, mentionnons une observation due à Benjamin Franklin, le père du paratonnerre, qui visait à mettre en évidence l'existence d'un film monomoléculaire. En 1762, lors d'un voyage à Londres, Franklin avait remarqué qu'en versant une cuillère à café d'huile à la surface d'un étang, celle-ci s'étalait sur l'eau d'une surface d'un demi-acre environ (2 000 mètres carrés). La raison de cet étalement, qu'ignorait Franklin, est que l'huile possède une tête hydrophile, qui pénètre dans l'eau, et une chaîne hydrophobe qui reste dans l'air : l'huile forme un film dont l'épaisseur est égale à la taille d'une molécule. Dans ce cas, le volume versé est le produit de la surface d'huile par l'épaisseur du film.

À partir des observations de Franklin, on déduit que la taille d'une molécule d'huile est de 2,4 nanomètres, un ordre de grandeur inférieur à la valeur réelle. La principale erreur réside dans la supposition que la couche formée est unique : en fait l'huile s'étale en plusieurs couches monomoléculaires superposées. Des expériences fondées sur le même principe permettent des mesures de la taille de molécules organiques variées. Ainsi, l'évaluation de la taille des molécules n'est qu'une question d'observations.

<http://www.ac-grenoble.fr/phychim/propos/tp/franklin/pggennes.html>

Les objets fragiles Pierre-Gilles de Gennes - Jacques Badoz . Editions POCKET ; pages 100 - 105

L'esprit Benjamin Franklin

Examinons ce qui se passe lorsqu'on ajoute à l'eau une petite quantité de " surfactant ". Les molécules de surfactant sont des objets assez extraordinaires. Ce sont des molécules plutôt petites (un à deux nanomètres de long possédant deux propriétés violemment antagonistes. Une des extrémités de la molécule est fortement hydrophile (c'est souvent une fonction acide). Nous l'appellerons la tête polaire de la molécule. Le reste de la molécule est résolument hydrophobe ; c'est une chaîne "aliphatique", formée d'atomes de carbone et d'hydrogène. Si je plonge une telle molécule, seule dans l'eau, elle devient très " malheureuse ". Sa chaîne aliphatique ne songe qu'à fuir l'eau qu'elle exècre. Aidée par l'agitation thermique, elle parvient à la surface. La situation, sans être idéale, est déjà meilleure. La tête polaire peut rester immergée avec délice dans l'eau. La chaîne hydrophobe peut se sécher à l'air. En se serrant l'un contre l'autre comme les pingouins d'une rookerie, les molécules de surfactant peuvent alors réaliser une situation presque parfaite: tête dans l'eau, chaîne à l'air presque perpendiculaire à la surface. Lorsque toute la

surface libre de l'eau est couverte, c'est l'idéal. Les molécules forment une couche bien régulière dont l'épaisseur est égale à une longueur moléculaire. C'est une monocouche.

Je demande parfois à un étudiant : " Comment mesurer cette épaisseur ? " S'il est près de la fin de ses études, il a entendu parler de ces merveilleuses machines dont disposent maintenant les physiciens: générateurs de rayons X, pile à neutrons... Réfléchissant un peu, il proposera d'utiliser par exemple les rayons X. C'est vrai que les rayons X sont assez bien adaptés à ce problème. Mais notre étudiant remarquera que cette couche est bien mince : il y a peu de matière pour agir sur le rayonnement. Donc un très faible signal mesurable renvoyé par la couche. Avec un synchrotron qui est un puissant générateur de rayons X, l'expérience sera possible... Bien sûr, une expérience avec ces appareils coûte très cher.

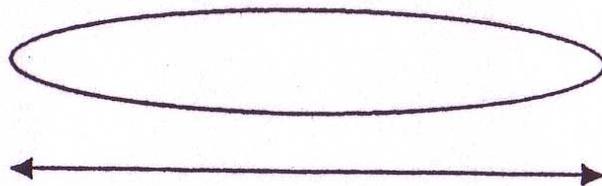
Heureusement, Benjamin Franklin a, il y a deux cents ans, apporté une solution plus simple. Nous avons tous entendu parler de Franklin, au moins comme l'inventeur du paratonnerre. Il fut aussi l'ambassadeur des jeunes États-Unis en France sous Louis XVI. C'était un homme de grande culture et de grande passion. Il s'intéressa à toutes les expériences que l'on faisait alors dans les " cabinets de physique " de ce siècle des Lumières, et notamment aux effets de l'huile sur l'eau. Depuis les Grecs, on sait qu'un film d'huile, répandu sur la mer, tend à calmer les vagues. Franklin va au bord d'un étang (à Clapham près de Londres) et verse, doucement, une cuillerée d'huile d'olive sur l'étang (les molécules d'huile sont assez semblables à celles que j'ai décrites). L'huile s'étale, mais l'aspect optique de la surface ne change pas (car le film déposé est très mince par rapport à la longueur d'onde de la lumière). Franklin arrive tout de même à reconnaître les régions qui sont recouvertes: en l'absence d'huile, la brise créait des vaguelettes sur l'étang; en présence d'huile, on ne voit plus de rides, la surface est lisse. La peau de l'eau est devenue rigide !

Grâce à ce test, Franklin peut estimer assez bien la surface du film d'huile. Elle est énorme: de l'ordre de 100 m². Cette expérience porte en elle-même un résultat considérable - qui ne sera pas exploité par Franklin, mais seulement cent ans plus tard par Lord Rayleigh. Si l'on divise le volume d'huile par la surface d'étalement, on trouve la hauteur du film - qui s'avère être de l'ordre du nanomètre: cette hauteur, c'est (en gros) la taille des molécules d'huile. Voilà l'expérience simple à laquelle nos étudiants doivent penser en premier ! Et tout l'art de cette expérience, c'est le don d'observation, l'astuce pour identifier les régions couvertes. Cet exemple me paraît très important. C'est ce que j'appelle " l'esprit Franklin " d'une expérience. Évidemment, je ne dis pas que le rayonnement X du synchrotron ou le faisceau de neutrons des réacteurs soient inutiles. Ils sont souvent indispensables. J'ai moi-même utilisé bien des résultats acquis avec des neutrons ! Mais il ne faut pas oublier l'esprit Franklin...

Protocole

- Mettre de l'eau tiède dans le cristalliseur environ 1 à 2 cm de hauteur et laisser reposer jusqu'à ce que la surface de l'eau soit au repos.
- Déposer une très fine couche de lycopode à la surface de l'eau.
- Très près de l'eau et au centre du cristalliseur, déposer avec la liquipipette une goutte de la solution A.
- Mesurer rapidement le diamètre d de la tache circulaire qui se forme. Noter cette mesure.

Exploitation



1. Compléter le schéma ci-dessus en faisant apparaître l'épaisseur de la couche e et le diamètre d .
2. En utilisant des arguments tirés du texte, montrer que c'est l'acide gras et non l'éther de pétrole qui forme une pellicule très fine et permanente à la surface de l'eau.
3. Quelle est la proportion en volume, notée p , d'acide gras dans la solution A ?
4. Choisir parmi les grandeurs suivantes, celle qu'il faut aussi mesurer afin de pouvoir calculer l'épaisseur de la pellicule:
 - a. le volume d'une goutte d'acide gras
 - b. le volume d'une goutte d'éther de pétrole
 - c. le volume d'une goutte de solution A.
 - d. le volume d'acide gras dans une goutte de solution A;
 - e. le volume d'éther de pétrole dans une goutte de solution A.
5. Pour déterminer la grandeur choisie on utilise la liquipipette qui a servi à déposer une goutte : proposer un protocole.
6. Exprimer le volume de la couche d'acide gras déposée sur l'eau en fonction de p et de la grandeur choisie à la question 4.
7. Exprimer l'épaisseur e de la pellicule en fonction de la proportion en volume p , du diamètre d du disque et du volume V_A d'une goutte de solution A.
8. Déterminer alors l'ordre de grandeur d'une molécule d'acide gras. Comparer à la valeur donnée au début du document.

Mesure d'une petite longueur: l'expérience dite « de Franklin ».

TP2

La goutte d'huile

BUT : déterminer l'ordre de grandeur de la taille d'une molécule

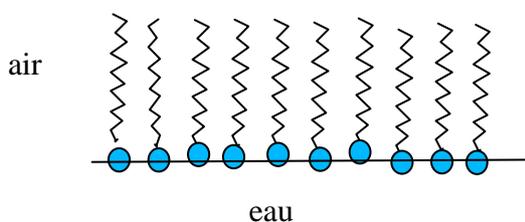
I. EXPERIENCE HISTORIQUE

Une observation étonnante : (*Pour la Science*, mai 1999)

« Mentionnons une observation due à Benjamin Franklin, le père du paratonnerre...

En 1762, lors d'un voyage à Londres, Franklin avait remarqué qu'en versant une cuillère à café d'huile à la surface d'un étang, celle-ci s'étalait sur l'eau d'une surface d'un demi acre environ (2000 mètres carrés).

La raison de cet étalement, qu'ignorait Franklin, est que l'huile possède une tête hydrophile (« qui aime l'eau »), qui pénètre dans l'eau, et une chaîne hydrophobe (« qui craint l'eau »), qui reste dans l'air : l'huile forme un film dont l'épaisseur est égale à la taille de la molécule. [...] A partir des observations de Franklin, on déduit que la taille d'une molécule d'huile est de 2,4 nm. [...] La principale approximation réside dans la supposition que la couche formée est unique. »



- 1) Sur le schéma, porter les indications : tête hydrophile, chaîne hydrophobe, longueur de la molécule d'huile.
- 2) Comment peut-on déduire de ces observations la taille des molécules ? Les données du texte sont-elles suffisantes pour retrouver le résultat ?

II. ACTIVITE EXPERIMENTALE

On utilise ici un mélange hexane / huile, obtenu en versant 1mL d'huile dans une fiole jaugée de 500mL et en complétant avec de l'hexane. On fait tomber une goutte de ce mélange sur de l'eau tiède, saupoudrée de talc ou de poudre de lycopode. L'hexane s'évapore au contact avec l'eau tiède. L'huile s'étale alors sur l'eau sur une surface S et la taille de la molécule est donnée par l'épaisseur e de la couche. On mesure dans l'expérience la surface S pour calculer e .

- 3) Pourquoi dilue-t-on l'huile au lieu d'utiliser une goutte d'huile pure ?
- 4) Outre la surface mesurée, de quelle donnée a-t-on besoin pour remonter à la longueur des molécules d'huile ? (s'aider d'un schéma)

PROTOCOLE :

- prélever 1mL du mélange huile+hexane à l'aide d'une pipette
- vider goutte à goutte cette pipette en comptant le nombre de gouttes et en récupérant le mélange dans un bêcher propre, il sera réutilisé pour d'autres classes.
- remplir un cristallisoir d'eau tiède jusqu'à mi-hauteur et placer dessous une feuille petits carreaux ou de papier millimétré.
- saupoudrer d'une très fine couche de poudre de lycopode
- près de la surface de l'eau et au centre du cristallisoir, faire tomber une goutte du mélange huile+hexane
- mesurer rapidement le diamètre d de la tache formée. Si la tache présente une forme d'étoile, l'expérience doit être refaite.

- 5) Donner le nombre de gouttes trouvé dans 1mL de mélange. Quel est le volume V d'une goutte ?
- 6) Quel est le volume v d'huile versé, en tenant compte de la dilution ?
- 7) Quelle relation lie d à S ? Calculer S .
- 8) Quelle relation lie e à S et v ? Calculer e . La valeur trouvée est-elle en accord avec celle donnée dans le texte ? Comment expliquer l'écart entre les deux valeurs ?

BILAN : les grandes molécules comme l'huile ont une taille de l'ordre de grandeur du soit mètres.

Compléter l'axe des puissances de 10 (cf. TP1) avec cette nouvelle information.

Mesure d'une petite longueur: l'expérience dite « de Franklin ».

TP3

TP - Comment déterminer l'ordre de grandeur de la longueur d'une molécule ?

Objectif :

Mesurer la taille d'une molécule avec, pour seul instrument de mesure, un double décimètre.

I – Étude préliminaire

- 5- Connaissant le volume de la goutte d'huile, Franklin est parvenu à déterminer l'ordre de grandeur de l'épaisseur de la couche d'huile. Quel calcul a-t-il fait ? Établir l'expression littérale.

II – Expérience

Afin d'obtenir une tache de dimension suffisamment petite pour pouvoir être observée dans un cristalliseur, il faut limiter la quantité d'huile déposée. Pour cette raison on dilue l'huile dans un solvant : l'hexane qui s'évapore lorsque le mélange est déposé à la surface de l'eau tiède (environ 40°).

On prépare une solution où on mélange 0,1 mL d'huile d'olive à 30 mL d'hexane.

1) Préparation du montage.

- Placer une feuille quadrillée sous le cristalliseur.
- Introduire de l'eau tiède dans la cuve environ à mi-hauteur et attendre que la surface de l'eau soit au repos.
- À l'aide d'un tamis déposer une très fine couche de talc à la surface de l'eau.

2) Détermination du volume V d'une goutte

- Placer quelques millilitres de solution d'huile d'olive dans la burette.
- Ouvrir le robinet de sorte que les gouttes tombent suffisamment lentement pour pouvoir les compter.
- Compter le nombre de gouttes correspondant à l'écoulement de 1 mL de solution.
- En déduire la valeur du volume V d'une goutte.

3) Détermination du volume V_1 d'huile contenu dans une goutte de solution.

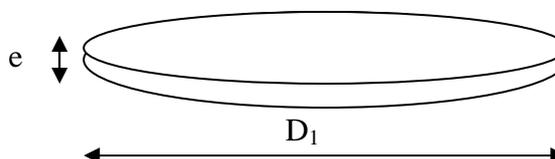
- À partir des proportions indiquées ci-dessus, calculer V_1 .

4) Détermination du diamètre D_1 de la tache.

- Très près de l'eau et au centre du cristalliseur, déposer avec la burette une goutte de la solution contenant le mélange d'huile d'olive et d'hexane.
- Mesurer rapidement le diamètre D_1 de la tache circulaire qui se forme. Noter cette mesure.
- Si la tache présente une forme en étoile, la manipulation doit être recommencée après nettoyage du cristalliseur avec du détergent et rinçage.

5) Détermination de l'épaisseur e de la tache.

À l'aide du schéma suivant :



- Calculer la surface S de la tache circulaire en m^2 .
- Indiquer la valeur du volume V_1 en m^3 .
- Donner l'expression de l'épaisseur e .
- Calculer e en m, puis le convertir en nm.
- En déduire un ordre de grandeur de la taille d'une molécule.
- Conclure.

Evaluation 1

Mesure d'une petite longueur: l'expérience dite « de Franklin ». *Franklin--annexe-eval1*

FICHE D'EVALUATION du T.P. « Mesure d'une petite longueur »

NOM – Prénom :

Reprendre le TP N°4 de physique et remplir le tableau ci-dessous :

Nom du savant	Date ou période de l'expérimentation	Nature de la recherche, de la découverte ou des travaux effectués
PLINE		
FRANKLIN		
REYNOLDS		
RAYLEIGH		
POCKELS		
LANGMUIR		

Combien d'années (environ) se sont écoulées entre le moment où le comportement de l'huile en présence d'eau a intéressé FRANKLIN et la date à laquelle la mesure du diamètre moléculaire a été effectuée ?

L'expérience que vous avez réalisée est généralement appelée « L'expérience historique de

Dans la mesure où c'était la date ou la période d'expérimentation qui étaient demandées, l'élève qui indiquait la date de naissance et la date de décès du savant avait une réponse juste.

Un élève a indiqué le siècle, ce qui a été considéré comme une réponse juste bien que le manque de précision soit regrettable.

PLINE

Date

- 1 élève note que la date n'est pas indiquée (4 %) ;
- 11 élèves ne répondent pas (42 %) ;
- 7 réponses justes (27 %) ;
- 7 réponses fausses (27 %).

Il semble que les élèves ne lisent pas une note en bas de page.

Un élève m'a demandé s'il s'agissait de 1723 (au lieu de 23). Un a indiqué 1923, un autre 1723 et un autre de 1706 à 1777.

Recherche :

- 3 élèves ne répondent pas
- 15 élèves affirment que Pline calmait les vagues...
- 2 élèves indiquent que Pline «lisait la pratique des marins qui... »
- 3 élèves évoquent un compte rendu de Pline
- 1 élève : « comportement de l'huile et de l'eau »
- 1 élève : « l'huile consiste à calmer les vagues »
- 1 élève : « il met en place une pratique des marins qui consiste à.... »

Pas de réponse vraiment juste et complète. Pour une majorité d'élèves, Pline aurait fait des travaux sur le phénomène et non relaté des faits. L'intitulé dans le tableau induisait en erreur : Il faudrait peut-être poser les questions sur Pline hors tableau dans la mesure où Pline ne semble pas avoir fait de recherches mais avoir seulement rendu compte de la pratique des marins.

De plus les informations concernant Pline ne sont pas aussi bien mises en évidence dans le texte que les travaux des autres chercheurs.

FRANKLIN

Date

- 26 réponses justes (100%).

Recherche

- 20 réponses justes (77 %);
- 4 réponses partielles (15 %) ;
- 2 réponses fausses (8 %).

REYNOLS

Date

- 24 réponses justes (100%).

Recherche

- 22 réponses justes (84 %);
- 2 réponses partielles (8 %) ;
- 2 réponses fausses (8 %).

RAYLEIGH

Date

- 26 réponses justes (100%).

Recherche

- 22 réponses justes (84 %);
- 3 réponses partielles (12 %) ;

- 1 réponse fausse (4 %).

POCKELS

Date

- 22 réponses justes (84 %).
- 2 non réponses (8 %)
- 1 réponse fausse (4 %)
- 1 « non indiquée » (4 %)

Recherche

- 19 réponses justes mais le plus souvent incomplètes (73 %);
- 3 réponses partielles (12 %) ;
- 4 réponses fausses (15 %).

Dans les réponses justes un élève a indiqué « idem » (que Raleigh). Ce qui me semble la réponse la plus juste.

Les réponses incomplètes ne mentionnent que partiellement les travaux. La mesure du diamètre moléculaire n'apparaît pas clairement (elle ne figure pas dans le texte). L'élève reprend les mots du texte plutôt qu'il ne les synthétise.

LANGMUIR

Date

- 22 réponses justes (84 %).
- 4 réponses fausses (16 %)

Le texte manque de précision dans la mesure où il indique «... Prix Nobel de Chimie en 1932, découvre un trentaine d'années plus tard que les molécules ... ». Certains élèves ont écrit la date de 1962 (1932 + 30), un élève m'a fait remarquer que ce n'était pas possible puisqu'en 1962 Langmuir était décédé. Il s'agit en réalité de travaux effectués 30 ans après Rayleigh. (J'ai modifié le document).

Recherche

- 20 réponses justes (77 %);
- 4 réponses partielles (15 %) ;
- 2 réponses fausses (8 %).

Commentaire

Les rares réponses fausses proviennent probablement d'élèves qui ont mal compris le texte ou qui ont répondu sans trop réfléchir au document.

*** À propos de la première question**

Question posée : Combien d'années (environ) se sont écoulées entre le moment où le comportement de l'huile en présence d'eau a intéressé FRANKLIN et la date à laquelle la mesure du diamètre moléculaire a été effectuée ?

- 2 élèves ne donnent pas de réponse ;
- 1 élève indique la date 1890 (n'a pas compris la question);
- 1 élève indique 30 ans (durée entre la mesure de Rayleigh et les travaux de Langmuir ?)
- 1 élève indique 10 ans (?) ;
- 2 élèves indiquent 103 ans (erreur de calcul ?) ;
- 1 élève indique 120 ans (approximation ?) ;
- 2 élèves indiquent > 100 ans (correct) ;
- 16 élèves indiquent 113 ans.

On peut considérer que tous les élèves qui ont donné une réponse comprise entre 100 et 120 ans ont donné une réponse juste, soit 21 élèves (81 %).

*** À propos de la deuxième question**

Question posée : L'expérience que vous avez réalisée est généralement appelée « L'expérience historique de Benjamin Franklin » (Voir livre des Editions Belin par exemple). Le nom généralement donné à cette expérience vous semble-t-il justifié ? Pourquoi ?

J'ai essayé de regrouper les réponses en indiquant un titre. Les phrases en italique sont exactement celles des élèves avec quelques fautes d'orthographe corrigées.

1) **NON : c'est Pline qui a découvert le phénomène**

- *Ce n'est pas justifié car Pline avait découvert que l'huile calmait les eaux agitées avant Franklin.*
- *Elle n'est pas justifiée car Pline l'avait découvert avant Franklin.*
- *Elle n'est pas justifiée car Pline avait découvert que l'huile calmait l'eau agitée avant Franklin.*
- *Non, car l'idée de départ vient de Pline mais c'est Franklin qui l'a expérimentée.*
- *Non, car ce n'est pas une expérience historique. Il n'a fait que prouver que Pline avait raison.*

2) **NON : Franklin n'a pas travaillé seul sur le sujet**

- *Non, car ce n'est pas lui qui a trouvé l'explication, il n'a rien approfondi.*
- *Non, car il n'y a pas que Franklin qui a travaillé sur ce projet.*
- *Non, il n'y a pas que Franklin qui a fait cette expérience.*

3) **NON : c'est plutôt l'expérience de Rayleigh**

- *Non, car ce n'est pas Franklin mais Rayleigh qui a trouvé la mesure de la tache.*
- *Non, car ce n'est pas Franklin qui a trouvé la mesure de la tache, mais Rayleigh : oh !*
- *Non, car le mérite revient à Rayleigh.*
- *Non, car c'est Rayleigh qui a découvert le diamètre de la tache.*

4) **NON : justification erronée**

- *Non car l'huile sur l'eau c'est pas très important*

5) **OUI : mais Pline a découvert le phénomène**

- *Oui, car c'est lui qui a fait le premier l'expérience en essayant de comprendre le phénomène, même si c'est Pline qui a découvert le phénomène.*

6) **OUI : Franklin est le premier à avoir fait l'expérience**

- *Oui, car c'est lui le premier qui l'a fait.*
- *Oui, car c'est Benjamin Franklin qui a commencé à faire des expériences sur l'huile et l'eau.*
- *Oui, car c'est lui qui l'a découvert pour la première fois → historique.*
- *Oui, car c'est lui qui l'a trouvé.*
- *Oui, car il était le premier de l'histoire à trouver cette expérience.*
- *Oui, car c'est Benjamin Franklin qui a cherché si l'eau et l'huile allaient ensemble.*
- *Oui car déjà ancien et que c'est Benjamin Franklin qui a trouvé le premier ce phénomène bizarre.*

7) **OUI : Franklin fait partie de ceux qui ont fait des recherches sur le sujet**

- *Oui, car elle est très importante pour les futurs philosophes, c'est le premier à avoir constaté ce phénomène et d'autres philosophes feront avancer son expérience.*

- *Le nom donné à cette expérience me semble justifié car nous faisons une expérience qui ressemble à celle de Franklin, certes beaucoup moins complexe mais c'est le même genre d'expérience.*

8) **OUI : justification erronée**

- *Oui, le nom est justifié car on a pu calculer l'épaisseur de la couche d'huile.*
- *Oui, car c'est important pour l'histoire de savoir que l'huile est une couche moléculaire.*

9) **OUI : sans justification erronée**

- *Oui*

Commentaire

Si on se souvient que 81 % des élèves ont répondu juste à la première question, posée dans le but de leur faire comprendre que la mesure du diamètre moléculaire (effectuée en T.P.) n'avait pas été réalisée pour la première fois par Franklin mais par Rayleigh, les réponses à la deuxième question peuvent surprendre. Pourtant, la plupart des réponses montrent qu'une majorité d'élèves a été sensible à l'aspect historique évoqué à travers le T.P.

De plus, je trouve courageux qu'un si grand nombre d'élèves aient osé dire « Non » ou « Oui, mais.. ». La formulation de ma question ne sous-entendait pas qu'il puisse y avoir un doute sur le nom donné à l'expérience.

Evaluation 2

Exercice

« Le physicien anglais Lord RAYLEIGH. (1842-1919) poursuit les recherches sur la tension superficielle et il mesure l'épaisseur du film d'huile qu'il suppose monomoléculaire.

L'appareil utilisé dans l'expérience comprenait une bassine de toilette de 84 cm de diamètre, acquise chez un forgeron local. Après avoir rempli la bassine avec de l'eau, on déposa une succession de gouttelettes d'huile sur la surface, dans le but de déterminer le volume d'huile suffisant pour couvrir la surface de l'eau.

RAYLEIGH en 1890, détermine le diamètre moléculaire : 1,6 nm. ».

Le texte ci-dessus est extrait de la fiche d'un précédent T.P. Les calculs demandés seront effectués en tenant compte des données de ce texte.

- 1) Indiquer l'épaisseur du film d'huile (en mètre)
- 2) Calculer la surface du film (en m²)
- 3) En déduire le volume d'huile versé
- 4) Sachant que 50 gouttes correspondent à un volume de 1 cm³, calculer le volume d'une goutte.
- 5) En déduire le nombre de gouttes versées. Peut-on verser moins d'une goutte d'huile ? Que penser vous des indications du texte ?

Correction

- 1) $e = 1,6 \cdot 10^{-9}$ m
- 2) $S = 0,554$ m²
- 3) $V = 8,9 \cdot 10^{-10}$ m³
- 4) $V_1 = 2 \cdot 10^{-8}$ m³
- 5) $N = 0,044$ gouttes

Le texte ne précise pas que Rayleigh a utilisé un autre procédé que celui que nous avons utilisé pour réaliser l'expérience : en réalité, il procédait par trempage d'un fil métallique dans l'huile, pesée de l'huile retenue sur le fil et déduction du volume introduit sur l'eau. Il était descendu jusqu'à 0,40 mg.

Commentaires

Exercice noté sur 6 points, moyenne 2,8 / 6. L'exercice se situait en fin de devoir, il me semblait plutôt difficile compte tenu du niveau des élèves : conversion, compréhension du texte. Devoir donné plusieurs semaines après le T.P. à cause des vacances.

- 12 élèves ne répondent pas à la dernière question parce qu'ils n'ont pas mené l'exercice jusqu'au bout ;
- 10 élèves donnent des réponses pas toujours justifiées, parfois contenant des contradictions. Il est difficile de donner une réponse juste quand on ne connaît pas la valeur exacte de N :
 - nous ne pouvons pas verser moins d'une goutte (*calcul de N non fait*)
 - on a versé 0,048 goutte. Oui on peut verser moins d'une goutte. Les indications du texte sont fausses parce qu'ils disent qu'ils versent une succession de gouttelettes d'huile alors qu'il n'en faut qu'une pour recouvrir la surface de la bassine (*incohérent*)
 - on ne peut pas verser moins d'une goutte ($N = 423$ gouttes)
 - non, on ne peut pas verser moins ($N = 4\ 200$ gouttes)
 - non, les indications ne sont pas claires, elles sont dures à comprendre (*calcul de N non fait*)
 - non on ne peut pas, elles sont bonnes ($N = 100$)

- On peut pas verser moins d'une goutte seule à moins qu'elle soit accompagnée d'un autre composant ($N=4$)
 - Oui on peut verser moins d'une goutte d'huile. A certains endroits il devait y avoir un peu plus qu'une couche mono moléculaire ($N = 4,32$)
 - Oui on peut verser une goutte. Les données du texte sont approximatives donc trop dur à vérifier (*calcul de N non fait*) On peut verser moins d'une goutte. On donne de mauvaises indications dans le texte car on a l'impression qu'il en verse plusieurs. On doit verser 0,01 goutte.
 - On peut verser moins d'une goutte. On donne de mauvaises indications dans le texte car on a l'impression qu'il en verse plusieurs.
- 4 élèves répondent juste
- On ne peut pas verser moins d'une goutte. L'indication du texte est fausse.
 - Il a fallu verser 0,044 goutte d'huile. On ne peut pas verser moins d'une goutte mais on peut la diluer et verser une goutte du produit. Les mesures du texte sont approximatives, surtout pour la bassine.
 - On ne peut pas verser moins d'une goutte. Les indications du texte sont fausses.
 - On ne peut pas verser moins d'une goutte donc les indications sont fausses.

AII.4. Chimie

Une progression en chimie en classe de seconde :

Poids atomiques- réponses

Compte rendu du travail « à propos des poids atomiques »

Ce travail a été donné à la maison non noté. Le travail a été rendu dans les délais, il est sérieux. Il est personnel dans la mesure où lorsqu'on trouve des formulations voisines (ce qui est rare), il s'agit d'élèves qui travaillent généralement ensemble.

22 réponses

1- a) Existence des atomes

- 13 réponses justes bien justifiées
- 4 réponses fausses (confusion 1913 et 19^{ème} siècle par exemple)
- 4 réponses : on est certain de l'existence des atomes! Ces élèves se réfèrent à la position de Proust et de Dalton qui ne rejettent pas la notion d'atomes
- 1 ne répond pas

2 – a)

- 19 tableaux justes
- 1 tableau faux
- 2 partiellement faux
- 17 justifient par « même nombre d'atomes que la masse d'hydrogène »
- 5 ne justifient pas

b)

- 18 tableaux justes
- 2 tableaux faux
- 2 tableaux partiellement faux

- 14 justifient par « ... 16 fois supérieur à la masse.... »

- 3 ne répondent pas
- 5 affirment qu'on a 2 valeurs identiques

c)

- rien : 2
 - masse relative des atomes et les proportions dont ils entrent en combinaison
 - masse de l'objet, nombre d'atome de la molécule
 - m asse de l'atome : 2
 - faire : masse de l'atome pour 22 L / poids d'un atome : 2
 - masse atomique/ poids atomique
 - nombre d'atomes de la molécule
 - masse de l'atome pour 22 L : 2
 - masse relative des atomes et des proportions
 - liste des nombres proportionnels remarquables obtenus expérimentalement à partir des densités des gaz (H=1 ; O= 16 ; Cl = 35,5) : 2
 - rapports proportionnels remarquables que contiennent différents récipients pour un même volume
 - poids des atomes contenus dans une certaine quantité de liquide donné
 - nombre appelé coefficient atomique : 2
 - hydrogène : 1, 2, 3 ou 4 g jamais des masses intermédiaires.
 - la masse d'O pour 22 L doit être multipliée par le nombre d'atomes de cette molécule : 2
- La majorité des élèves donnent une valeur correcte du poids atomique de l'oxygène.

Cartes

Page suivante

<p>POTASSIUM symbole : K Poids atomique : 39</p> <p>Propriétés du corps simple potassium : Métal blanc argenté mou comme la cire à T° ordinaire - peu dense Tf = 63,6° C Te = 760° C</p> <ul style="list-style-type: none"> • s'oxyde rapidement à l'air • réagit énergiquement avec l'eau avec formation de dihydrogène • réagit avec le dichlore <p><u>Formules de corps composés :</u> K₂O - KCl</p>	<p>HYDROGENE symbole : H Poids atomique : 1</p> <p>Propriétés du corps simple dihydrogène : Le plus léger des gaz, se liquéfie difficilement, très peu soluble dans l'eau Tf = -260° C Te = -253° C</p> <ul style="list-style-type: none"> • peut réagir de façon explosive avec le dioxygène • réagit avec le dichlore, le soufre, le diazote, le carbone • réagit avec les oxydes métalliques comme CuO et les oxydes non métalliques comme SO₂ <p><u>Formules de corps composés :</u> H₂O - CH₄ - HCl</p>	<p>LITHIUM symbole : Li Poids atomique : 7</p> <p>Propriétés du corps simple lithium : Métal blanc argenté malléable et mou Le plus léger des métaux : flotte sur l'huile Tf = 180° C Te = 1342° C</p> <ul style="list-style-type: none"> • réagit à froid avec l'eau avec formation de dihydrogène • réagit avec le dichlore <p><u>Formules de corps composés :</u> LiH - LiCl - Li₂O</p>	<p>BORE symbole : B Poids atomique : 11</p> <p>Propriétés du corps simple bore : Solide noir, léger et très dur Mauvais conducteur de la chaleur Semi-conducteur électrique Tf = 2079° C Te = 2550° C</p> <ul style="list-style-type: none"> • s'oxyde à T° élevée • à chaud et divisé, réagit avec le dichlore <p><u>Formules de corps composés :</u> B₂O₃ - B₂H₆ - BCl₃</p>	<p>BERYLLIUM symbole : Be Poids atomique : 9</p> <p>Propriétés du corps simple béryllium : Métal blanc brillant – peu dense Tf = 1278° C Te = 2970° C</p> <ul style="list-style-type: none"> • s'oxyde à l'air avec un phénomène lumineux intense • réagit facilement avec l'acide chlorhydrique et l'acide sulfurique avec dégagement de dihydrogène <p><u>Formules de corps composés :</u> BeCl₂ - BeO</p>
<p>MAGNESIUM symbole : Mg Poids atomique : 24</p> <p>Propriétés du corps simple magnésium : Métal blanc argenté malléable et ductile Tf = 651° C Te = 1107° C</p> <ul style="list-style-type: none"> • brûle dans le dioxygène avec un vif éclat • réagit avec l'acide chlorhydrique et l'acide sulfurique avec formation de dihydrogène • réagit avec le dichlore <p><u>Formules de corps composés :</u> MgCl₂ - MgO</p>	<p>ALUMINIUM symbole : Al Poids atomique : 27</p> <p>Propriétés du corps simple aluminium : Métal blanc Tf = 660° C Te = 2467° C</p> <ul style="list-style-type: none"> • s'oxyde à l'air • réagit avec le dichlore <p><u>Formules de corps composés :</u> AlCl₃ - AlH₃ - Al₂O₃</p>	<p>BROME symbole : Br Poids atomique : 80</p> <p>Propriétés du corps simple dibrome : Liquide volatil de couleur rouge sombre Tf = 7,2° C Te = 58,8° C</p> <ul style="list-style-type: none"> • réagit avec le dihydrogène • réagit avec les métaux Na, Ca, Al • réagit avec le phosphore blanc <p><u>Formules de corps composés :</u> NaBr - HBr</p>	<p>CHLORE symbole : Cl Poids atomique : 35,5</p> <p>Propriétés du corps simple dichlore : Gaz verdâtre, peu soluble dans l'eau Tf = -101° C Te = -34,6° C</p> <ul style="list-style-type: none"> • réagit violemment avec le dihydrogène • réagit avec les métaux Na, Ca, Al sauf l'or et le platine • réagit avec le phosphore blanc <p><u>Formules de corps composés :</u> NaCl - HCl</p>	<p>SOUFRE symbole : S Poids atomique : 32</p> <p>Propriétés du corps simple soufre : Solide jaune, isolant électrique Tf = 113° C Te = 445° C</p> <ul style="list-style-type: none"> • réagit avec le dihydrogène • s'enflamme dans le dioxygène • réagit avec le difluor, le dibrome et le dichlore • réagit avec la plupart des métaux et avec le phosphore, l'arsenic et le carbone <p><u>Formules de corps composés :</u> SO₂ - SO₃ - H₂S</p>

<p>CALCIUM symbole : Ca Poids atomique : 40</p> <p>Propriétés du corps simple calcium : Métal blanc brillant Tf = 839° C Te = 1484° C</p> <ul style="list-style-type: none"> à chaud, il brûle dans le dioxygène réagit avec l'eau avec formation de dihydrogène réagit avec le dichlore <p><u>Formules de corps composés :</u> CaO - CaCl₂</p>	<p>ARSENIC symbole : As Poids atomique : 75</p> <p>Propriétés du corps simple arsenic : solide jaune ou solide gris d'aspect métallique Tf = 817° C (sous pression) Te = 613° C</p> <ul style="list-style-type: none"> s'oxyde dans l'air humide brûle dans l'air sec à 200°C s'enflamme spontanément dans le dichlore <p><u>Formules de corps composés :</u> As₂O₃ - AsH₃ - AsCl₃</p>	<p>CARBONE symbole : C Poids atomique : 12</p> <p>Propriétés du corps simple carbone : Plusieurs variétés : graphite, diamant Tf = 3652° C Te = 4827° C</p> <ul style="list-style-type: none"> s'oxyde dans l'air pour donner CO ou CO₂ réagit avec les oxydes métalliques comme l'oxyde de cuivre CuO <p><u>Formules de corps composés :</u> Un million de corps composés contiennent l'atome de carbone CO - CO₂ - CH₄ - CCl₄ ...</p>	<p>AZOTE symbole : N Poids atomique : 14</p> <p>Propriétés du corps simple diazote : Gaz incolore et inodore Peu soluble dans l'eau, moins dense que l'air Tf = - 210° C Te = - 196° C</p> <ul style="list-style-type: none"> assez inerte chimiquement à T° et P ambiantes A haute température ou en présence d'étincelles électriques, il peut se combiner aux corps simples suivants : le dioxygène, les métaux, le dihydrogène <p><u>Formules de corps composés :</u> NO - NO₂ - NH₃</p>	<p>SILICIUM symbole : Si Poids atomique : 28</p> <p>Propriétés du corps simple silicium : Solide bleu acier Semi-conducteur Tf = 1410° C Te = 2680° C</p> <ul style="list-style-type: none"> chauffé à l'air, il brûle avec incandescence ne réagit pas avec les acides se combine à chaud avec le carbone <p><u>Formules de corps composés :</u> SiO₂ - SiH₄ - SiCl₄</p>
<p>OXYGENE symbole : O Poids atomique : 16</p> <p>Propriétés du corps simple dioxygène : Gaz incolore et inodore Peu soluble dans l'eau, plus dense que l'air Tf = - 218,4° C Te = -183° C</p> <ul style="list-style-type: none"> se combine avec la plupart des corps simples en donnant des oxydes <p><u>Formules de corps composés :</u> Na₂O - CaO - H₂O</p>	<p>FLUOR symbole : F Poids atomique : 19</p> <p>Propriétés du corps simple difluor : Gaz jaune moins dense que l'air Tf = -219° C Te = -188,1° C</p> <ul style="list-style-type: none"> réagit avec le dihydrogène réagit avec tous les métaux sauf l'or et le platine réagit avec le phosphore <p><u>Formules de corps composés :</u> NaF - HF</p>	<p>PHOSPHORE symbole : P Poids atomique : 31</p> <p>Propriétés du corps simple phosphore : solide blanc qui luit à l'obscurité, devient jaune à la lumière et se recouvre d'une couche de phosphore rouge Pour le phosphore blanc Tf = 44,1° C Te = 280° C</p> <ul style="list-style-type: none"> réagit avec le dioxygène dès 60°C (par simple frottement avec un corps chauffé) avec le dichlore (réaction vive) réagit avec tous les métaux y compris l'argent et le platine <p><u>Formules de corps composés :</u> PH₃ - P₂O₅ - PCl₃</p>	<p>SODIUM symbole : Na Poids atomique : 23</p> <p>Propriétés du corps simple sodium : Métal blanc argenté, mou Tf = 97,8° C Te = 893° C</p> <ul style="list-style-type: none"> s'oxyde à l'air réagit violemment avec l'eau avec formation de dihydrogène réagit avec le dichlore <p><u>Formules de corps composés :</u> Na₂O - Na Cl</p>	

Une progression en chimie en classe de seconde :

Questionnaire sur la mole

Ce questionnaire a été proposé aux 25 élèves (1 absent) à la fin du programme de chimie de seconde et après avoir corrigé le devoir de synthèse sur les 4 derniers chapitres de chimie. Ce devoir a été bien réussi (moyenne 14,5). Les élèves de cette classe de lycée technique étaient particulièrement brillants dans toutes les matières.

Les différents cours et T.P. ont été faits en respectant les consignes et la progression du programme.

Question 1 : Quelle est pour vous l'utilité d'introduire la mole en chimie ?

- Simplifier les calculs car on utilise des valeurs plus grandes qu'en travaillant avec les molécules (des maladroites parfois dans les réponses : « unités plus grandes donc des résultats plus petits » : 10 élèves soit 40%
- Approfondir le cours, mieux le comprendre, aide pour la suite, découvrir de nouvelles formules, les utiliser : 6 élèves soit 24%
- Calculer des quantités de matière : 3 élèves soit 12%
- Unité internationale utilisée dans la suite du cours : 3 élèves soit 12%
- Compliquer le cours : 2 élèves soit 8%
- Donner une image de la structure de la matière, de ce qui nous entoure : 1 élève soit 4%

Question 2 : a) Connaissez vous par cœur la définition de la mole ?

(Je ne la demandais pas, la réponse n'engageait pas trop les élèves !)

- NON : 14 soit 56%
- OUI : 10 soit 40%
- BOF : 1 soit 4%

b) Cette définition est-elle indispensable pour comprendre le cours de chimie ?

- NON : 18 soit 72%
- OUI : 5 soit 20%
- Obstacle pour les exercices : 1 soit 4%
- Pas indispensable mais il le faut : 1 soit 4%

c) Si vous ne connaissez pas la définition officielle de la mole, quelle définition proposez vous ?

- Quantité de matière, manière de quantifier la matière, nombre d'atomes ou de molécules ; Unité (de matière, pour la matière, de calcul, de mesure de quantité de matière....) : 21 soit 84%
- Paquet de choses : 3 soit 12%
- Erreurs : « Il y a autant de moles dans 1 g de sable que dans 1 g de poudre » - « Ce qui forme un objet » - « une mole, c'est plus petit qu'une molécule » : soit 12%

Total supérieur à 100% car 1 double réponse.

Tous répondent y compris ceux qui affirment connaître la définition donnée dans le cours.

Question 3 : Quelles sont les questions auxquelles je n'ai pas répondu, quelles remarques, vous suggère le chapitre sur la mole ?

- N'ont pas répondu ou ont répondu « rien » : 7 soit 28%
- Cours difficile, c'était déjà assez long : 7 soit 28%

- A quoi ça va me servir dans mon futur métier, dans la vie courante : 5 soit 20%
- J'ai compris, ça m'a plu : 3 soit 12%
- Questions par rapport au nombre d'Avogadro : « Pourquoi $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ et pas $6 \cdot 10^{23}$ plus simplement ? » - « Je n'ai pas compris l'utilité des avogadro, ça m'a plus embrouillé qu'autre chose » - D'où vient le nombre d'Avogadro ? » : 3 soit 12%

Les élèves ont plutôt consciencieusement appris ce que je leur avais demandé afin de pouvoir traiter les exercices. Je n'ai pas insisté sur le nombre d'Avogadro, car pendant le cours, les réactions des élèves étaient proches de « *Je ne comprends pas l'utilité des avogadro, ça m'embrouille plus qu'autre chose* » et je ne me sentais pas capable de leur expliquer brièvement l'origine de ce nombre, pas indispensable pour la suite du cours.

L'attitude des élèves en cours et leurs réponses me confortent dans le fait que, faire abstraction de l'histoire des sciences dans le chapitre sur la mole, c'est passer à côté de choses essentielles. Présenter la mole comme une unité ou comme un paquet d'entités afin de simplifier les calculs ne me convient pas. Historiquement, le poids atomique et la molécule-gramme ont été définies avant que les savants soient sûrs de l'existence des atomes.

AII.5. Histoire du Thermomètre

Grille

**Thème historique
mobilisé**

Chronologie de l'élaboration du thermomètre. Points

Support

Activité

Histoire du thermomètre

Pour mesurer la température, il faut définir des points auxquels on puisse se référer, des "points fixes", entre lesquels on détermine une "échelle linéaire de température".

« Pour définir les points fixes, on se tourna tout simplement vers des phénomènes proches de la vie quotidienne.

Depuis longtemps, ceux de congélation et d'ébullition de l'eau parlent naturellement à nos esprits ! Mais au XVII^{ème} siècle, on ne sait pas encore bien produire du froid. On envisage donc une référence physique plus accessible que la congélation de l'eau : ce fut par exemple la température des caves de l'Observatoire de Paris. Celle-ci, de 12 degrés à l'époque, resta effectivement stable jusqu'au milieu du XIX^{ème} siècle pour ensuite croître lentement au gré des retombées de notre civilisation ! »

Le premier thermomètre véritable a été inventé à Florence en 1654 par le *Grand Duc de Toscane*. L'appareil, à alcool, portait 50 graduations. En hiver, il descendait jusqu'à 7 graduations et montait, en été, jusqu'à 40. Dans la glace fondante, il marquait 13,5.

Pendant la seconde moitié du XVII^{ème} siècle, *Boyle* (1627-1691), physicien et chimiste anglais, proposa d'adopter comme température de référence (point fixe) le point de fusion de la glace.

En 1664, *Robert Hooke* fabrique un thermomètre à alcool contenant un colorant rouge. Avec son échelle, chaque degré représentait une augmentation du volume d'alcool correspondant à 1/500^{ème} du volume de liquide total. Seulement un point de référence (point de congélation de l'eau) était nécessaire. Ce thermomètre fut utilisé par la Société Royale jusqu'en 1709.

En 1702, l'astronome danois *Ole Roemer* (1644-1710) base son échelle sur 2 points fixes : températures de congélation et d'ébullition de l'eau. Il fabrique un thermomètre à alcool marquant l'eau bouillante à 60° et la glace pilée à 7,5°.

En 1717, le savant allemand *Fahrenheit* (1686-1736) remplace l'alcool par du mercure. Il détermina sa fameuse échelle en prenant pour zéro la température d'un mélange de 50% de sel et de 50% de glace et adopta la graduation 96 pour température du corps humain. Cette dernière valeur fut portée à 98,6°F soit 37°C. Les valeurs des points de congélation et d'ébullition de l'eau sont donc respectivement de 32°F et 212°F. *Fahrenheit* donne au thermomètre sa forme définitive et montre que la température d'ébullition de l'eau est fonction de l'altitude.

En 1730, *Réaumur* physicien et naturaliste français, adopte les mêmes points fixes (congélation et ébullition de l'eau) mais construit son thermomètre en adoptant une échelle comprenant 80 graduations.

Celsius, physicien suédois (1701-1744) construit en 1742 un thermomètre à mercure qui marque 100° au point de congélation de l'eau et 0° au point d'ébullition de l'eau...

Mais en 1745, *Linné* (1707-1778) inverse l'échelle des températures et présente à l'Académie suédoise un thermomètre à mercure qui marque 0° pour la glace fondante et 100° pour l'eau bouillante. Il montre que la température de congélation de l'eau n'est pas fonction de la latitude.

En 1782, *James Six* fabrique le premier thermomètre à maxima et minima.

En 1794, la *Convention* décide que le "degré thermométrique serait la centième partie de la distance entre le terme de la glace et celui de l'eau bouillante". Choisir une échelle de 0 à 100 fut très difficile car le choix d'une telle échelle impliquait l'utilisation de nombres négatifs auxquels on n'était pas habitués.

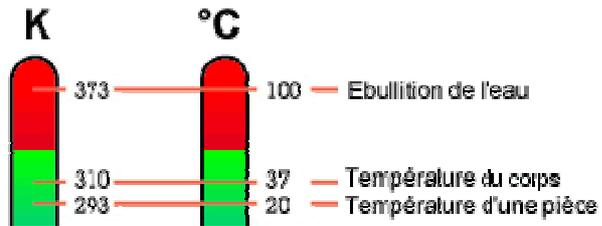
Lord Kelvin (1824 - 1907) donne son nom à une nouvelle unité : "le Kelvin", avec la correspondance de 1 K = 1 °C, car on parlera de "kelvin" et non de "degré kelvin". Cette unité a été définie à partir du fonctionnement des machines à vapeur. La nouvelle désignation est officialisée en 1960.

En octobre 1948, le nom de degré Celsius (°C) est choisi par la 9^{ème} Conférence Internationale des Poids et Mesures.

Nous avons donc plusieurs échelles de mesure des températures : l'échelle Celsius (nommée centigrade avant 1948) adoptée par la plupart des nations, l'échelle Fahrenheit adoptée par la Grande-Bretagne et les Etats-Unis et l'échelle Kelvin utilisée par les scientifiques. L'échelle Réaumur a été abandonnée.

Températures de l'ébullition selon l'altitude

Altitude en mètres	Température de l'ébullition de l'eau en ° Celsius	Altitude en mètres	Température de l'ébullition de l'eau en ° Celsius
0	100	1700	94
300	99	1965	93
590	98	2225	92
875	97	2480	91
1155	96	2730	90
1430	95	2930	89



AII.6. Archimède : une anecdote

Une recherche sur Internet à propos d'Archimède et de son principe apporte évidemment de nombreuses réponses. Tous les sites consultés ne rendent pas compte de la même façon de la découverte du savant grec. Les sources anciennes sont rares, et le texte de Vitruve est la référence communément admise. Elle se fonde sur le débordement de l'eau de la baignoire dont la quantité donne une mesure correspondant au volume d'eau déplacé. C'est sur ce fait que vont se greffer la quasi-majorité des écrits relatant l'anecdote. Mais beaucoup d'auteurs ajoutent des éléments, pour corser l'histoire et forcent le trait ou inventent des circonstances. Quand on les met côte à côte, on arrive à une diversité de récits, dont certains sont contradictoires. Les exemples donnés ci-dessous montrent jusqu'où peut aller l'imagination ! Comment des élèves menant une recherche sur une telle découverte peuvent faire la part des choses et reconnaître ce qui est sérieux de ce qui relève de la fantaisie ?

Il est vrai que nos auteurs classiques se sont également laissés aller à certaines approximations : « *Qu'y a-t-il de commun entre le plaisir d'Archimède trouvant les lois de la pesanteur et la volupté immonde d'Apicius dévorant une hure de sanglier !* » Bouvard et Pécuchet, Flaubert.

Mais nous nous plaçons ici dans un cadre qui n'est pas littéraire mais scientifique et nous avons besoin de source « sérieuses ».

À la fin de ce chapitre, on trouvera l'étude effectuée dans les archives de Scribus (<http://www.scribus.org/>), le journal de l'association Eveil. Cette étude critique est un bon exemple d'analyse des faits et d'une interprétation plausible des travaux d'Archimède.

Le texte de Vitruve

http://www.ac-bordeaux.fr/Etablissement/SudMedoc/physique_chimie/dossiers_scientifiques/archimede/vitruve.htm

Archimède et la couronne de Hiéron : volume et densité des corps

Quant à Archimède, il a certes fait bien d'admirables découvertes dans maints domaines, mais c'est encore celle que je vais exposer qui, parmi toutes les autres, témoigne, semble-t-il, d'une ingéniosité extrême. Hiéron de Syracuse, parvenu au pouvoir royal, avait décidé de placer dans un temple, en raison de ses succès, une couronne d'or promise par un vœu aux dieux immortels : il mit le prix de l'exécution en adjudication et il pesa à l'adjudicataire, au peson, l'or nécessaire. Celui-ci soumit en temps voulu son travail, exécuté à la main avec finesse, à l'approbation du roi et, à l'aide du peson, il fit la preuve, sembla-t-il, du poids de la couronne.

Quand Hiéron apprit par dénonciation qu'une certaine quantité d'or avait été ôtée et remplacée par l'équivalent en argent incorporé à l'objet votif, furieux d'avoir été berné, mais ne trouvant aucun moyen de mettre la fraude en évidence, il pria Archimède d'y consacrer pour lui ses réflexions.

Et le hasard fit que, avec ce souci en tête, celui-ci alla au bain, et là, descendant dans la baignoire, il remarqua qu'il s'en écoulait une quantité d'eau égale au volume de son corps, quand il s'y installait. Cela lui révéla le moyen de résoudre son problème : sans tarder, il bondit plein de joie hors de la baignoire et, prenant tout nu le chemin de sa maison, il manifestait à voix haute, à tout venant, qu'il avait trouvé ce qu'il cherchait. Car dans sa course, il ne cessait de crier, en grec : « j'ai trouvé, j'ai trouvé ! ».

Alors, mis ainsi sur le chemin de sa découverte, il fabriqua, dit-on, deux lingots de poids

égal qui était aussi celui de la couronne, l'un d'or, l'autre d'argent. Cela fait, il remplit d'eau jusqu'au bord un grand vase, dans lequel il plongea le lingot d'argent. Il s'écoula une quantité d'eau égale au volume immergé dans le vase. Ainsi, une fois le lingot retiré, il y versa à nouveau la quantité d'eau manquante, en mesurant avec un setier, de manière que, comme tout à l'heure, le niveau affleurât le bord. Il trouva ainsi le poids d'argent déterminé correspondant à une quantité d'eau déterminée. Cette expérience faite, il plongea alors de la même manière le lingot d'or dans le vase plein, et, après l'avoir retiré, il fit alors sa mesure suivant une méthode semblable : partant de la quantité d'eau nécessaire, non pas égale mais plus faible, il trouva dans quelle proportion, à poids égal, le lingot d'or était moins volumineux que celui d'argent.

Or ensuite, après avoir rempli le vase et plongé cette fois la couronne dans la même eau, il trouva qu'il s'était écoulé plus d'eau pour la couronne que pour le lingot d'or de poids égal, et ainsi, partant du fait qu'il manquait plus d'eau dans le cas de la couronne que dans celui du lingot, il mit en évidence par son raisonnement l'alliage d'argent dans l'or et la fraude patente de l'adjudicataire.

Florilège des différentes versions trouvées sur Internet

- Il remarqua que la baignoire débordait quand il y entrait. Il comprit alors que l'immersion d'un corps déplace une quantité d'eau équivalente à son volume.
- C'est dans son bain qu'Archimède découvre la méthode pour confondre l'orfèvre malhonnête. Conscient de l'anomalie due à la fraude possible, Archimède identifie son corps immergé à la couronne. Il remarque que sa baignoire peut déborder du fait de son immersion.

Qu'a-t-il trouvé dans son bain ?

- le principe d'hydrostatique selon lequel tout corps plongé dans l'eau déplace un volume d'eau correspondant.
- il vient de trouver la loi de l'hydrostatique
- la loi de déplacement des corps plongés dans un liquide et en en déduisant la possibilité de calculer la densité d'un corps (or, cuivre, alliage,...) d'après son poids apparent dans l'eau.
- il allait pouvoir mesurer le volume de la couronne et celui de l'or donné par déplacement d'eau.
- la poussée qu'un fluide environnant imprime à un solide (principe d'Archimède).
- la loi de la pesanteur spécifique des corps, ...
- la poussée de l'eau en fonction de la densité des matériaux
- le principe de densité et de poussée des fluides...
- l'explication de la poussée du même nom dans son bain.
- la solution d'un problème d'aréométrie...
- C'est dans son bain qu'Archimède découvre la méthode pour confondre l'orfèvre malhonnête. Conscient de l'anomalie due à la fraude possible, Archimède identifie son corps immergé à la couronne. Il remarque que sa baignoire peut déborder du fait de son immersion. Il imagine ensuite l'effet de deux couronnes, l'une d'argent l'autre d'or dont les volumes à poids égal sont différents.

Une illumination ?

- Tout le monde connaît la légende : ce brave Archimède trempait dans sa baignoire quand il s'écria "EUREKA"... Bon c'est intéressant, mais quel phénomène étrange a bien pu provoquer un tel émoi chez le grand homme ?
- Réfléchissant à ce problème dans son bain, Archimède aurait eu l'idée lumineuse de son principe.
- Archimède se creuse les méninges, il cherche et cherche encore, mais rien ne vient, pour se détendre il prend un bain et c'est en se mettant à l'eau qu'il aurait eu l'illumination: Euréka! Euréka! je tiens la solution !
- l'expérience ordinaire qui consiste à prendre un bain donne soudain accès, via le génie d'Archimède, aux extraordinaires secrets de la nature, qui vont permettre d'agir sur elle et de la dominer. Plus généralement, il semble que le processus créatif fasse intervenir la compréhension du monde extérieur par le corps.

Comment est-il sorti de son bain ?

- plein de joie,
- *tout heureux*
- dans l'enthousiasme de sa découverte,

- Très excité
- tout heureux de sa découverte - et distrait comme tout savant qui se respecte -,
- tout nu
- à moitié nu
- plus ou moins nu
- nu comme un ver
- il aurait traversé la ville en oubliant de s'habiller
- il rentre chez lui sans se rhabiller au vestiaire
- Si la vérité sort du puits, Archimède, lui, sort de sa baignoire. Nu et ruisselant, il court annoncer aux Syracusains perplexes qu'il vient de trouver la loi de l'hydrostatique
- sans vêtements, complètement au naturel
- en tenue d'Adam!
- tout nu dans la rue, agitant les bras tout en poussant, en grec, le cri emblématique de la créativité « *Eurêka !* » (J'ai trouvé !) au milieu de passants interloqués.

... et l'orfèvre dans tout ça?

- Le roi s'était bel et bien fait avoir, l'orfèvre avait gardé une partie de l'or mais l'histoire ne dit pas ce qui advint de lui.
- Certains pensent qu'il se serait enfui et se serait reconverti dans le commerce des balances de précisions.
- Ainsi fut sauvée la vie de l'orfèvre grâce à un mathématicien qui comprit l'importance des rapports et proportions dans la vie d'un homme.
- le roi décide de condamner l'orfèvre à mort.

Une légende ?

- En fait, le récit est une mise en scène spectaculaire de la découverte du principe fondamental de l'hydrostatique (communément appelé depuis "principe d'Archimède").
- On se souvient du vieil Archimède (287—212) dans sa baignoire, de l'eau qui déborde, de son inspiration subite : la découverte du principe qui portera son nom, la loi de la pesanteur spécifique des corps... Génial ! Et Arthur Koestler d'écrire un épais bouquin dessus. Malheureusement, cette histoire est fausse, et cette solution pour étudiants attardés et lecteurs de magazines populaires inapplicable...
- On ne dispose pas de témoignages directs sur sa vie mais seulement d'informations de seconde main. L'histoire de la baignoire a été rapportée au premier siècle avant J.C. (longtemps après la mort d'Archimède donc) par Vitruve, un célèbre architecte romain.
- Vitruve n'aurait eu connaissance que d'une partie de l'histoire, elle lui a été racontée de toute façon lon0.295585(a)3.73756(n)-0.293142(t)-2.16436()-110.212(J)-p

[http://www.virtuel.colleg0.212\(J\)-pbdeb.qc.ca/intermath/math](http://www.virtuel.colleg0.212(J)-pbdeb.qc.ca/intermath/math)

désire s'assurer que sa couronne est uniquement composée d'or et non partiellement d'argent. Si tel est le cas, l'orfèvre sera envoyé au bûcher.

Or, dans sa sagesse, Archimède fit au roi le raisonnement suivant :

«L'argent est un métal plus léger que l'or, donc de densité moindre. Si cette couronne contient de l'argent, à poids égal, elle aura nécessairement un volume plus grand.»

Il demanda au roi de lui remettre un morceau d'or ayant un poids identique à celui de la couronne.

Dans un premier temps, Archimède prit un bassin rempli d'eau et y submergea la couronne fabriquée par l'orfèvre. Il recueillit le trop plein d'eau. Dans un deuxième temps, le mathématicien utilisa le morceau d'or prêté par le roi et fit de même. La quantité d'eau était identique.

Il retourna auprès du roi et lui dit :«Votre orfèvre est un homme honnête. La couronne est constituée uniquement d'or pur.»

Ainsi fut sauvée la vie de l'orfèvre grâce à un mathématicien qui comprit l'importance des rapports et proportions dans la vie d'un homme.

La version la plus probable

<http://www.eveil.asso.fr/journal2/archives/archim1.htm>

inspiré du site anglophone : <http://www.mcs.drexel.edu/~crrres/Archimedes/contents.html>

LE PRINCIPE d'ARCHIMEDE (version officielle, Vitruve, 1^{er} siècle av. J.C.)

Tout le monde a entendu parler d'ARCHIMEDE, le type qui sort de sa baignoire en criant "EUREKA" (j'ai trouvé en grec). Mais qu'y a-t-il derrière l'anecdote?

ARCHIMEDE vivait à Syracuse, en Grèce, au troisième siècle avant J.C (-287, -212). C'était un inventeur génial et un mathématicien hors-pair. On ne dispose pas de témoignages directs sur sa vie mais seulement d'informations de seconde main. L'histoire de la baignoire a été rapportée au premier siècle avant J.C. (longtemps après la mort d'Archimède donc) par Vitruve, un célèbre architecte romain. La voici:

Hiero II, roi de Syracuse avait confié un lingot d'or pur à un orfèvre pour qu'il en fasse une couronne. Cette couronne, le roi voulait l'offrir au cours d'une cérémonie en hommage à une divinité protectrice de la ville. L'orfèvre réalise la couronne, la cérémonie a lieu mais, on ne sait pas bien pourquoi, le roi est pris d'un soupçon: l'orfèvre n'a t'il pas gardé une partie de l'or pour lui? Bien sûr la couronne pèse exactement le même poids mais cela ne veut rien dire, une partie de l'or a pu être remplacé par le même poids d'argent...et maintenant que la cérémonie a eu lieu, il n'est plus possible de faire fondre la couronne pour vérifier, ce serait un sacrilège! Le roi est donc bien préoccupé est, comme toujours dans ces cas -là, il fait appel à Archimède, son conseiller scientifique et stratégique.

Voilà le problème: comment prouver que la couronne n'est pas d'or pur sans abîmer celle-ci? Archimède se creuse les méninges, il cherche et cherche encore, mais rien ne vient, pour se détendre il prend un bain et c'est en se mettant à l'eau qu'il aurait eu l'illumination: Euréka! Euréka! je tiens la solution!

Cette solution, qu'elle est-elle? Tu connais la vieille histoire du kilo de plumes et du kilo de plombs (lequel est plus lourd?), c'est vrai que le kilo de plumes et le kilo de plomb pèsent exactement le même poids mais le sac de plumes d'un kilo occupe un volume bien plus grand que celui du kilo de plomb parce que la densité des plumes et du plomb n'est pas du tout la même. Il en va de même pour l'or et l'argent : l'argent est d'une densité inférieure à celle de

l'or, pour obtenir deux masses de même poids il faut un volume d'argent plus important. Donc, si la couronne est d'or mélangé d'argent son volume doit être supérieur à la même masse en or pur. Pour le vérifier, il suffit de plonger les deux corps de même masse dans l'eau, celui qui fait monter le niveau le plus haut est celui qui possède le volume le plus important.

INGENIEUX MAIS SUREMENT FAUX...

LE PRINCIPE d'ARCHIMEDE 2 (pourquoi ça ne peut pas marcher).

L'histoire que tu as lue précédemment est tenue pour vraie par la plupart des gens et ils s'en contentent. Le principe est juste, mais en fait, il est inapplicable ici. Et voici la démonstration mathématique:

La plus grande couronne en or datant de l'époque d'Archimède que l'on ait retrouvée mesure 18,5 centimètres de diamètre et pèse 714 grammes. Pour faciliter les calculs, on va considérer que le roi Hiéro II avait été très généreux avec la divinité et que sa couronne pesait un kilo (1000 grammes).

La densité de l'or est de 19,3 grammes/cm³. Ce qui nous donne: $1000 : 19,3 = 51,8 \text{ cm}^3$ pour le volume de la couronne en or pur. Si l'orfèvre a remplacé 300 g d'or par de l'argent (alliage à 30% d'argent), en sachant que la densité de l'argent est de 10,6 grammes/cm³, on peut calculer le volume de la "couronne truquée": Il y a 700 g d'or et 300 g d'argent soit $(700 : 19,3) + (300 : 10,6) = 64,6 \text{ cm}^3$. Pour évaluer le volume de la couronne Archimède aurait plongé celle-ci dans l'eau et évalué l'écart entre le niveau de l'eau lorsque l'on plonge la couronne dans le liquide et lorsque l'on plonge un lingot d'or pur de même masse dans l'eau.

Testons cette méthode avec un bocal cylindrique de 20 cm de diamètre. L'aire de l'ouverture du bocal est de 314 cm² (c'est la formule πR^2 avec $R=10 \text{ cm}$), pour connaître de combien de cm s'élève le liquide, il suffit de diviser le volume de la couronne par l'aire de l'ouverture, soit:

$51,8 / 314 = 0,165 \text{ cm}$ pour une couronne en or pur

$64,6 / 314 = 0,206 \text{ cm}$ pour une couronne mélangée d'argent

$0,206 - 0,165 = 0,041 \text{ cm}$ soit 0,41 mm c'est à dire une toute petite différence de niveau, impossible à détecter avec les moyens de mesure dont disposait Archimède.

- Et si la couronne avait été plus légère (ce qui est assez probable) ?
- Et si la quantité d'argent mélangée avait été moins importante (avec plus de 30% d'argent, la couronne aurait paru plus pâle que l'or)?
- Et si le bocal avait été plus large?

--> dans ces trois cas la différence aurait été encore plus minime.

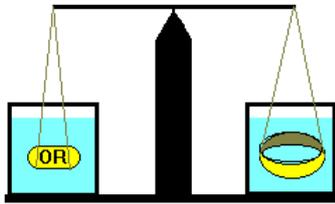
Si l'anecdote est vraie alors c'est une autre méthode qu'Archimède a dû utiliser.

LE PRINCIPE d'ARCHIMEDE 3 (version vraisemblable)

Voici une version modifiée qui satisfait davantage les historiens des sciences (bien sûr, il n'y a aucun moyen de savoir si Archimède a vraiment procédé ainsi, mais au moins ça marche!).

Archimède est connu pour avoir énoncé le célèbre principe selon lequel tout corps plongé dans l'eau reçoit une poussée dirigée vers le haut d'intensité proportionnelle au volume d'eau déplacé. Cette poussée annule en partie ou en totalité le poids des corps (liée à la force de gravité, de sens inverse), les corps plongés dans l'eau paraissent toujours plus légers qu'ils ne le sont dans l'air. Leur poids réel est allégé par la poussée vers le haut qu'ils reçoivent de l'eau.

Le poids apparent dans l'eau est égal à la masse réelle moins la masse d'eau déplacée. Et comme la densité de l'eau est par convention de 1 g/cm³, les calculs sont faciles: il existe une relation d'égalité entre volume d'eau déplacée et masse d'eau déplacée.



Si on accroche aux bras d'une balance d'un côté la couronne de Hiéro II, de l'autre le lingot d'or pur de même poids, les bras de la balance resteront au même niveau exactement (poids identique),

mais si on plonge le lingot et la couronne dans de l'eau, il en va tout autrement.

Avec notre exemple de tout à l'heure :

- Le lingot a un volume de $51,8 \text{ cm}^3$, il déplace donc ce même volume d'eau, son poids apparent sera donc de $1000 \text{ g} - 51,8 \text{ g} = 948,2 \text{ g}$. (car 1 cm^3 d'eau pèse 1 gramme, la densité de l'eau étant de 1 g/cm^3).
- La couronne a un volume de $64,6 \text{ cm}^3$, son poids apparent est donc de $1000 \text{ g} - 64,6 \text{ gr.} = 935,4 \text{ g}$.
- L'écart entre le lingot et la couronne est de $12,8 \text{ g}$, une différence de poids que les balances grecques pouvaient détecter sans problème...

C'est plus probablement cette méthode qui a été mise au point par Archimède pour résoudre le problème de la couronne falsifiée. Vitruve n'aurait eu connaissance que d'une partie de l'histoire, elle lui a été racontée de toute façon longtemps après la mort d'Archimède. Il aurait alors complété les détails manquants avec des éléments de son invention.

... et l'orfèvre dans tout ça? Certains pensent qu'il se serait enfui et se serait reconverti dans le commerce des balances de précisions.

AII.7. Deux approches ‘panoramiques’

AII.7.1. Une histoire générale des sciences

(Chimie, mécanique, électricité, astronomie et lumière)

A. Grille de la séquence une histoire générale des sciences

Thème historique mobilisé	Un survol des idées et découvertes depuis l'Antiquité jusqu'au début du 20 ^{ème} siècle.
Niveau(x)	3 ^{ème}
Type d'activité	Cours
Objectifs spécifiques des moments d'HS (cf. répertoire des objectifs possibles proposé en début de recherche)+	Connaître les grandes idées de certaines époques, les évolutions des idées. Redécouvrir avec les savants du passé les lois qu'on apprend au collège. Revoir les notions du programme. (objectifs 3-2) .
Connaissances et compétences pré-requises	Les notions du programme (c'est mieux)
Situation dans la progression	A la fin de la partie du programme (chimie, mécanique,...)
supports utilisés	Diaporama. Les élèves ont un document résumé « histoire des sciences »
Descriptif :	30 à 45 minutes. Conférence : les diapos sont commentées de vive voix par le professeur. Un élève peut lire certains textes sur l'écran.
Evaluation	Envisageable sous la forme d'une question dans un contrôle.
Eléments bibliographiques	Variés

B. Analyse de la séquence une histoire générale des sciences

- Présentation générale de la séquence

Les élèves sont souvent très intéressés lorsqu'on raconte une anecdote historique. L'idée est de survoler l'histoire de la chimie, de la mécanique, de l'électricité et de l'astronomie. Les élèves de troisième retrouvent des notions apprises, cela permet de situer sur une frise les grandes dates.

- Etapes d'évolutions et modifications

La première version était scindée en deux parties (novembre 2004). Une présentation unique a été faite en 2005, car on peut présenter l'ensemble en 45 min sans que les élèves ne perdent l'attention.

Mise en œuvre

Diaporama.

Les diapos sont commentées, plus ou moins vite en fonction du temps.

Parfois un élève lit un texte sur l'écran, ou bien sur le document du professeur, qui ne dit pas tout ce qui est écrit (c'est plutôt un aide-mémoire)

Les points que les élèves ont appris en cours sont mis en valeur.

Une frise est accrochée au fond de la classe et on s'y réfère à l'occasion.

Pour conclure, les points importants du document résumé sont surlignés.

Bilan : chaque fois, les retours sont très positifs de la part de certains élèves (très souvent, de bons élèves curieux, mais pas uniquement). Le pouvoir des images comme fixation de l'attention est assez grand.

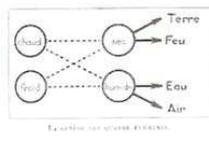
C. Supports de la séquence une histoire générale des sciences

Diaporama chimie

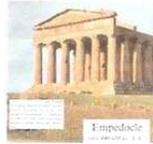
Les trois documents suivants ne sont que les « images » du diaporama sur la chimie, à échelle réduite. Ils permettent de se faire une idée des éléments introduits dans la présentation. Ils sont suivis par le texte lu lors de la séance.



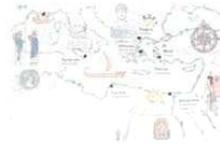
100-Copie de empédocle-texte



102-genèse-4éléments-cc-mas



108-empédocle-temple-agrigente-sicile-gd-jpp



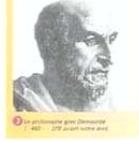
110-carte-antiquité-microsoft-noms



111-4elements-aristote



122-aristote-buste-gd-jpp



125-democrite-portrait



131-4elements-zodiaque



135-1ère-croisade-Pierre-l'ermite-1050-1115-e-unive...



136-le monde arabe 10e siècle-sc&v nov2005



137-aristote-livre-arabe-gd-jpp



138-aristote-chrétienté-gd-jpp



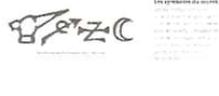
141-alambic-geber-800nathan



142-geber-cc-mas



145-alchimie-labo-texte



150-alchimie-7métaux-psgal



151-alchimie-alchymia-psgal



160-alchimie-flamel-nathan



180-poudre-canon-7s



190-empédocle-peinture-XV-XVIs-heidelberg-gd-jpp



200-van-helmont-portrait-psgal



201-livre-van-helmont-cc-mas



205-distillerie-16s-cc-mas



206-métaux-planètes-cc-mas



210-boyle-elements



213-savonarole-livre-gd-jpp



220-boyle-accidents-chymist-psgal



230-lavoisier-accidents-chymist-psgal



240-stahl-phlogistique-portrait-psgal



250-black-médaille-psgal



255-gel eau fusion glace tholy déc2004



260-black-chaueur-latente



301-cavendish-hydrogene-hist-bordas



301-cavendish-portrait-gd-jpp



315-cavendish-lentilles-gd-jpp

aide-mémoire pour le diaporama

Depuis les origines l'homme a essayé de comprendre et d'expliquer le monde qui nous entoure. Expliquer le feu, pourquoi la glace peut devenir de l'eau...un métal fond... Les explications des Grecs ont eu une grande influence.

La théorie **d'Aristote notamment ! Il reprend les idées d'Empédocle**. Aux quatre éléments d'Empédocle, il rajoute un cinquième élément qui lui ne change pas : il le nomme l'éther. Il se trouve dans les cieux. Aristote est un grand savant. Il a étudié plus de 400 espèces d'animaux (et disséqué une cinquantaine) et c'est à lui qu'on doit le classement en vertébré et invertébré... Ce qui nous intéresse ici, c'est son explication du monde à partir de quatre éléments. Elle aura une influence considérable.

A noter que tous n'étaient pas de son avis : **Démocrite** (Abdère v 460 av J-C – vers -370). La philosophie de Démocrite nous est connue par un exposé d'Aristote (ses ouvrages ont été perdus vers le III^e siècle) : la nature est composée de vide et **d'atomes**, particules indivisibles, éternelles et invariables. Et il n'existe rien d'autre. « rien ne naît de rien » dit Démocrite : les corps naissent de combinaisons d'atomes et disparaissent par la séparation des atomes. Les atomes sont donc « crochus » pour pouvoir se lier...

Après les Grecs, ce sont les Arabes qui font beaucoup évoluer ces connaissances.

L'alchimie

Ils font connaître en Occident les **théories chinoises, notamment l'idée que l'or « potable » assure l'immortalité**.

D'où les nombreuses tentatives des alchimistes pour arriver à fabriquer la fameuse pierre philosophale capable de changer les métaux en or. Cette pierre a aussi la propriété de guérir toutes les maladies, une panacée - (pan-akos-remède universel) - et est considérée comme un élixir de longue vie.

Il faut signaler un alchimiste de renom, **Geber** (Djabir Ibn Hayyan) vers 800 qui enseignait la transmutation des métaux. Les Arabes pensent que les sept métaux connus peuvent se changer les uns dans les autres –fer – cuivre - plomb - étain - vif argent (c'est le mercure) –argent – or (les deux derniers sont des métaux parfaits). De là de nombreuses expériences dans des laboratoires (les laboratoires datent de cette époque). Geber a distillé du vinaigre pour obtenir de l'acide acétique (l'invention de l'alambic date de ces années-là) – (apparition dans la langue française vers 1265 d'après le Robert).

Ça peut nous sembler bizarre aujourd'hui, mais tous les grands savants ont fait des recherches dans le domaine. Newton, entre autres, a fait beaucoup d'alchimie. Et presque tous étaient médecins ou pharmaciens comme Avicenne (en Iran) et Paracelse (né près de Zurich vers 1493, c'était un médecin contestataire, persécuté et nomade).

Les Arabes font aussi connaître la poudre noire en Europe (elle était déjà utilisée en Chine vers 600) et c'est Roger Bacon (1220-1292), un Anglais, qui la perfectionne (elle ne servira dans les feux d'artifice et pour les armes qu'au XIV^e s.

Donc les recherches... les années passent et sans succès.

Van Helmont Jan Baptist (1579-1644) met en évidence un « esprit sylvestre » (esprit du bois) par combustion du charbon de bois et aussi par « *la fermentation du vin, du pain, de l'hydromel* ». **Il imagine le mot gaz-(à partir du latin « chaos » désordre)**. Il identifie aussi d'autres gaz comme « le gaz de sel » qu'il obtient par l'action de l'eau forte (acide nitrique) sur le sel marin (chlorure de sodium) (chlorure d'hydrogène).

« Soixante-deux livres de charbon de chêne donnent une livre de cendre. Les soixante et une livres qui restent ont servi à former l'esprit sylvestre. Cet esprit inconnu jusqu'ici, qui ne peut être contenu dans des vaisseaux ni être réduit en un corps visible, je l'appelle d'un nouveau nom, gaz. Il y a des corps qui renferment cet esprit, et qui s'y résolvent presque entièrement : il y est alors comme fixé ou solidifié. On le fait sortir de cet état par le ferment, comme cela s'observe dans la fermentation du vin, du pain, de l'hydromel. »

Pour Van Helmont l'air était un réceptacle pour toutes les exhalaisons, tous les gaz.

Jean Rey (1583- 1645) dans son « Essais sur la recherche de la cause pour laquelle l'estain et le plomb augmentent de poids quand on les calcine » imagine que « ...l'air s'attache à la chaux (=oxyde résultant de la calcination du métal) et va adhérant peu à peu jusqu'aux plus minces de ses parties... ». L'air serait donc responsable !

On fait donc des découvertes, et la théorie d'Aristote commence à être mise en doute.

Robert Boyle (1627-1691) critique l'alchimie :

« Je voudrais bien savoir comment on parviendrait à décomposer l'or en soufre, en mercure et en sel ; je m'engagerai à payer tous les frais de cette opération. J'avoue que pour mon compte, je n'y ai jamais pu réussir ».

Les quatre éléments, les sept métaux ne suffisent plus à expliquer les connaissances.

On raconte qu'un vol de moucheron l'ayant rendu songeur, il imagina que l'air est constitué de particules, d'éléments en mouvement incessant.

Boyle a l'idée de considérer les éléments comme des corps et non des notions comme Aristote (la terre, c'était une idée et pas le sol des champs...) et que on peut les composer. Ce qui le surprend, c'est que le résultat obtenu n'a pas les mêmes propriétés que le corps de départ.

« Vous composez du savon avec de la graisse et de l'alkali, et pourtant ce savon, chauffé dans une cornue fournit des produits nouveaux également composés, qui ne ressemblent ni à la graisse ni à l'alkali employés ».

Petit à petit cette idée va être reprise et on considère maintenant que c'est vraiment le point de départ de la chimie moderne.

C'est d'ailleurs Boyle qui invente le mot "chimie".

Nicolas Lémery (1645-1715). Son Cours de Chymie a connu un succès prodigieux. Il y rassemble toutes les techniques alors en vigueur. Il essaie de classer les métaux et les « demi-métaux »...

« Le plomb est un métal rempli de soufre et d'une terre bitumineuse qui le rend molasse et fort pliant ; il y a apparence qu'il contient aussi du mercure ; ses pores sont assez semblables à ceux de l'étain ; on l'appelle Saturne à cause des influences qu'on dit qu'il reçoit de la planète de ce nom. »... et aussi *« Je ne crois pas que l'on me conteste que l'acide n'ait des pointes...il ne faut que le goûter pour tomber dans ce sentiment, car il fait des picotements sur la langue... ».*

Vers 1720, Moitrel d'Elément enseignait à Paris un moyen « de rendre l'air visible ». C'est lui qui a imaginé **recueillir les gaz sur une cuve à eau**. A la même époque **Stephen Hales (1667-1761)**, un ecclésiastique anglais, prolonge les cornues par un tuyau de plomb dont l'extrémité débouche sous l'eau. **Ce procédé va se montrer très fécond pour l'analyse des gaz.**

Vers 1700, Stahl (1660-1734), un médecin et alchimiste allemand, introduit la notion de phlogistique. Le feu, c'était toujours quelque chose de mystérieux ; certains corps brûlent et d'autres pas...Le phlogistique (grec : phlogistos=inflammable, phlox =flamme) c'est, pour Stahl, la substance que des corps contiennent pour brûler. Lorsqu'un corps brûle, il perd son phlogistique et il reste un corps déphlogistiqué. Et le résidu obtenu n'est plus combustible.

Cette théorie va avoir de l'importance à cette époque. Elle n'expliquait pas tout mais il n'y en avait pas de meilleure à l'époque.

James Black (1728-1799), né à Bordeaux, fait chauffer de la chaux (carbonate de calcium ou calcite) puis une terre qu'il appelle de la magnésie (carbonate de magnésium) et il constate que les deux corps dégagent un gaz différent de l'air ; il l'appelle « air fixe ».

Et Black montre que des moineaux ne peuvent vivre plus de quelques secondes dans ce gaz. Il montre que c'est le même gaz qui est rejeté lorsqu'on expire. **C'est grâce à son action sur l'eau de chaux que Black identifie ce gaz. (1754).**

C'est lui aussi qui distingue nettement, vers 1760, la quantité de chaleur de la température et il **introduit le terme de chaleur latente (cachée).**

Il découvre aussi qu'en chauffant très fort le calcaire, son poids diminue.

1765 : Henri Cavendish (1731-1810) un très riche noble anglais (« le plus riche des savants et le plus savant des riches »). Né à Nice et très timide. C'est un grand expérimentateur. Il obtient un gaz par action de l'acide

sulfurique sur le fer, sur le zinc (le zinc était connu au Moyen-Âge comme « l'étain des Indes », des laitons sont fabriqués à l'époque des Grecs mais ce n'est que vers 1650 qu'il est identifié) et sur l'étain qu'il récupère dans des vessies de porc. C'est lui le premier à utiliser une cuve à mercure. Ces gaz ont tous la même flamme bleue, les vessies de porc flottent toutes dans l'air. Il pèse tout avec minutie (il utilise beaucoup la balance) et trouve la même densité. C'était en 1766. Il l'appelle « air inflammable » et pense que c'est le phlogistique pur. (Scheele en 1770 en est persuadé également).

Il étudie ensuite la combustion de ce gaz et trouve qu'il se forme de l'eau. Vers 1774, la combustion dans le dioxygène (Priestley vient de le découvrir), donne également de l'eau.

En 1781 il refait l'expérience de la composition de l'eau, (qui avait déjà été faite quatre fois) et il montre que « l'air déphlogistique » de Priestley (l'oxygène) se mélange à deux fois son volume « d'air inflammable » (l'hydrogène) que ce gaz en brûlant avec l'oxygène donne de l'eau. C'est à l'aide d'étincelles électriques (qu'on savait produire depuis peu) qu'il déclenche la réaction ; et il observe de la buée qui n'est autre que de « l'eau ordinaire ».

(il ne publie son travail qu'en 1784 et Lavoisier va lui en disputer la paternité !)

A la même époque, le 1^{er} août 1774, **Priestley (1733-1804) découvre un gaz « capable d'entretenir la combustion avec une vigueur remarquable »** en chauffant de l'oxyde de mercure avec une lentille puis le même (lui semble-t-il) avec du minium (oxyde de plomb). Il l'appelle « air déphlogistique » car il ne peut pas brûler. Il semble que, déjà quelques années auparavant, Carl Wilhelm Scheele, apothicaire suédois, avait découvert ce gaz qu'il avait appelé « l'air du feu ».

Priestley, très habile expérimentateur, pensera jusqu'à sa mort que le phlogistique existe effectivement (comme Cavendish, ...et d'autres).

André Sigismond Marggraf (1709-1782), Allemand, réalise des expériences pour tirer du sucre de la betterave (1745) et la première usine est construite en 1796 en Allemagne et en 1812 en France.

Un autre très grand savant

Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794), représenté avec sa femme. C'est intéressant à noter : un couple qui travaille ensemble dans la science (elle s'est mariée vers 13 ans et après qu'il aura été guillotiné, elle se remariera avec un autre scientifique...pour divorcer...- pour la petite histoire)

En 1772, (à 30 ans à peine) il calcine de l'étain dans un vase rempli d'air et hermétiquement clos. Il observe que le poids total du vase et de son contenu n'a pas changé
que le métal changé en « chaux » a augmenté de poids
que le poids d'air dans le bocal a diminué
que l'augmentation de poids du métal vaut la diminution de poids de l'air

En 1773 il écrit :

« L'importance de l'objet m'a engagé à reprendre tout ce travail, qui m'a paru fait pour occasionner une révolution en physique et en chimie....je me suis proposé de tout répéter avec de nouvelles précautions,...afin de lier ce que nous connaissons.... Avec les autres connaissances acquises et de former une théorie. »

En 1777 il décompose l'air puis le recompose avec cette expérience très célèbre : il a chauffé du mercure pendant 12 jours et il a observé que le mercure fixe à chaud un cinquième de l'air atmosphérique et après, en chauffant le produit obtenu, que ce produit libère une quantité « d'air vital » (oxygène) égale à celle qui avait été fixée dans la première expérience.

L'air perd son statut d' « élément » comme on le pensait depuis Aristote : ce n'est qu'un mélange de deux gaz.

Il a vu aussi que en respirant les animaux consomment cet air vital, qu'ils n'utilisent pas la mofette (c'est comme ça qu'il appelait l'azote) et fabriquent de « l'air fixe » (dioxyde de carbone).

Le 24 juin 1783, Lavoisier et Laplace refont l'expérience de Cavendish avec l'hydrogène (j-e-expo).

Il savait fabriquer de grandes quantités d'hydrogène en faisant passer de l'eau dans le canon d'un fusil chauffé au rouge (l'oxygène fait rouiller le fer et l'hydrogène se dégage). On ne récupérait que « l'air inflammable ». L' « air vital », on le récupérait avec la technique de Priestley.

...et il obtient de l'eau. Quelques semaines plus tard ils lui adjoignent un perfectionnement dû à Monge : l'allumage électrique. Il refait l'expérience inverse en 1784 et écrit en 1785 : « **rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme...** » en pesant tout minutieusement et aussi

« **L'eau n'est point un élément...elle est au contraire composée de deux principes très distincts, la base de l'air vital et celle du gaz hydrogène ...ces deux principes y entrent dans le rapport approché de 85 à 15** »(auj : 16g +2g donc 89% et 11%).

C'est Lavoisier qui comprend bien que l'eau est constituée de ces deux gaz et que ce n'est pas un élément simple comme le disait Aristote...et la théorie d'Aristote n'aura plus beaucoup de défenseurs.

Mais il admettait quand même des « éléments » non pesants comme la chaleur et la lumière, parce qu'ils pouvaient participer à des réactions chimiques.

Lavoisier, aussi, après d'autres, porta son attaque contre la théorie du phlogistique : *l'observation que les cendres de bois sont moins lourdes que le bois après la « perte du phlogistique » alors que Lavoisier a noté que les métaux sont plus lourds après calcination (mercure...).*

« Si tout s'explique en chimie de manière satisfaisante, sans le secours du phlogistique, il est par cela seul infiniment probable que ce principe n'existe pas, que c'est une supposition gratuite » (1785).

Lavoisier, enfin, et la nomenclature (avec tous ces noms différents pour un même gaz) !

Il appuie l'idée de Guyton de Morveau (qui avait déjà publié un essai de noms nouveaux en 1782), et signe avec Berthollet et Fourcroy « **la méthode de nomenclature chimique** » qui paraît en 1787. ... hydrogène parce qu'il engendre l'eau, oxygène parce qu'il engendre les acides (on a découvert après que ce n'était pas toujours le cas, mais on n'a pas changé le terme) presque tout le monde a adopté ces noms (mais *Wasserstoff* pour l'hydrogène et *Sauerstoff* pour « étoffe d'acide » en allemand...) (l'acide muriatique -HCl—était connu mais Lavoisier le croyait oxygéné).

On sait donc que deux volumes d'hydrogène et un volume d'oxygène avec une étincelle donnent de l'eau, que l'eau a perdu son statut d'élément...qu'est-ce donc qu'un élément ? C'est quelque chose qui en s'associant donne quelque chose de plus lourd. On utilise donc la balance.

Gay-Lussac (1778- 1850), un autre physicien français, professeur à l'École Polytechnique (fondée en 1794), a travaillé avec Humboldt grand explorateur de l'Amérique du Sud. Humboldt lui demandait si l'air est partout le même ? **Il monte en ballon avec Biot à 4000m puis seul à 7000m**, prélève de l'air et montre que sa composition est la même (azote $\frac{4}{5}$ et oxygène $\frac{1}{5}$).

Il reprend en 1805 l'expérience de la synthèse de l'eau et refait de nombreuses mesures. Il trouve que ce sont toujours 2 volumes d'hydrogène pour 1 volume d'oxygène qui s'associent et il est étonné par cette simplicité. Pendant trois ans il multiplie les expériences et constate que cette simplicité est générale. En 1808 il établit la **loi selon laquelle les gaz qui se combinent le font dans des rapports simples et entiers.** (« **loi des proportions volumétriques** »). Avant lui, Jeremias Benjamin Richter (1762-1807) avait établi les rapports des quantités nécessaires à la neutralisation des acides et des bases (loi des proportions réciproques 1792-1794) et Louis Joseph Proust (1754-1826) avait montré que les corps entrent en combinaison selon des proportions simples (« loi des proportions définies »).

Sir Humphry Davy (1778-1829) découvre de nouveaux corps grâce à une invention toute récente : la pile électrique. L'électrolyse de l'eau était réalisée en 1806. La même technique lui permet d'isoler en 1807, le potassium, le sodium,...en 1808, le baryum, le strontium...Il échoua sur l'aluminium...

Amédée Avogadro (1776-1850) et André Marie Ampère (1775-1836) ont eu la même idée d'imaginer un « atome » d'oxygène double de sorte que dans l'eau on n'en aurait qu'un seul et surtout **que dans des volumes égaux de gaz différents on a le même nombre de molécules...**

Avogadro en 1811 ; il écrit : «Monsieur Gay-Lussac a fait voir dans un mémoire intéressant que les combinaisons des gaz entre eux se font toujours selon des rapports très simples en volume, L'hypothèse qui se présente la première à cet égard, et qui paraît même la seule admissible, est de supposer que le nombre des molécules intégrantes dans les gaz quelconques, est toujours le même à volume égal,...» (remarque : molécules intégrantes par opposition à molécules constituantes (atomes)).

Ampère en 1814 ; il écrit : « les particules de tous les gaz, simples ou composés, sont placés à la même distance les unes des autres. Leur nombre est proportionnel au volume du gaz ». Le raisonnement était le suivant : les gaz sont compressibles et dilatables et donc ils doivent présenter de grands espaces entre leurs molécules les gaz ont les mêmes lois de compressibilité (Mariotte, Boyle) et de dilatation (Gay-Lussac) et donc doivent présenter le même nombre de « vides ».

Cette idée attendra quelques années pour s'imposer, en 1858 avec l'Italien Cannizzaro(1816-1910).

Dans les mêmes années John Dalton (1766-1844), professeur à Manchester, mène à partir de 1803 un travail sur les proportions pondérales des réactifs, domaine inexploré. Il écrit le 6 septembre 1803 : " An enquiry into the relative weights of the ultimate particles of bodies is a subject, as far as I know, entirely new : I have lately been prosecuting this enquiry with remarkable success. " (« Une recherche sur les poids relatifs des particules ultimes (=atomes) des corps est un sujet entièrement neuf, pour autant que je sache: j'ai récemment pu mener à bien une telle étude»). Et il ajoute quelques valeurs : si H=1, O=5,66 ; N=4 ; C=4,5 et puis l'eau=6,66.

Il imagine ensuite des atomes et des composés d'atomes. Il les nomme et met des symboles, un peu comme pour les éléments d'Aristote ...un « atome d'eau » était pour lui formé de deux « atomes », un d'hydrogène et un d'oxygène. En 1808 il publie ce qu'on retient sous le nom de « loi des proportions multiples » (« *Chemical analysis and synthesis go no farther than to the separation of particles one from another and their reunion. No new creation or destruction...* » et aussi " *it is one great object of this work, to show the importance and advantage of ascertaining the relative weights of the ultimate particles, both of simple and compound bodies, the number of simple elementary particles which constitute one compound particle...* " ("c'est un grand objectif de ce travail, de montrer l'importance et l'avantage d'établir les poids relatifs des particules ultimes, tant des corps simples que des corps composés...").

C'est à Jacob Berzélius (1779-1849), un Suédois, qu'on doit les symboles actuels (1806) : il a pris souvent la première lettre du nom. Il fait la distinction entre chimie minérale et chimie organique, c'est-à-dire « du vivant ». Il essaie de concilier les découvertes sur les volumes (Gay-Lussac) et les résultats des pesées (Dalton) (Dalton avait écrit de Gay-Lussac « ...votre loi ne saurait donc être exacte »). En effet on savait que :

2 vol d'hydrogène + 1 vol d'oxygène donnent de l'eau, 2 volumes d'eau à l'état vapeur

3 volumes d'hydrogène se combinent avec 1 volume d'azote pour former 2 volumes de gaz ammoniac

1 volume d'oxygène se combine avec 2 volumes de monoxyde de carbone pour former 2 volumes de dioxyde de carbone etc... Berzélius retient en 1831 H₂O comme formule de l'eau et NH₃...

En 1823, Liebig, à Paris, étudie le fulminate d'argent et lui attribue la formule CNOAg ; Wöhler, en même temps au laboratoire de Berzélius à Stockholm, se voit amener à donner la même formule au cyanate d'argent. Après de nombreuses vérifications, Berzélius se rend à l'évidence : des corps différents peuvent avoir la même composition. Il crée le nom et la théorie de l'isomérisation.

On a adopté le nom de molécule (qui apparaît en 1674 dans la langue française et signifie « corpuscule ») au début du XIX^{ème} siècle, en 1831, pour désigner les « atomes composés » de Dalton et distinguer atomes et molécules. La distinction précise entre « atome » et « molécule » est due à Antoine Marc Gaudin (1804-1880). Il écrit en 1833 « un atome sera pour nous un petit corps sphéroïde homogène, ou point matériel essentiellement invisible, tandis qu'une molécule sera un groupe isolé d'atomes, en nombre quelconque et de nature quelconque... ».

Et puis Robert Wilhelm Bunsen, un grand physicien allemand a inventé un moyen de chauffage nouveau : le bec Bunsen (1855). Il voulait une flamme incolore pour étudier les flammes colorées (une pointe dans de l'eau salée colore la flamme en jaune...). Il a étudié ces flammes colorées avec le spectroscope (inventé par Fraunhofer en 1814) et a compris avec Kirchhoff que les raies caractérisaient un élément (1859). L'élément absorbe certaines radiations lumineuses dont la couleur et la répartition le caractérisent.

C'est Kirchhoff qui eut l'idée de faire passer la lumière par une fente étroite, pour montrer le grand nombre de raies.

Avec toutes ces avancées, on arrive au milieu du siècle. On avait identifié 63 éléments (c'est nettement plus que 4) et de nombreux savants ont essayé de les classer notamment Lothar Meyer (1869) qui est arrivé à peu près au même classement que le Russe Dmitri Mendeleïev (1834-1907) - il était professeur de chimie à l'université de Saint Petersburg - également en 1869. Il écrit :

« Je vis en rêve une table dans laquelle tous les éléments venaient d'eux-mêmes se ranger à leur place assignée. Réveillé, je notais aussitôt cette table », et aussi « les propriétés des corps simples, comme les formes et les propriétés des combinaisons, sont une fonction périodique de la grandeur du poids atomique ».

Il a même laissé des places libres ... « il faut attendre la découverte de plusieurs corps simples encore inconnus, ressemblant par exemple à Al et Si et ayant en poids atomique compris entre 65 et 75 ». Et c'est ce qui se produisit : en 1875 le Français Lecoq de Boisbaubran (1838-1912) isole un corps de poids atomique 68 qu'il nomme le gallium....

Son tableau a été très riche et est encore utilisé de nos jours, quoiqu'il soit construit sur d'autres bases. Les gaz rares ont été identifiés en 1890 et ont été rajoutés à droite dans une nouvelle colonne.

Le tableau correspond au nombre croissant des électrons...dont personne ne soupçonnait encore l'existence à l'époque.

Autre avancée la chimie organique avec la synthèse de l'urée : on croyait alors que la chimie organique, « **du vivant** », était très différente de la chimie de la matière, qu'une « force vitale » l'anima...

En 1828, Wöhler, un Allemand, écrit à Berzelius « **je parviens à fabriquer de l'urée sans avoir besoin des reins d'un animal** »... Un peu plus tard Von Liebig (1803-1873) dit que la **fermentation peut être considérée comme purement chimique**.

De nombreux nouveaux produits datent de cette époque :

Comme, en **1856**, le premier **colorant** de synthèse, avec la couleur **mauve** de l'Anglais **Perkin**.

Et le **celluloïd en 1870** (par les frères Hyatt, John Wesley Hyatt (1837-1920) pour remplacer l'ivoire des boules de billards de l'époque...).

Le nombre d'Avogadro

En 1865, Joseph Loschmidt (1821-1895), un physicien autrichien, dans un article intitulé « Zur Grösse der Luftmoleküle », arrive à déterminer la taille d'une molécule.

Il exploite les résultats obtenus par Clausius (1858) et Maxwell (1859) dans une nouvelle théorie, la théorie cinétique des gaz : les gaz sont constitués de molécules identiques qui se déplacent dans toutes les directions, sont très éloignées entre elles, et n'interagissent pas, sauf lors des collisions. Ces collisions expliquent la pression, qui correspond au nombre et à la force des chocs... Et la température mesure l'énergie cinétique des molécules.

Il utilise également l'observation qu'un liquide en devenant gazeux prend beaucoup plus de place.

Il arrive à calculer ... et il trouve « un millionième de millimètre » pour le diamètre d'une molécule de l'air (c'est-à-dire 1 nm ; aujourd'hui on donne 0.3 nm).

On en déduira ce qu'on appelle dans les pays anglo-saxons le nombre de Loschmidt (nombre de molécules par cm^3) et on obtient 1.83×10^{18} . (soit 4×10^{22} pour 22.4L) . Il sera rapidement suivi, en 1867, par l'irlandais George Johnstone Stoney (1826-1911).

Aujourd'hui les mesures se sont affinées et on donne 6.02×10^{23} molécules dans 22.4 litres de gaz (ce qui fait 2.69×10^{19} molécules dans 1 cm^3).

George Johnstone Stoney (1826-1911) évalue le nombre d'Avogadro en 1867.

Encore un problème en suspens : on ne sait pas bien expliquer pourquoi le courant circule dans certaines solutions.

Faraday avait déjà observé des réactions lorsqu'un courant passait dans une solution et il a imaginé les mots de « **électrolyse, électrodes et ions (des particules créées et mises en mouvement par le courant)** ».

La théorie de **Svante Arrhénius (1859-1927)**, physicien suédois, est d'admettre qu'un corps comme le chlorure de sodium ...se dissocie tout seul, spontanément, en ion dès qu'il est dissous. On comprend ainsi beaucoup mieux les phénomènes d'électrolyse...

C'est Søren Peter Lauritz Sørensen (1868-1939), chimiste danois, - il travaille beaucoup sur cette théorie des ions-, qui préconise en 1909, l'utilisation de l'indice connu sous le nom de pH pour mesurer l'acidité d'un milieu.

La compréhension de la chimie, avec ces notions d'atomes et d'ions, est tellement fructueuse qu'on invente des nouvelles molécules : 1907 la bakélite, 1930 le nylon...

En 2003 on dénombre 120 000 nouvelles molécules ; on en fabrique environ 1000 par an...et on se pose la question : ça va donner quoi ? (conf « eau » Epinal 30.1.04) « Aux Etats-Unis, il y a un an déjà, des chercheurs de l'université de Baylor (Texas) avaient repéré dans le foie, les muscles et le cerveau des poissons du coin des traces d'antidépresseurs dont le célèbre Prozac, rejetés par les chasses d'eau. Plus récemment, une enquête menée par la commission européenne dans sept pays dont la France, a montré la présence de 36 substances médicamenteuses dans les rivières, provenant des pilules contraceptives, des antibiotiques, des traitements en chimiothérapie...Quid de l'eau du robinet ? » (Canard enchaîné 18/08/04).

N'oublions pas qu'en 1950-1960 les bouteilles étaient en verre, les bassines en tôle galvanisée, les tonneaux en bois...

AII.7.2. Une histoire de la vision

A. Grille de la séquence une histoire de la vision

Thème historique mobilisé	Histoire de la vision
Niveau(x)	5ème
Type d'activité	cours
Objectifs spécifiques des moments d'HS (cf. répertoire des objectifs possibles proposé en début de recherche) +	Montrer que l'évolution des connaissances est lente. uéHécouvrir (m)1715585(e)3.74(s)

B. Analyse de la séquence une histoire de la vision

Présentation générale de la séquence

Il est intéressant de raconter aux élèves de 5^{ème} une petite histoire. Ils découvrent que les connaissances évoluent et que les explications actuelles ont mis du temps à être construites.

Suit une expérience sur les sources primaires et secondaires.

Déroulement

Un objet est posé sur le bureau : pourquoi le voit-on? Comment ça marche ?

Récolte des différents avis

Distribution du document : cela n'a pas été simple d'expliquer le phénomène.

Un élève lit à haute voix et le professeur commente :

- *Référence au « feu », qui était un des quatre éléments, avec l'air la terre et l'eau. Et puis on a longtemps pensé que les chats voyaient la nuit (l'illustre Descartes également)...on ne s'en sert pourtant pas comme lampe de poche pour aller à la cave...*
- *Rappel des cinq sens : l'ouïe (le bruit vient de l'extérieur), l'odorat (les odeurs viennent de la cuisine jusqu'à notre nez), le goût, le toucher*
- *Rôle de la pupille*
- *La rétine*
- *Young, un surdoué : à 13 ans il parle déjà le latin, le grec, le français et l'italien. Il apprend également l'hébreu, le persan, l'arabe, le chaldéen, le syriaque, le turc. Mais Young est dilettante et Laplace regrette qu'il n'ait jamais bien compris la différence entre un simple aperçu et une véritable démonstration. [Boudenot 2000]*
- *Depuis, on a eu la confirmation que la rétine comporte trois types de cônes, sensibles à ces trois couleurs, c'est tout. On en reparlera en quatrième.*

Quelques élèves demandent une explication pour les nombres négatifs.

L'expérience qui suit revient sur les sources primaires et secondaires. Tp : les objets diffusants.

C. Support de la séquence une histoire de la vision

Texte du diaporama histoire de « optique - vision - lumière »

Dans l'Antiquité, pour expliquer la vision deux théories se sont côtoyées :

* celle d'**Aristote** dans le « traité de l'âme » (et non de biologie ou de physique...) et avec lui les philosophes grecs Leucippe (-460 v-370), Démocrite, et puis chez les Romains surtout Lucrèce(v-98 – v-55) : **quelque chose se détache de l'objet et rentre dans l'œil**, une sorte de « simulacre », pour les atomistes grecs des « eidola ». C'est la théorie « du feu externe ».

* et puis la théorie d'Empédocle, de Platon(v-428 - v-348), des stoïciens, d'Euclide, des pythagoriciens, d'Hipparque(grand astronome Grec du II^{ème} siècle av JC): **quelque chose est émis par l'œil...un « rayon visuel »** (ce que croient les enfants de 5ans à 80% : « j'envoie quelque chose », contre 20% « des petites poussières qui partent de l'objet »). C'est la théorie du « feu visuel ».

Euclide (-330 -270), qui enseigna à Alexandrie, parle d'un « quid » qui sort des yeux (dans son traité d' *Optique géométrique et Catadioptrique* , il introduit la notion de rayon lumineux, les principes de la propagation rectiligne et de retour inverse de la lumière, et donne la loi de la réflexion, s'intéresse à la réfraction...). Son livre a eu un succès considérable et on l'étudiait encore sept siècles plus tard. C'est à cette époque qu'on attribue à Archimède l'utilisation des miroirs ardents pour mettre le feu aux navires romains qui assiègent Syracuse en -212.

Les deux théories coexistent et il y a débat : Aristote réfute la deuxième en disant que si on envoie de la lumière, on verrait la nuit.

Et Platon répond que ce « rayon » n'est pas le « feu » car la nuit, il s'éteint !

Pour Aristote, tous les sens doivent fonctionner de la même façon c'est-à-dire réagir à un agent extérieur !

Pour lui, les couleurs ne sont qu'un affaiblissement de la lumière pure qui est blanche initialement.

L'arc-en-ciel a trois couleurs : rouge, vert et violet. Ptolémée en verra sept !

Même si l'homme ne sait pas expliquer les couleurs, il arrive à les créer et les fixer. Les Égyptiens (le plus ancien livre connu est le papyrus Prisse d'Avennes qui date de 2600 av. J-C) écrivent avec de l'encre noire, dispersion de noir de fumée dans l'eau. Avec la même technique, ils dispersent des pigments rouge (pour les intertitres (= rubrique), vert et bleu. Les Romains sauront teindre le chanvre, le lin, la laine en rouge avec de la garance (plante herbacée dont la racine est rougeâtre), en jaune avec de la gaude (une variété de réséda aux fleurs jaunes) ... et en pourpre. Les empereurs romains se réserveront cette teinture pourpre, connue déjà des Perses, pour deux raisons : son coût élevé (il faut près de 10 000 mollusques- des murex- pour obtenir un gramme de colorant, et surtout sa beauté, que Vitruve dit « être la plus précieuse et la plus agréable à la vue ».

Le cinabre, sulfure de mercure HgS, est un des pigments les plus onéreux de l'époque romaine et en exhiber sur de grandes surfaces est un signe de richesse... Avec la chute de l'empire romain, de nombreux savoir-faire tomberont dans l'oubli.

Héron d'Alexandrie (1^{er} siècle) compose une « Catoptrique » où il étudie les phénomènes de réflexion sur des miroirs plans concaves et convexes : il pose en principe que la lumière suit le plus court chemin et établit que les angles d'incidence et de réflexion sont égaux.

Au VII^{ème} siècle, avec l'invasion arabe, la capitale intellectuelle du monde se déplace d'Alexandrie à Bagdad.

Vers le 11^{ème} s, on retient le nom de **Ibn al-Haytham (965- 1039** Le Caire) plus connu en occident sous le nom d'**Alhazen**, grand physicien et philosophe iranien qui est le Ptolémée des arabes.

Contrairement à Euclide, il attribue à la lumière une origine extérieure à l'œil, tout en reprenant le concept de rayons lumineux.

Son livre – *Opticae thesaurus Alhazeni Arabis*- sera consulté jusqu'au XVII^{ème} siècle. Il y étudie en particulier la réflexion sur les miroirs plans, concaves, sphériques, coniques... Il l'explique par la modification de la vitesse de la lumière lors des chocs avec les corps rencontrés. Le choc entre la lumière et les corps cause la réflexion. Il étudie aussi la lumière obtenue avec des écrans colorés...). **L'objet envoie des « rayons », une « lumière secondaire » (terme d'Alhazen).**

Il décrit de façon correcte l'œil : par exemple, il connaît le rôle de la pupille comme régulateur de lumière

Il distingue vision et éclaircissement : il pense que la rencontre avec l'œil est douloureuse : « un homme voit quand la quantité de lumière n'est ni trop forte ni trop faible » .

Il étudie aussi la réfraction. Ptolémée avait déjà réalisé des mesures (en astronomie)

Il montre en particulier que les rayons réfléchis et réfractés sont dans le plan d'incidence.

| Les lentilles étaient connues depuis l'Antiquité :

La plus ancienne lentille jamais découverte date de 700 av J-C. C'est une lentille plan-convexe provenant des ruines de Ninive (ancienne ville d'Assyrie, aujourd'hui, l'Iraq).

Plus tard vers 400 av J-C, l'existence de « sphères ardentes » en cristal de roche ou en émeraude est évoqué par Aristophane (v-257- v-180), qui dirigea la bibliothèque d'Alexandrie où il fut le maître d'Aristarque.

Sénèque, écrivain et homme politique romain (v4 - 65 ap J-C) (précepteur de Néron, qui plus tard l'obligera à se suicider) mentionne que les objets sont vus plus gros et plus distincts lorsqu'ils sont observés à travers une sphère pleine d'eau.

A la même époque, Pline l'Ancien (23-79), surtout connu pour son *Histoire naturelle*, vaste encyclopédie des connaissances de son temps (il est mort en portant secours aux habitants lors de l'éruption du Vésuve en 79), rapporte que des lentilles de verre étaient utilisées pour la mise à feu.

A Rome les vestales, prêtresses chargées d'entretenir le feu sacré, les utilisaient pour raviver le feu sacré et les médecins concentraient la lumière du Soleil pour cautériser les plaies.

...

et le premier tableau avec un porteur de lunettes pour corriger la presbytie date de 1352, dans l'église de Tréviso (près de Venise). Les premières lunettes de vue sont construites de façon empirique en 1285.

En Angleterre, Bacon (1214-1294) fait des expériences avec les lentilles et découvre (ou redécouvre ?? Alhazen) les foyers des miroirs concaves. Toutefois, pendant trois siècles, les « lentilles de verre » sont jugées indignes de considération et peu étudiées. (jcb)

Mais ce seraient des enfants qui en jouant dans l'atelier des parents auraient découvert la propriété grossissante---1604 (artisans de Middelburg en Hollande : Jansen, Metius et Lippershey) (lunette à objectif convexe et oculaire concave grossissement : 3x). Le brevet est déposé en France en 1608.

Les microscopes apparaissent dans les mêmes années et ceux de Van Leeuwenhoek sont encore célèbres aujourd'hui. C'est lui qui a observé le premier « d'étranges petits animalcules » dans de l'eau prélevée dans un étang.

L'arc-en-ciel : les couleurs et la réfraction.

Dans la Bible, l'arc-en-ciel est un signe d'alliance entre Dieu et l'homme : il annonce à Noé la fin du Déluge.

L'apparition de spectres lumineux à l'aide d'un prisme de verre est connue depuis l'Antiquité. Sénèque (Rome v4 - +65) l'avait comparé à l'arc-en-ciel.

Dietrich de Freiberg (vers 1310 ?) étudie l'arc-en-ciel et par des expériences sur un globe transparent, il établit qu'une partie de la lumière est réfléchi par la surface arrière de la goutte avant d'émerger. Il établit encore que les couleurs observées viennent de gouttes différentes et que la lumière peut subir deux réflexions avant d'émerger pour former le deuxième arc.

Il pense que les couleurs ne résident pas seulement à la surface des corps. Pour lui, il existe quatre couleurs : jaune, rouge, vert et bleu qui se répartissent entre le blanc et le noir.

Le Persan Kamâl al-Din mort en 1320 continue l'œuvre d'Alhazen et explique de façon fort juste le phénomène de l'arc-en-ciel .

Dès le XIIIème siècle le polonais Witelo, qui séjourne en Italie et étudie Aristote, est l'auteur d'un ouvrage où il expose les lois de la propagation de la lumière, de la réflexion et de la réfraction : il propose $i/n = \text{constante}$.

Il faut attendre le XVIe siècle pour que Francesco Maurolico de Messine(1494-1575) réintroduise la réflexion de la lumière solaire sur la surface arrière des gouttes...

Giambattista della Porta (1535-1615) pense que seule la réfraction explique l'arc-en-ciel...il conserve l'idée d'Aristote sur les couleurs (...un affaiblissement progressif).

Johannes Kepler en 1604 édite un traité célèbre « Ad Vitellionem paralipomena ». C'est lui qui jette les bases de l'optique moderne : il étudie la réfraction surtout lorsque l'un des milieux est l'air, l'autre le verre. Le rayon a tendance à se rapprocher de la normale dès qu'il se propage dans le verre. Et il arrive à expliquer la propagation de la lumière dans une lentille (dioptrique sphérique et dioptrique plan). Il n'arrive pas à trouver la loi et se bornera à conclure que pour les angles inférieurs à 30° le rapport des angles i/r était constant.

Thomas Harriot (1598), **Snell 1625 puis Descartes 1637 comprennent que c'est le rapport des sinus des angles qui est constant**. C'est la loi de Snell-Descartes.

Le Français René Descartes (1596-1650) s'interroge sur la formation de l'arc-en-ciel et donne une explication originale : la lumière serait un globule qui pourrait tourner sur lui-même. Le rouge est associé aux globules qui tournent vite et le bleu à ceux qui ont moins de force. La lumière se propagerait instantanément : une pression « comme tremblante » qui se transmet par l'intermédiaire d'un milieu en un instant du corps lumineux jusqu'à l'œil. Il reprend les expériences de la fiole remplie d'eau : pour lui la courbure des gouttes d'eau n'intervient pas ! C'est à la surface du prisme (ou de la goutte) que la nature de la lumière est modifiée !

Descartes découvre la rétine où se forme l'image, mais n'élucide pas le rôle du nerf optique. Et puis dans son traité « dioptrique », il écrit « les chats, comme chacun sait, émettent leur propre lumière » !

En résumé : on ne sait pas si la vitesse de la lumière est finie ou infinie, on ne connaît pas sa nature.

Fermat va aussi expliquer la réfraction mais en supposant cette fois que la lumière suit le trajet qui correspond au temps de parcours minimal. Il imagine donc que la vitesse de la lumière est finie.

Une analogie permet de bien comprendre : considérons un maître nageur situé sur la plage en A et devant secourir un nageur situé en B. Pour mettre le temps minimum pour parcourir le trajet AB, il ne prendra pas la ligne droite (mais son trajet sera tel que $v(\text{course}) \sin(i_1) = v(\text{nage}) \sin(i_2)$).

Galilée essaie de mesurer la vitesse de la lumière. Jusqu'alors, on pensait que la propagation de la lumière était instantanée : « ne suffit-il pas d'ouvrir les yeux pour voir des objets aussi éloignés que des étoiles ? » disait-on. Un assistant doit lui montrer une lanterne sur la colline voisine et déclencher une horloge ; Galilée doit lui montrer la sienne dès qu'il aperçoit la flamme et son assistant doit arrêter l'horloge en apercevant la leur... Il en avait déduit que la vitesse de la lumière était soit infinie, soit trop grande pour être mesurée.

Newton apporte sa contribution.

Les premiers travaux de Newton en optique datent de 1666, l'une de ses « anni mirabiles ». (à cause de la peste, il s'était retiré dans sa maison natale et s'y adonnait à la réflexion et à la science).

« En l'an 1666,...je me suis procuré un prisme triangulaire en verre pour faire des expériences sur les fameux phénomènes des couleurs. Après avoir fait l'obscurité dans la chambre et percé un trou dans le volet pour laisser pénétrer une quantité convenable de lumière solaire, j'ai placé mon prisme devant l'ouverture afin que la lumière soit réfractée sur le mur opposé. Ce fut d'abord un divertissement très plaisant de contempler les couleurs vives et intenses ainsi produites. Mais, au bout d'un moment je me mis à les examiner plus soigneusement... ».

Newton monte un dispositif dans lequel un premier prisme disperse et un second ne reçoit qu'une seule couleur : il établit qu'une couleur séparée n'est plus étalée par le second prisme. Il mesure également l'indice de réfraction de chaque couleur.

« Newton dispose deux prismes perpendiculaires l'un par rapport à l'autre sur le trajet d'un même rayon et ne constate pas d'augmentation de la largeur de l'image. Par contre, le violet est plus dévié que le rouge par les deux prismes.

----- Il isole ensuite un pinceau coloré produit par un premier prisme et le fait tomber sur un second prisme. Si la couleur est produite par la surface (comme le pensait Descartes), on devrait retrouver toutes les couleurs à la sortie du second prisme. Conclusion : les couleurs ne sont pas un effet des surfaces traversées par la lumière.

----- Pour prouver que les couleurs font partie de la lumière (comme le pensait Dietrich) il regroupe les faisceaux colorés produits par un premier prisme éclairé par le soleil, à l'aide d'un second prisme. »

Il appelle l'image obtenue après un prisme « spectre solaire » et comprend que la lumière du soleil est composée de sept couleurs qui en se mélangeant donnent pour l'œil du blanc. Newton invente le « disque de Newton » divisé en sept parties – comme les sept notes de la gamme- (rouge orangé jaune vert bleu indigo et violet). Lorsqu'il tourne l'œil perçoit du blanc. Les couleurs obtenues par le prisme sont donc de même nature que celles observées avec le disque ou dans d'autres circonstances.

C'est à la suite de ses études sur la dispersion (qui limite la performance des lunettes) qu'il entreprend de perfectionner le télescope en 1670-1671, après avoir repris les idées de Mersenne et de James Gregory (Écossais 1638-1675) : au lieu de deux lentilles, un miroir parabolique suffit (plus un miroir plan et comme avantage il n'y a pas d'aberrations chromatiques). C'est Huygens qui publie la première description du télescope de Newton le 29 mars 1672.

Le travail de Newton sur les couleurs est remarquable : *chaque couleur existe par elle-même et ce n'est pas du blanc plus ou moins atténué !*

Mais qu'est-ce que la couleur ? Des globules comme le pensait Descartes ? des ondes comme le pensait Huygens ? Pour Newton la lumière ne peut pas être une onde et il penche plutôt pour des corpuscules....et pour chaque couleur, ils ont une masse différente (il faut dire qu'il était influencé par sa théorie de la mécanique ...1687).

Grimaldi (1618-1663) s'en prend à Descartes et aux philosophes : « nous sommes sincères, nous ne savons pas quelle est la nature de la lumière, et de s'en tirer avec de grands mots vides de sens est une imposture ».

Il observe que, lorsqu'un fin pinceau de lumière tombe sur un obstacle (fil, cheveu), les régions à la limite de l'ombre et de la région éclairée présentent des franges alternativement sombres et brillantes. Il appelle diffraction ce « nouveau mode de propagation ». Sa découverte est publiée en 1665 à titre posthume.

Quatre ans plus tard Erasmus Bartholin (1625-1698), Danois, découvre que l'image d'un objet vu à travers du spath d'Islande, un cristal de calcite que des marchands lui avaient donné, était dédoublée. L'un des rayons suit la loi de la réfraction (c'est le « rayon ordinaire ») et l'autre ne la suit pas ! (C'est le « rayon extraordinaire » -il l'avait appelé « rayon mobile »).

Diffraction et double réfraction compliquent la tâche d'explication de la lumière.

Römer un astronome danois qui vient à Paris (Académie des Sciences) sur les conseils de l'abbé Picard. Il observe à Paris avec Cassini les satellites de Jupiter.

Römer observe que Io est périodiquement caché par Jupiter. Ce mouvement est très précis. On connaît avec exactitude la durée de sa révolution (42h 28min 35s) et on espère l'utiliser pour que les marins puissent avoir l'heure et connaître ainsi leur longitude (ce qui pose problème à cette époque : si on connaissait l'heure du port de départ, on pourrait la comparer à celle du cadran solaire et ainsi déterminer la longitude). Cassini fait des tables de calcul et ils constatent tous deux qu'il y a des différences avec les prévisions. Römer comprend (1676) qu'elles sont dues au temps que met la lumière pour venir jusqu'à la Terre : en effet la distance Terre-Jupiter varie...Huygens fait le calcul et trouve environ 210000km/s. Newton trouvera un peu plus.

Conclusion : la lumière met un certain temps pour traverser un espace. Elle a une vitesse finie.

Huygens pense que la lumière se propage comme une onde (par comparaison aux ondes dans l'eau), et que chaque point atteint devient une source secondaire.

Les ondes acoustiques ont mobilisé les plus grands esprits et les notions de fréquence et de période sont parfaitement maîtrisées. Le concept d'ondes sonores fut bien accueilli, contrairement aux ondes lumineuses.

Il explique avec sa conception d'ondes la réfraction et même, chef-d'œuvre, la double réfraction du spath d'Islande. Leibniz, grand mathématicien, lui écrit en 1690 : « ...quand j'ai vu que la supposition d'ondes...vous sert avec la même facilité à résoudre...j'ai passé de l'estime à l'admiration ».

Son *Traité de la lumière* paraît en 1690 : « j'écrivis ce traité pendant mon séjour en France, il y a 12 ans, et je le communiquais en l'année 1678 aux personnes savantes qui composaient alors l'Académie royale des Sciences, à laquelle le Roi m'avait fait l'honneur de m'appeler ». Louis XIV lui versait une pension.

Il a aussi perfectionné le télescope et observé les anneaux de Saturne que Galilée avait pris pour des oreilles. Il invente la première horloge à balancier.

Donc la lumière se déplace et va très vite elle est composée de différentes couleurs mais onde ou corpuscule ?

Newton a tellement marqué son époque et sa mécanique fonctionnait si bien qu'on a cru qu'il avait également raison sur la nature corpusculaire de la lumière qui expliquait bien certains phénomènes. Ce qui explique qu'elle domine le XVIII^e siècle.

Thomas Young (1773-1829) est un enfant prodige (à 13 ans il sait déjà le latin, le grec, le français et l'italien...)

Young pense que la lumière est une onde comme Huygens. Il réalise des expériences et en 1801 il a l'idée de faire sa fameuse expérience des « trous d'Young » : lorsque la lumière est diffractée par deux trous percés dans un écran, des franges sombres et brillantes apparaissent dans la zone d'intersection des deux faisceaux lumineux. De la lumière ajoutée à de la lumière produit de l'obscurité ! La théorie ondulatoire marque des points.

Young étudie aussi la perception des couleurs et il l'explique par l'existence de « trois nerfs rétinien respectivement rouge, vert et violet » (1801). Il participe aussi à la compréhension des hiéroglyphes des papyrus égyptiens (que traduira Champollion).

John Dalton est aussi célèbre pour son étude de l'anomalie de la vision des couleurs : il l'a étudiée sur sa propre vision (le daltonisme est la non perception d'une couleur. Il pense également qu'il y a trois « nerfs » pour trois couleurs de base.

Puis ce sera le phénomène de **la polarisation** de la lumière qui va être au cœur du débat entre onde et corpuscule. **Etienne Malus**(1775-1812) observe à Paris en 1808 : « si l'on fait tomber un faisceau de lumière sur la surface de l'eau stagnante, et sous l'angle de 52°54' avec la verticale, la lumière réfléchie a tous les caractères d'un des faisceaux produits par la double réfraction d'un cristal », à savoir qu'en tournant la calcite dans son plan, l'une puis l'autre image s'éteignent.(jcb) (ce qu'avait déjà observé C Huygens en 1690).

Arago et Fresnel vont faire triompher la théorie ondulatoire : en 1823 Fresnel achève son mémoire sur les lois relatives aux modifications que la réflexion imprime à la lumière polarisée...il fait intervenir la polarisation du faisceau incident, l'angle d'incidence et l'indice de réfraction.

Et puis on n'avait pas encore réussi à mesurer **la vitesse de la lumière sur Terre**.

Hippolyte Fizeau et **Léon Foucault** s'y attellent. C'est Fizeau qui y parvient le premier en 1849.

Une lampe puissante (« à gaz oxygène et hydrogène ») envoie la lumière sur un miroir semi réfléchissant qui l'envoie vers un miroir placé à Montmartre (distant de Suresnes où il habite de 8633m), puis la lumière revient. Pendant ce temps, une roue dentée tourne (elle est entraînée par un lourd poids suspendu à un tambour et qui met en rotation tout un jeu d'engrenages et deux compteurs de tours) et lorsqu'elle tourne à une certaine vitesse (12,6 tours par seconde), le rayon à son retour est bloqué par la dent. Donc pour faire les 17km il a fallu le temps que met la roue pour passer de creux à bosse (1/1440 tour) ; donc $1/(1440 \times 12,6) = 0,0000551s$ ce qui donne une vitesse de $2 \times 8633m / 0,0000551 = 31300000m/s$. Valeur voisine de celle qui était obtenue par l'astronomie (Römer).

L'année suivante c'est son compère qui y parvient. **Léon Foucault** (Paris 1819-1868) (celui du pendule du Panthéon 1851). Il la détermine par une autre méthode (celle du miroir tournant....).

En 1850 Foucault reprend le principe de l'expérience qu'Arago avait tenté d'effectuer en 1838. Un faisceau de lumière tombe sur une mire transparente puis sur un miroir tournant à grande vitesse (800 tours par seconde) qui le dirige alors vers un second miroir fixe et distant de 4 mètres du précédent. Après réflexion la lumière revient vers le miroir mobile, qui entre-temps s'est déplacé d'un angle très faible, l'image de la mire est décalée d'autant. Le dispositif est également composé d'une « seconde voie » ; entre un autre miroir fixe et le même miroir mobile est interposée une colonne d'eau contenue dans un long tube. Ainsi est-il possible de comparer la vitesse de la lumière dans l'air et dans l'eau. Le 27 avril 1850 il réalise l'expérience. Cette expérience « cruciale » a donné le verdict : la vitesse de la lumière est moindre dans l'eau. C'en était fini de la théorie de Newton (car elle induisait l'inverse). La même méthode a permis de donner en 1933 une vitesse de 299796 km/s à 4km/s près. (Aujourd'hui la vitesse de la lumière dans le vide est 299792,458km/s). Il faut associer à la réussite de ces deux expériences Gustave Froment qui après avoir mis au point le système des roues dentées de Fizeau, réussit également à faire tourner le miroir de Foucault en utilisant une petite turbine (24 aubes minuscules) entraînée de façon très régulière par une petite machine à vapeur.

La photographie :

La sensibilité des sels d'argent à la lumière a été découverte en 1725 par un médecin allemand J.H.Schulze. En 1802 l'Anglais T. Wedgwood obtint des tirages non permanents par contact sur des papiers au nitrate d'argent.. En 1816 le Français Nicéphore Niepce obtint les premiers tirages héliographiques (gravures par l'effet des rayons solaires) sur du papier rendu photosensible avec du chlorure d'argent. Mais ne parvenant pas à fixer cette image il chercha d'autres supports et réalisa la première photographie en 1826, sur de l'étain sensibilisée au bitume de Judée. A partir de 1835 Louis-Jacques Mandé Daguerre (1787-1851) perfectionna un procédé qui consistait à sensibiliser une plaque de cuivre avec de l'iodure d'argent, et à développer l'image grâce aux vapeurs de mercure. Il obtint des résultats remarquables, ramena à vingt minutes la durée d'exposition et quand elle baissa à moins de trente secondes les demandes d'appareils photo augmentèrent. Mais les défauts (une plaque métallique par photo, chaque photo était unique, images représentées comme dans un miroir) de cette technique la feront abandonner au profit de celle de l'anglais W.H.Fox Talbot qui produisit un papier sensibilisé avec du chlorure d'argent, et réalisa des photographies par la méthode calotype (de son invention) : obtention de négatif, dont il fallait huiler le papier pour le rendre semi-transparent... A partir de ce moment, les progrès seront considérables –négatifs positifs...

Fraunhofer invente le spectroscope (« en utilisant un collimateur devant la fente, un réseau de diffraction qu'il a inventé pour remplacer le prisme et une lunette pour observer le spectre ») et observe en 1814 le spectre de raies du soleil (ces fameuses raies sombres avaient été observées par W.H. Wollaston quelques années avant (1807 ?) qui en avait compté 7).

Vers 1855 **Bunsen invente son bec**. Il voulait une flamme incolore pour y faire brûler des substances (... une tige trempée dans l'eau salée donne une flamme jaune).

Avec Kirchhoff en 1859, ils observent les spectres et ils découvrent que **les raies des spectres sont caractéristiques du corps** ; ils appliquent cette technique pour analyser des corps.

Il invente aussi une trompe à eau.

Helmholtz invente l'ophtalmoscope (1852) qui fait faire de grands progrès à la thérapeutique de l'œil. Il redécouvre et développe les théories de Young sur les trois couleurs fondamentales : le rouge, le vert et le violet.

Aujourd'hui l'œil est mieux connu. Young et Helmholtz avaient raison : à noter que les cônes L (long wavelengths) qui sont plus sensibles au jaune et rouge représentent 60% du total des cônes, les « verts » 30% et les « bleus » 10%.

C'est lui aussi qui fait une distinction entre mélanges « pigmentaires » et mélanges de « radiations ».

Les peintres avaient en effet observé que les couleurs « primaires » pour eux étaient le rouge, le jaune et le bleu. A noter la contribution de Eugène **Chevreul** (1786-1889), professeur de chimie et directeur des teintureries à la Manufacture des Gobelins, qui imagina une théorie des couleurs fondée sur l'emploi des cercles chromatiques.

Maxwell (1831-1879) reprend les expériences de ses prédécesseurs et les ordonne : la perception des couleurs est assurée par le jeu de trois couleurs primaires, le rouge, le vert, le bleu. Il réalise la première photographie en trichromie à travers trois plaques en noir et blanc...Ce seront les bases théoriques de la reproduction des couleurs.

Maxwell a aussi fait des travaux sur le mélange des couleurs (trois couleurs et vision, et additivité des couleurs) (médaille Rumford en 1860).

Maxwell pense comme Faraday que l'espace entourant un corps chargé électriquement est entièrement parcouru par des lignes de force, découvre un rapport avec le champ magnétique. Après de longues années d'élaboration, il imagine une forme mathématique valable pour les deux phénomènes (équations de Maxwell) ; c'est l'origine du mot électromagnétique. Il démontre que la vibration d'une charge électrique provoque un champ électromagnétique et il prétend que la lumière devait être une sorte de rayonnement électromagnétique (1865, théorie qu'il développe en 1873). Ce sera Hertz qui le vérifiera expérimentalement un peu plus tard (1887).

La lumière est donc une onde électromagnétique et certainement pas un corpuscule !

L'effet photoélectrique : découvert par Hertz en 1887. Lorsqu'on éclaire une plaque de zinc par une lampe à vapeur de mercure, il est possible de lui arracher des particules chargées. Cette émission dite photoélectrique ne s'observe que si la fréquence des rayonnements est suffisamment grande. Ce sont les ultraviolets de la lampe qui permettent d'arracher des électrons et il existe une fréquence seuil en-dessous de laquelle il est impossible d'observer l'effet photoélectrique !!!

Wilhelm Hallwachs montre en 1888 que beaucoup de substances ont la propriété d'émettre des électrons lorsqu'elles sont frappées non seulement par des UV mais aussi par la lumière visible.

En 1892 les physiciens allemands Hans F. Geitel et Julius Elster ont inventé la cellule photoélectrique, qui, en collectant les électrons arrachés par la lumière, fournit une tension électrique.

Combattue avec raison pendant un siècle, une idée renaît en 1905 avec Albert Einstein : celle des « grains » de lumière. De simple artifice de calcul, le « quantum » d'énergie de Max Planck devient la seule théorie capable d'expliquer les mystères du corps noir et de l'effet photo-électrique.

C'est Einstein qui expliquera l'effet photo-électrique en 1905 (prix Nobel en 1921) en introduisant la notion de quantité indivisible d'énergie ou quantum d'énergie. C'est Lewis qui lui donne le nom de « photon ». Chaque photon transporte une énergie donnée, qui vaut $h\nu$ (h constante de Planck et ν la fréquence du rayonnement). (Relation de Planck-Einstein). Mais la nouvelle particule n'a rien à voir avec celle de Newton, qui avait une masse liée à sa couleur, et qui subissait l'attraction gravitationnelle.

Faut-il ranger Fresnel (les ondes)? C'est Louis de Broglie qui montrera qu'ondes et corpuscules sont comme deux faces d'une même monnaie, toujours associées et il généralise cette dualité à toutes les particules ! Confirmation en 1927 : Davisson et Germer diffractent des électrons.

Quelques applications de l'effet photoélectrique : la photocopie, les cellules photovoltaïques...

La lumière est donc à la fois onde et particule ! (onde ou particule selon le problème à résoudre).

Michelson (1852-1931) fit ses premières expériences sur la vitesse de la lumière en 1882. Il trouva 299760 km/s (ce sera la valeur la plus précise durant 50 ans).

Pour vérifier l'effet de l'éther sur la lumière, il imagina d'envoyer un faisceau lumineux divisé en deux dans deux directions perpendiculaires puis de les réunir. Il pensait qu'il observerait des interférences. Comme il n'en observait pas, il s'associa avec son ami Morley pour avoir plus de précisions...toujours rien ! La conclusion de nombreux savants dont Einstein fut à propos des vitesses relatives Terre-éther que l'éther n'existait pas...et que la lumière se propage dans le vide et à vitesse invariante.

Document-élève sur la vision

« Dans l'Antiquité, pour expliquer la vision deux théories se sont côtoyées :

Celle du philosophe grec Aristote (384 av J-C – 322 av J-C) (dans le « traité de l'âme » et certains autres comme Démocrite,...) : quelque chose se détache de l'objet et rentre dans l'œil, une sorte de « simulacre ».

et puis celle de Platon (428 av J-C – 348 av J-C), d'Hipparque, et surtout d'Euclide (330av J-C – 270 av J-C) : quelque chose est émis par l'œil... une sorte de rayon visuel. Il parle d'un « quid » qui sort des yeux. Il introduit la notion de rayon de lumière.

Il y a débat :

Aristote dit que, si l'œil envoyait de la lumière, on verrait la nuit.

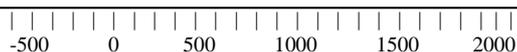
Et les partisans de Platon répondent que ce rayon n'est pas le « feu », car la nuit il s'éteint !

Aristote dit encore que tous les sens doivent fonctionner de la même façon, c'est-à-dire réagir à un agent extérieur !

Vers le XI^{ème} siècle on retient le nom de Ibn al-Haytham (965 – 1039, Le Caire), plus connu en Europe sous le nom d'Alhazen. C'est un grand physicien et philosophe irakien. Son livre « *Opticae Thesaurus Alhezani Arabis* » sera consulté jusqu'au XVII^{ème} siècle. Pour lui c'est l'objet qui envoie des « rayons », une « lumière secondaire ». Il connaît le rôle de la pupille comme régulateur de lumière. Il pense que la rencontre de la lumière avec l'œil est douloureuse (la preuve : trop de lumière nous éblouit). Un siècle plus tard, Walid Ibn Ruschd, dit Averroès (1126-1198) soupçonne le rôle de la rétine comme capteur de lumière.

Ce n'est qu'au XIX^{ème} siècle que l'on comprend, grâce aux idées de Thomas Young (1773-1829), un savant surdoué anglais, comment l'œil est sensible à trois couleurs, le rouge, le vert et le bleu. »

Repérer sur la frise Aristote, Euclide, Ibn al Haytham et Young et recopier les phrases soulignées, ainsi que les noms des savants.



AIII. Suppléments

AIII.1. Pourquoi les bateaux en métal flottent-ils?

C'est Archimède, un mathématicien grec qui vivait environ 250 ans avant Jésus Christ, qui a le premier compris pourquoi les bateaux flottent. Pourtant Archimède ne s'intéressait pas aux bateaux. Il s'intéressait plutôt à la couronne d'or du roi Hiéron. Plus précisément, le roi voulait savoir si sa couronne était bien en or pur. Il craignait de s'être fait avoir avec une couronne qui contenait en réalité un mélange d'argent et d'or. Comme tu vas le voir, la solution d'Archimède nous dit aussi pourquoi les bateaux flottent. Archimède réfléchissait à tout ça... dans son bain. C'est là qu'il eut son plus célèbre éclair de génie. Il a observé que tout objet mis dans un bain déplace un certain volume d'eau. La première idée d'Archimède consiste à remplir un bain jusqu'au bord, puis à mesurer l'eau qui déborde quand on plonge un objet (ou une personne) dans l'eau. Voilà une façon simple de calculer le volume de n'importe quel objet, comme une couronne par exemple. En effet, un objet qui a par exemple un volume de deux litres fera toujours déborder deux litres d'eau (si le bain était plein, bien sûr).

Puis, Archimède a pensé à peser cet objet. Plus précisément, il a comparé le poids et le volume de l'objet. Aujourd'hui, les ingénieurs font très souvent ce genre de calcul, mais à l'époque d'Archimède, c'était une idée révolutionnaire ! Il avait découvert ce qu'on appelle la masse volumique: la masse d'un objet divisé par son volume.

Des centaines d'années après Archimède, lorsque les gens ont inventé les kilogrammes et les litres, ils ont eu la brillante idée de faire en sorte que ça soit simple. La masse volumique de l'eau est d'exactly un kilogramme par litre ! Elle servira de référence pour définir la densité d'un corps.

La densité, c'est ce qui permet d'expliquer si un objet flotte ou coule. Essaie avec n'importe quel objet, tu arriveras toujours au même résultat. Si un objet a une densité plus grande que l'eau (par exemple 2 kilogrammes par litre), eh bien cet objet coule ! Si un objet a une densité plus petite que l'eau, il flotte.

Et si un objet a exactement la même densité que l'eau, soit exactement un kilogramme par litre ? Il restera juste sous la surface, sans vraiment flotter ni couler !

Revenons à notre bateau. Le bois flotte, on peut donc s'attendre à ce qu'un bateau en bois flotte ... Mais un bateau en métal ?

Le métal a une densité plus grande que l'eau. Donc il coule (tu peux jeter dans un lac une pièce de monnaie en métal si tu veux vérifier ça).

Qu'est-ce qui empêche un bateau de métal de couler ? Il ne faut pas calculer la densité du métal seulement. Il faut aussi considérer tout ce qu'il y a à bord du bateau : les moteurs, la cargaison, les passagers... et l'air ! Oui, il faut ajouter dans le calcul l'air qui est à l'intérieur du bateau !

Et c'est justement à cause de l'air que le bateau flotte... L'air, qui est très léger, peut facilement occuper un très gros volume. C'est pourquoi par exemple un ballon flotte très bien. En construisant un bateau, on s'arrange toujours pour qu'il y ait un gros volume d'air à l'intérieur. Résultat: la densité totale du bateau, avec tout ce qu'on trouve à bord, est toujours plus petite qu'un kilogramme par litre, même si la coque est faite de métal.

Le truc pour faire flotter un bateau, c'est de ne jamais perdre cet air. Souviens-toi du Titanic... Après la collision avec l'iceberg, l'eau entraînait dans le bateau et remplaçait ainsi l'air qui s'y trouvait. Le Titanic prenait de plus en plus d'eau et perdait de plus en plus d'air. Sa densité totale augmentait dangereusement. Et quand cette densité a dépassé la limite d'un kilogramme par litre, le bateau a coulé.

Et la couronne du roi Hiéron dans tout ça ?

Comme on vient de le voir, le mathématicien grec avait découvert une façon de calculer la densité de la couronne à l'aide d'un bain et d'une balance. Si la couronne avait la même densité que l'or, Archimède pouvait conclure qu'elle était probablement faite en or. Mais s'il découvrait que la couronne avait une densité plus petite, il pouvait annoncer qu'elle était faite d'un mélange d'or et d'un métal moins dense, comme l'argent. Selon la légende, en ayant cette idée géniale, Archimède est sorti de son bain et se serait alors élancé nu dans la rue en criant Eureka! ce qui veut dire «j'ai trouvé ! »

QUESTIONS :

Qui est Archimède et quand a-t-il vécu ? Qui est Hiéron ?

Quel moyen simple Archimède trouve-t-il pour mesurer le volume d'un objet complexe comme la couronne du roi ?

Qu'est-ce que la masse volumique ? Donne celle de l'eau.

Quelle grandeur physique permet de savoir si un objet flotte ou coule sur l'eau ? Comment peut-on alors expliquer qu'un bateau en métal flotte ?

Un bateau en bois peut-il couler ?

Donner les étapes du processus imaginé par Archimède pour répondre au problème du roi.

Effectue une recherche afin de savoir si oui ou non le roi a été trompé.

COURS :

La poussée d'Archimède.

Paramètres influents sur la poussée.

Expérience : le ludion, le sous-marin, les montgolfières, les dirigeables.

La pâte à modeler.

AIII.2. Histoire de l'éclairage

Ressources _Infos et photos : LUMIERES DE L'ŒIL

(<http://members.aol.com/Lumiara/fr/index.html>)

HISTOIRE DE L'ECLAIRAGE

(<http://membres.lycos.fr/cavalampes/SiteLmp/IntroLmp/JYP-IndF.htm>)

LA LAMPE A HUILE PRIMITIVE



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :

Une mèche placée dans un récipient contenant un combustible liquide naturel (huile végétale ou animale)

MATERIAUX UTILISES : Récipients en pierres, poterie

PERIODE D'UTILISATION : Antiquité → Moyen-Âge (amélioré cf. Lampes mécaniques)

CHANDELLES, BRÛLE-JONC, CIERGES ET BOUGIES.



Fig 4



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :

Mèche en fibre végétale (coton) enrobé de substance combustible : Suif, cire.
Suif = graisse animale

CHANDELLE : Suif + mèche coton

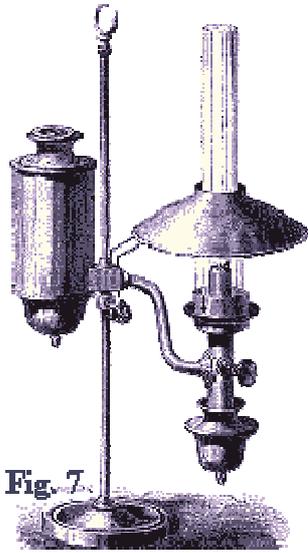
BRÛLE-JONC : Jonc enduit de suif

CIERGE & BOUGIE : Cierge en cire importé d'Algérie

XIV^{ème}, bougie = acide stéarique (Eugène Chevreul 1823)

PERIODE D'UTILISATION : Moyen-Âge → Début XX^{ème}

LES LAMPES MECANIQUES : QUINQUETS A HUILE



INVENTEUR : Antoine QUINQUET

Date : 1789

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :

Sur le côté un réservoir à l'intérieur duquel une sorte de cloche renversée retient l'huile, qui arrive régulièrement au bec situé sur le côté. La mèche n'est plus pleine, mais elle devient cylindrique (en forme de tuyau), ce qui permet à l'oxygène de circuler à l'extérieur et à l'intérieur de la flamme. On retrouve un peu le principe de la mèche plate, mais le rendement et la luminosité sont meilleurs. Il ajoutera une cheminée de tôle au dessus de la flamme, bientôt remplacée par un verre cylindrique, qui canalise l'air autour de la flamme et assure le tirage.

PERIODE D'UTILISATION : 1790 → Fin XIX^{ème} (remplacées par lampes à pétrole)

LES LAMPES MECANIQUES : LAMPES ARGAND

INVENTEUR : Aimé ARGAND

Date(1782)

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :

La mèche tubulaire permet le passage d'un courant d'air au centre de la flamme en plus de l'air arrivant de l'extérieur, d'où le nom "lampe à double courant d'air". Le verre, droit ou étagé, favorise l'apport d'air en créant un tirage ascendant.

PERIODE D'UTILISATION : 1783 → fin XIX^{ème}

LES LAMPES MECANQUES : LAMPES A PETROLE, LAMPES PIGEON



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :

Combustion de pétrole lampant (kérosène). La mèche trempe dans le liquide qui monte naturellement au brûleur par capillarité.

INVENTEUR : PIGEON
(1884)

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :

Le principe, novateur est simple : une mèche pleine cylindrique de 7 mm de diamètre est enfermée dans un tube ; le bec étanche est vissé sur le réservoir garni de rondelles de feutre (retenant mieux l'essence et ne se désagrégeant pas à son contact). La flamme, réglable, est beaucoup plus haute du réservoir que sur la lampe Mille. La sécurité est totale ! Même inclinée, même la tête en bas, la lampe Pigeon ne risque aucunement d'exploser.



PERIODE D'UTILISATION : 1860 → 1920



LES LAMPES MECANIQUES : LAMPES A GAZ, BEC AUER



du gaz est totale



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :

Combustion de gaz (méthane) par l'intermédiaire d'un bec (généralisation éclairage 1829).

1886 Bec Auer : On chauffe à l'aide d'un bec à gaz un coton imbibé de nitrates de thorium (99 %) et de cérium (1%). Ce coton calciné chauffée à l'intérieur d'une flamme de gaz émet une vive lumière très blanche.

Il faut une flamme dite *bleue*, où la combustion afin d'éviter le dépôt de suie.

PERIODE D'UTILISATION : Dès 1802, généralisation vers 1830 → Années 1930

ELECTRICITE : LAMPES A ARC, BOUGIE JABLOCHKOFF



Fig. 35

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :

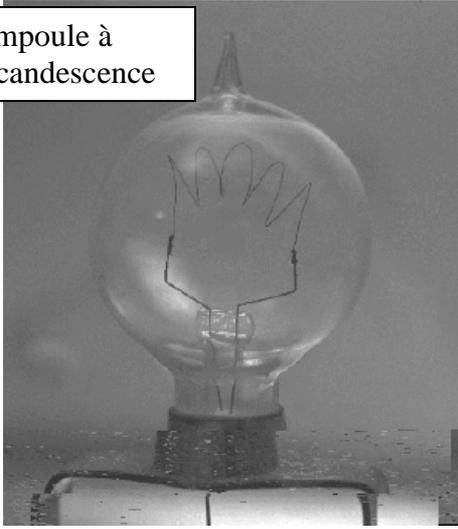
Il s'agit d'une étincelle qui porte à incandescence deux charbons conducteurs.

Quant à la fameuse **bougie de JABLOCHKOFF** (brevetée en 1876, il s'agit de deux charbons parallèles et verticaux, rapprochés, et isolés excepté à leur extrémité. La couche isolante se consume alors en même temps que le carbone, et l'étincelle jaillit à l'extrémité des deux crayons).

PERIODE D'UTILISATION : 1870 → 1920 (Remplacée par lampes à incandescence).

ELECTRICITE : LAMPES A INCANDESCENCE

Ampoule à
incandescence



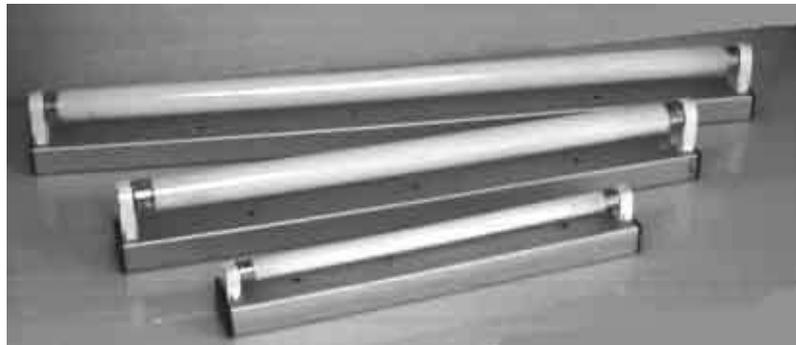
INVENTEUR : Thomas
EDISON
Date : 1879

**PRINCIPE DE
FONCTIONNEMENT :** Dans
une ampoule de verre vidée d'air,
le courant électrique passe dans
un fil de charbon, qui chauffé se met à briller (l'absence
d'oxygène l'empêche de se consumer).



PERIODE D'UTILISATION : 1880 à nos jours.

ELECTRICITE : TUBES FLUORESCENTS & LAMPES FLUO-COMPACTES



Inventé en : 1937

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :

Un rayonnement ultraviolet est produit par une décharge électrique dans un tube rempli de gaz et de vapeurs (mercure en général). Ce rayonnement ultraviolet irradie des poudres fluorescentes déposées sur la surface interne du tube, c'est ce qui produit la lumière blanche.

PERIODE D'UTILISATION : 1937 à nos jours

AIII.3. Deux études documentaires : mesure de la vitesse de la lumière

Etude documentaire 1:

MESURE DE LA VITESSE DE LA LUMIERE

Finie ou infinie ?

Les philosophes l'ont cru pendant longtemps : la lumière se propage instantanément. En 1638, GALILÉE affirme que la vitesse de la lumière est soit infinie, soit trop grande pour être mesurable.

En 1676, Olaus RÖMER (1644–1710), un astronome danois en poste à Paris, montre le contraire. En observant le mouvement d'un des satellites de Jupiter à différents moments de l'année, il met en évidence que la vitesse de la lumière a une valeur finie, sans pour autant en donner une estimation. Quand la Terre est au plus près de Jupiter, il voit les satellites en avance sur les éphémérides car la distance parcourue par la lumière est plus petite. (éphémérides = tables donnant la position des astres à un moment et en un lieu donné)



Olaus Römer

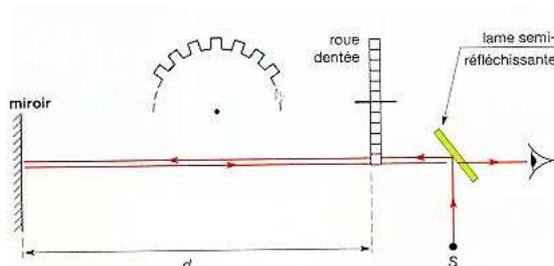
L'expérience de Fizeau



Hippolyte Fizeau

En 1849, Hippolyte FIZEAU (1819-1896) imagine une méthode "terrestre" pour mesurer la vitesse de la lumière. En plaçant un miroir (associé à une lunette) au sommet de la butte Montmartre, il fait faire un aller retour à la lumière émise par une source à travers une roue dentée de 720 dents (1440 intervalles « dents-creux ») depuis Suresnes (8,5 km séparent Suresnes de la butte Montmartre) . En faisant tourner la roue doucement, il aperçoit la lumière renvoyée par le miroir. Pour une vitesse de 12,6 tours par seconde, la lumière n'est plus perçue car elle rencontre systématiquement une dent de la roue à son retour. Par cette belle nuit d'été 1849, la vitesse de la lumière entre Suresnes et Montmartre est ainsi estimée à 315000 km/s.

Avec deux petites lunettes et une roue dentée, la mesure de la vitesse de la lumière est descendue du domaine des cieux, l'astronomie, pour rejoindre celui de la physique terrestre.



Principe de l'expérience de Fizeau

(On peut voir à travers une lame semi-réfléchissante, contrairement à un miroir qui réfléchit toute la lumière).

Sources :

Les cahiers de science et vie : Comment on a réussi à mesurer la vitesse de la lumière et <http://serge.bertorello.free.fr/optique/vitesse.html>

Questions :

- 1°) Recherchez qui sont Galilée, Olaüs Römer et Hippolyte Fizeau.
- 2°) Expliquez, avec vos propres mots, comment Römer a montré que la vitesse de la lumière a une valeur finie.
- 3°) Quel est le rôle du miroir au sommet de la butte Montmartre dans l'expérience de Fizeau ?
- 4°) A quoi correspond le point S sur le schéma ?

Exercice :

- 1°) Quelle fraction de tour est effectuée entre le passage d'un trou et d'une dent consécutive dans la lunette ? Quelle durée, notée t , correspond à ce passage ?
- 2°) Quelle est la distance, notée D , parcourue par la lumière lorsqu'elle effectue un aller retour ?
- 3°) Retrouvez la valeur de la vitesse de la lumière calculée par Hippolyte Fizeau.

Compléments :

<http://serge.bertorello.free.fr/optique/vitesse.html> :

L'avance progressive de la lumière

Depuis longtemps, une question a hanté l'esprit des physiciens: "A quelle vitesse se déplace ce rayonnement ?"

Pour certains, sa propagation devait être instantanée. Pour d'autres, ce signal présentait des analogies avec le son. Or ce dernier se déplace à une vitesse finie, c'est évident quand on regarde de loin le tir d'une arme à feu. On voit nettement le coup de feu avant de l'entendre. Cette analogie amenait à penser que la lumière se déplace progressivement elle aussi.

Ces deux idées se sont affrontées pendant longtemps. Des expérimentateurs ont même essayé de mesurer la célérité de la lumière. On cite parfois Galilée (Galileo Galilei 1564-1642) qui tentait en vain cette mesure pendant la nuit en échangeant des signaux lumineux avec un partenaire qui se trouvait de l'autre côté d'une vallée. La lumière va trop vite pour cette méthode.

En 1676 à l'observatoire de Paris, Olaüs RÖMER (1644-1710) étudiait le mouvement des satellites de la planète Jupiter. Il a constaté une avance ou un retard de quelques minutes de ces astres sur les prévisions. Une analyse approfondie lui montra une relation entre cette anomalie et la position relative de la Terre par rapport à Jupiter. Il déduisit alors que ces défauts de ponctualité sont dus à la vitesse de la lumière. Quand la Terre est au plus près de Jupiter, il voyait les satellites en avance sur les éphémérides car la distance parcourue par la lumière est plus petite. Inversement, il notait un retard quand les mouvements orbitaux éloignent les deux planètes.

Grâce à ses observations, Olaüs RÖMER a déterminé une estimation fort honorable de la vitesse de la lumière dans le vide. La valeur trouvée varie selon les auteurs qui la rapportent mais elle avait le bon ordre de grandeur.

En 1849, Hippolyte FIZEAU (1819-1896) a imaginé une méthode "terrestre" pour mesurer la vitesse de la lumière. Il utilisait une roue dentée qui occultait périodiquement un faisceau auquel il faisait parcourir une grande distance. Cette technique permit d'améliorer la connaissance de la vitesse de la lumière. Toutefois, la grande distance parcourue par le faisceau lumineux ne permettait pas d'analyser la propagation de la lumière dans un autre milieu que l'air.

Etude documentaire 2:

MESURE DE LA VITESSE DE LA LUMIERE



Galilée d'abord...début XVII^{ème} siècle.

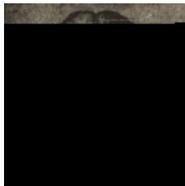
Avant Galilée les savants pensaient que la lumière se propageait instantanément dans l'air. Galilée (1564-1642) semble avoir été le premier à penser que cette vitesse était finie et le premier à essayer de la mesurer. La tentative de Galilée est simple, deux hommes munis d'une lanterne et placés à une distance de quelques km font l'expérience suivante : le premier découvre sa lanterne en déclenchant une horloge, le second découvre la sienne dès qu'il aperçoit le signal lumineux et le premier arrête son horloge dès qu'il voit le signal lumineux. Le temps d'aller et retour du signal lumineux peut être ainsi en théorie apprécié.

Ces expériences ne donnèrent pas de résultats tangibles, les temps mesurés restant les mêmes quand les distances entre les hommes variaient. On sait maintenant que les mesures de temps étaient totalement inadapées aux faibles valeurs de temps à mesurer.

Que pensait-on de la vitesse de la lumière avant Galilée ?

Qu'a essayé de montrer Galilée ?

A-t-il réussi ? Pourquoi ?

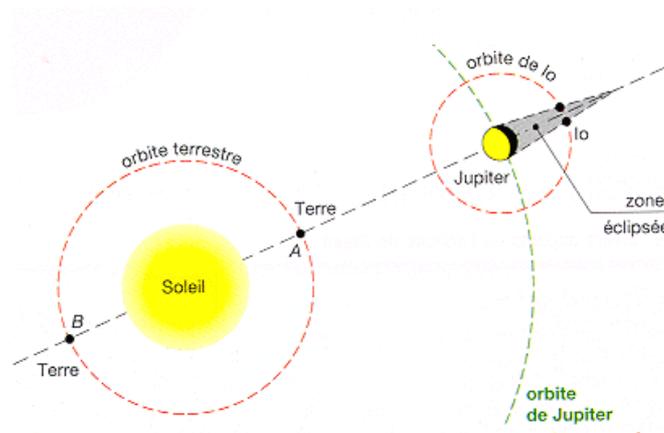


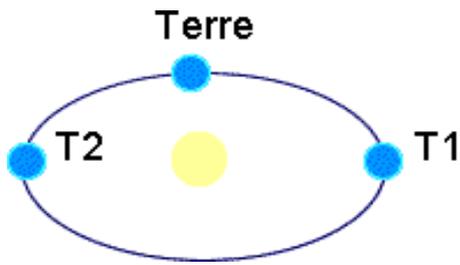
Observation de Römer... en 1676.

L'astronome danois Ole Römer (1644-1710) effectua la première détermination de la vitesse de la lumière en 1676 par une méthode astronomique. Sur la figure ci-dessous, on voit à droite l'orbite de Io, satellite jovien. Bien noter que Io disparaît à notre vue quand il entre dans le cône d'ombre de Jupiter (immersion) et réapparaît (émersion) en sortant de l'ombre. A partir de la durée de l'éclipse Römer déterminait la période de révolution du satellite autour de Jupiter. Il constata que cette période (voisine de 42,5 h) variait en fonction de la position de la Terre quand on effectuait la mesure.

Römer comprit alors qu'il fallait tenir compte du temps de parcours de la lumière pour aller de Io à la Terre.

L'idée d'une vitesse finie pour la lumière était définitivement acquise.





Dans la position T_1 , la Terre est sur le point de son orbite le plus de Jupiter.
 Dans la position T_2 , la Terre est dans sa position la plus de Jupiter.
 La lumière met 1000 s (soit à peu prèsminutes) de plus pour arriver à

T_2 , en provenance du voisinage de Jupiter, que pour arriver à T_1 . Sachant que la distance moyenne entre la Terre et le Soleil est de 149.597.870 km., calculer la distance séparant les positions T_1 et T_2 . En déduire la valeur de la vitesse de la lumière.



Hippolyte Fizeau (1819-1896) réalise en 1849 la première mesure terrestre de la vitesse de la lumière.

Pour cela il fabrique un ingénieux système comportant une roue dentée et deux miroirs, dont un miroir L semi-réfléchissant.

Sur la figure ci-contre on devine le principe : la roue est mise en rotation, une source de lumière est réfléchi par le premier miroir, franchit une échancrure de la roue, se réfléchit sur le second miroir et parvient à l'observateur après un parcours correspondant à $(2D)$ à la vitesse (c) qui est l'inconnue.

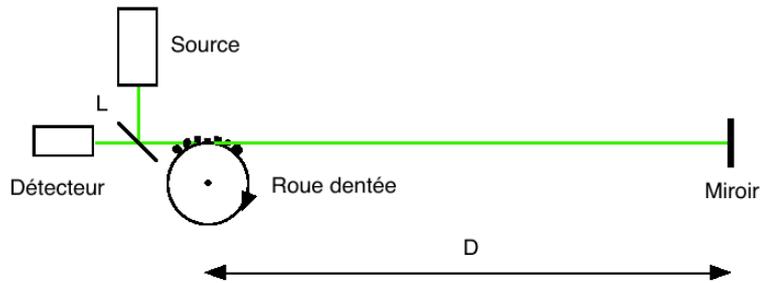


Figure 1. Schéma de principe de l'expérience de Fizeau.

Fizeau fait son expérience entre Montmartre et le Mont Valérien à Suresnes distants de 8633 m.

La roue dentée comporte 720 dents et 720 échancrures. Fizeau détermine alors la vitesse de rotation de la roue qui permet à la lumière de traverser le bord d'un "creux" et de revenir au bord du même creux. Le faisceau est donc juste occulté et ne parvient plus à l'observateur. Cette vitesse de rotation est de 12,6 tours par seconde.

Donner la relation entre la vitesse de la lumière v , la distance parcourue par la lumière et le temps t mis par la lumière pour faire un aller-retour.

On admettra que le temps t' que met une dent à remplacer l'intervalle vide précédent est donné

par $t' = \frac{1}{n \times 2p}$ avec n le nombre de tour par seconde et p le nombre de dents.

D'après le texte, quelle est la relation entre t et t' ?

En déduire la valeur de la vitesse de la lumière.

D'après <http://clubastronomie.free.fr/lois/romer.htm>

AIII.4. Les lentilles à travers le temps

