

## **Physique-chimie Collège**

---

*Cycle central*

# **Projet de document d'accompagnement**

**- Physique-chimie -**

***Ce document peut être utilisé librement dans le cadre des activités de l'enseignement scolaire, de la formation des enseignants et de l'organisation des examens.***

***Toute reproduction, même partielle, à d'autres fins ou dans une nouvelle publication, est soumise à l'autorisation du directeur général de l'Enseignement scolaire.***

---

17 mars 2008

# SOMMAIRE

## INTRODUCTION

## LES PRATIQUES PÉDAGOGIQUES

1. La démarche d'investigation
2. L'histoire des sciences
3. Les TIC et le B2i
4. Les liens avec l'enseignement dispensé à l'école primaire
5. Les liens avec l'enseignement dispensé dans les autres disciplines
  - 5.1. Liaison entre les disciplines dans le cadre des thèmes de convergence
  - 5.2. Liaison entre les disciplines dans le cadre des itinéraires de découverte
  - 5.3. Physique-chimie et autres disciplines
    - 5.3.1 Physique-chimie et français
    - 5.3.2 Physique-chimie et sciences de la vie et de la Terre, technologie et histoire-géographie
    - 5.3.3 Physique-chimie et mathématiques
    - 5.3.4 Physique-chimie et anglais
    - 5.3.5 Polysémie du vocabulaire scientifique
  - 5.4. Physique-chimie et activités de documentation
    - 5.4.1 Compétences documentaires attendues au collège
    - 5.4.2 Des pistes de travail pour les activités de documentation
    - 5.4.3 Un exemple de travail d'exploitation pédagogique d'un document papier
    - 5.4.4 Un exemple de travail d'exploitation pédagogique d'un document audio et/ou vidéo
6. L'évaluation
  - 6.1 Évaluation diagnostique
  - 6.2 Évaluation formative
  - 6.3 Évaluation sommative
  - 6.4 Évaluation des capacités expérimentales
  - 6.5 Évaluer la démarche d'investigation
  - 6.6. Variation des supports de l'évaluation
7. Le travail personnel des élèves
8. Mesures et incertitudes
9. La sécurité

## PARTIES THEMATIQUES

### Classe de cinquième

- A. L'eau dans notre environnement. Mélanges et corps purs
  - A1. L'eau dans notre environnement
  - A2. Mélanges aqueux
  - A3. Mélanges homogènes et corps purs : une eau limpide est-elle une eau pure ?
    - A3.1 Séparation de colorants alimentaires par chromatographie
    - A3.2 Protection et gestion de l'eau (en lien avec EDD)
    - A3.3 Reconnaître l'eau pure grâce à la valeur de sa masse par unité de volume
  - A4. Les changements d'état de l'eau

- A4.1 Étude assistée par ordinateur de la congélation/fusion de l'eau
- A4.2 Courbes de congélation-fusion de différentes substances
- A4.3 Masse et volume
- A5. L'eau solvant
  - A5.1 Activités documentaires : les marais salants
  - A5.2 Miscibilité de deux liquides : complément scientifique pour l'enseignant
- B. Les circuits électriques en courant continu. Étude qualitative
  - B.1 Qu'est-ce qu'un circuit électrique ?
  - B.2 Circuit électrique en série
  - B.3 Circuit électrique comportant des dérivations
- C. La lumière : sources et propagation rectiligne
  - C1. Sources de lumière. Entrée de la lumière dans l'œil.
    - C1.1 Introduction
    - C1.2 Condition de visibilité d'un objet
    - C1.3 Sécurité liée au laser
  - C2. Propagation rectiligne de la lumière. Comment se propage la lumière ?
    - C2.1 Étude expérimentale
    - C2.2 Les ombres
    - C2.3 Le système {Terre, Lune, Soleil}

### **Classe de quatrième**

- A. De l'air qui nous entoure à la molécule
  - A1. Composition de l'air
  - A2. Volume et masse de l'air
  - A3. Une description moléculaire pour comprendre
    - A3.1 Évolution historique de la description de la matière
    - A3.2 Molécules et atomes, modèle ou réalité ?
    - A3.3 Introduction d'un modèle particulière
    - A3.4 Des animations et des représentations
    - A3.5 L'observation de la matière
    - A3.6 Les cristaux liquides
  - A4. Les combustions
  - A5. Les atomes pour comprendre la transformation chimique
    - A5.1 Les modèles de l'atome
    - A5.2 Combustion du carbone
    - A5.3 Animation sur la combustion du méthane
    - A5.4 Conservation de la masse lors des réactions chimiques
    - A5.5 Commentaires sur le vocabulaire
- B. Les lois du courant continu
  - B1 Intensité et tension : deux grandeurs électriques issues de la mesure
  - B2. Un dipôle : la « résistance »
  - B3. La loi d'Ohm
- C. La lumière : couleurs et images
  - C1. Lumières colorées et couleur des objets
    - C1.1 Une démarche d'investigation
    - C1.2 Couleur de la lumière – couleur des objets
    - C1.3 Synthèse additive
    - C1.4 Composition de la lumière
    - C1.5 Un exercice de synthèse (démarche d'investigation)
  - C2. Que se passe-t-il quand la lumière traverse une lentille ?
    - C2.1 Comment une lentille forme-t-elle une image ?

## ANNEXES

### **ANNEXE A : la démarche d'investigation**

1. Grille d'aide à la structuration d'une séance d'investigation.
2. Un exemple de démarche d'investigation en classe de cinquième : recueil et identification du dioxyde de carbone.
3. Un exemple de démarche d'investigation en classe de quatrième : synthèse additive des lumières colorées.

### **ANNEXE B : histoire des sciences**

1. L'histoire des sciences dans l'enseignement : quels supports, pour quel enseignement ?
2. Comment la lumière est devenue le stimulus de la vue : approche épistémologique
3. Thalès de Milet
4. L'observation des astres et la naissance de la science
5. Les travaux de Volta
6. Brève histoire de la théorie moléculaire
7. Quelques exemples d'activités complémentaires en lien avec l'histoire des sciences  
classe de cinquième  
classe de quatrième
8. Quelques éléments de bibliographie

### **ANNEXE C : les TIC et le B2i**

1. Les changements d'état au collège
2. Construction à l'aide d'un tableur-grapheur de la caractéristique d'un dipôle ohmique
3. EXAO sur la loi d'Ohm au collège
4. Les planètes du système solaire
5. SDTICE : des ressources numériques et des usages des TIC pour l'enseignement des sciences physiques et chimiques fondamentales et appliquées

### **ANNEXE D : liaison école-collège**

Continuité des apprentissages école - collège en physique-chimie

### **ANNEXE E : l'évaluation**

1. Exemples d'exercices pour une évaluation formative
2. Exemples d'exercices pour une évaluation sommative
3. Exemple d'évaluation à partir de documents audiovisuels
4. Exemple d'évaluation à partir d'un texte relatif à l'histoire des sciences
5. Exemple d'évaluation de capacités expérimentales

### **ANNEXE F : sécurité - gestion du laboratoire**

1. Quelques recommandations pour les enseignants
2. L'enseignant de sciences physiques et la sécurité électrique
3. Risques électriques
4. Vade-mecum

### **ANNEXE G : les musées au service de l'enseignement scientifique**

# INTRODUCTION

Le présent document d'accompagnement est relatif aux programmes en vigueur à la rentrée scolaire 2006-2007 pour la classe de **cinquième**, à la rentrée 2007-2008 pour la classe de **quatrième**.

Il permet de mettre en œuvre les programmes dans l'esprit développé dans le document *d'introduction commune à l'ensemble des disciplines scientifiques (Annexe I, BO hors-série n°6 du 19 avril 2007, volume 2)*.

De ce fait, l'accent sera davantage mis ici sur :

- les pratiques pédagogiques telles que :
  - la démarche d'investigation ;
  - l'ouverture à l'histoire des sciences ;
  - les TIC et la contribution à la validation du B2i ;
  - les liens avec l'enseignement dispensé à l'école primaire et dans les autres disciplines ;
- l'évaluation et le travail personnel des élèves ;
- les mesures et incertitudes ;
- la sécurité.

Le choix des activités illustrées a été guidé par le souci d'apporter aux enseignants des informations en lien avec les thèmes référencés ci-dessus sans prétendre les développer sur la totalité du programme. L'importance relative dans le document des différentes rubriques n'est pas en rapport avec la durée qu'il faut leur consacrer.

Comme précisé dans l'annexe IV du BO hors-série n°6, volume 2, du 19 avril 2007, complété par l'arrêté modificatif du BO n° 32 du 13 septembre 2007, le programme se présente en trois colonnes. La troisième colonne « *exemples d'activités* » propose une liste non obligatoire et non exhaustive d'exemples qui peuvent être exploités en classe. En conséquence, ce document d'accompagnement illustre soit des activités mentionnées dans le programme soit d'autres en complément. La liberté pédagogique de l'enseignant reste entière quant au choix des activités. La colonne « connaissances » du programme recense et précise les champs de connaissances de l'élève, la colonne « capacités » explicite ce que l'élève doit savoir faire : il est indispensable de traiter les contenus de ces deux colonnes dans le strict respect des commentaires.

Il est souhaitable de faire acquérir les compétences transversales en relation avec les autres disciplines (*annexe IV, physique-chimie, introduction générale pour le collège*), y compris à travers les thèmes de convergence.

Des liens conduisent à des ressources académiques sélectionnées pour leur pertinence en rapport avec ce programme. Toutefois, pour respecter les droits d'auteurs, ces documents n'ont pas été modifiés et il convient ponctuellement de les adapter afin de respecter le programme et son esprit.

Remarque : ce document d'une centaine de pages est complété par des annexes. Les liens pointant vers des pages de sites peuvent ne plus être actifs au moment de la lecture de ce document ; il faut alors utiliser l'adresse du site et/ou un moteur de recherche pour les actualiser.

# LES PRATIQUES PÉDAGOGIQUES



## 1. LA DÉMARCHE D'INVESTIGATION

Dès la classe de cinquième, afin d'assurer la meilleure continuité avec l'école (programme de rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école), il convient de mettre en œuvre autant que faire se peut une pédagogie fondée sur la démarche d'investigation.

Cette dernière prolonge la pratique de l'enseignement des sciences à l'école.

Cependant, cette démarche n'est pas unique comme indiqué dans le document *d'introduction commune à l'ensemble des disciplines scientifiques (Annexe I des programmes)* auquel il faut impérativement se référer. Il appartient au professeur de juger de l'opportunité de sa mise en œuvre.

Le canevas proposé dans le document *Annexe I des programmes* cité plus haut met clairement en évidence que la démarche d'investigation s'appuie sur le questionnement des élèves, en relation avec le monde réel : observation et expérimentation doivent être privilégiées en laissant émerger les représentations des élèves.

Les élèves doivent formaliser leurs propres observations, leurs idées, leurs solutions.

Une grille d'aide sous forme de questions et une trame, permettant de structurer une séance d'investigation et de distinguer ce qui revient aux élèves et à l'enseignant, sont proposées en **ANNEXE A 1. Grille d'aide à la structuration d'une séance d'investigation.**

Cette démarche dans laquelle l'enseignant s'est efforcé de penser le déroulement de la séquence et d'anticiper les questions, propositions, protocoles ...imaginés par les élèves, ne doit pas le conduire à fournir des fiches toutes rédigées, déjà structurées et prêtes à être complétées.

La démarche d'investigation ne conduit pas toujours à une activité expérimentale (même si cela est fréquent et conseillé) : il peut s'agir de rechercher des documents et de les exploiter.

Des indications pour la mise en œuvre d'une démarche d'investigation (D.I.) figurent dans le développement de la partie thématique.

Il est prudent de s'approprier la démarche d'investigation par étape, pas à pas.

Il est rappelé qu'il n'est pas nécessaire de mettre en œuvre la totalité de la démarche d'investigation lors d'une séquence de programme.

### a) Le choix de la situation de départ :

Ce choix revient à l'enseignant et il est guidé par les objectifs du programme, le caractère productif du questionnement, les ressources locales (matériel, manuels, documents, cédéroms, vidéos, sites via internet...). L'enseignant l'introduit par une situation motivante qui doit conduire les élèves à la prise de conscience de l'existence d'un problème.

Cette situation déclenchante n'est pas nécessairement celle qui sera mise en œuvre. C'est une accroche.

Il est bon qu'elle soit ancrée dans le réel et ce peut être une simple question qui interpelle.

Pour résoudre le problème posé, les élèves auront à acquérir une connaissance, ce qui est l'enjeu de la séance. Cette prise de conscience installe la situation de recherche.

Par exemple, dans le cas de la partie de programme de 5<sup>ème</sup> intitulée :

B. Les circuits électriques en courant continu. Étude qualitative

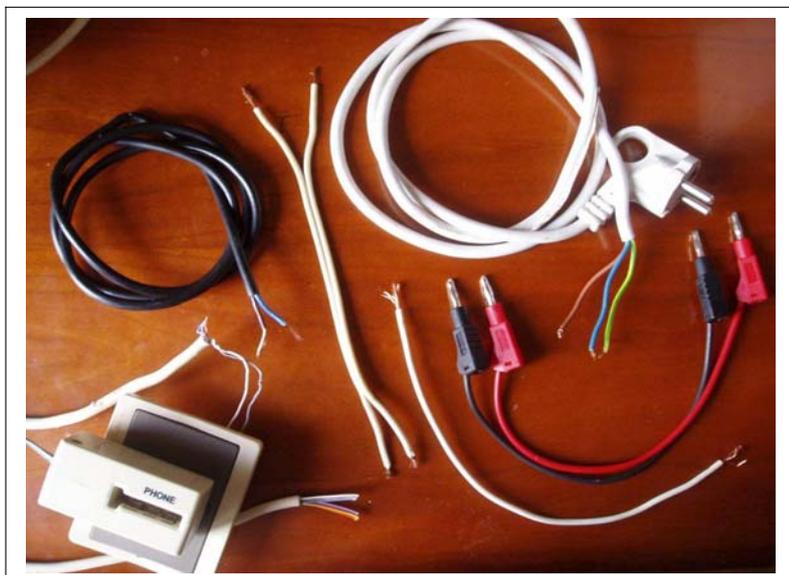
CIRCUIT ÉLECTRIQUE EN SÉRIE

Certains matériaux conduisent le courant électrique. Les métaux sont des conducteurs ; le verre, l'air, la plupart des matières plastiques sont des isolants.

Un interrupteur ouvert se comporte comme un isolant ; un interrupteur fermé se comporte comme un conducteur.

Pour initier la démarche, l'enseignant présente le matériel (ou une photographie) : différents fils électriques (fil téléphonique, fils de connexion électriques à 2 ou 3 brins etc.) ; il demande ce qu'ont en commun tous ces fils.

Après un rapide échange entre l'enseignant et les élèves, échange qui conduit ces derniers à prendre conscience de l'existence d'un problème, l'enseignant prend en exemple les fils de connexion utilisés en séances expérimentales et pose la situation déclenchante, guidé par les objectifs du programme.



**La situation déclenchante peut être la question :**

Pourquoi un fil de connexion comporte-t-il une partie métallique et une partie en matière plastique ?

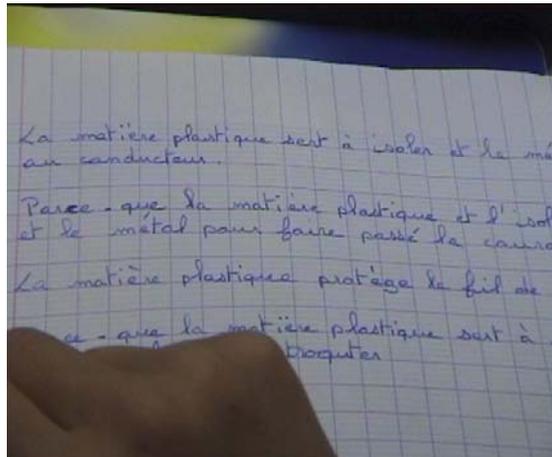
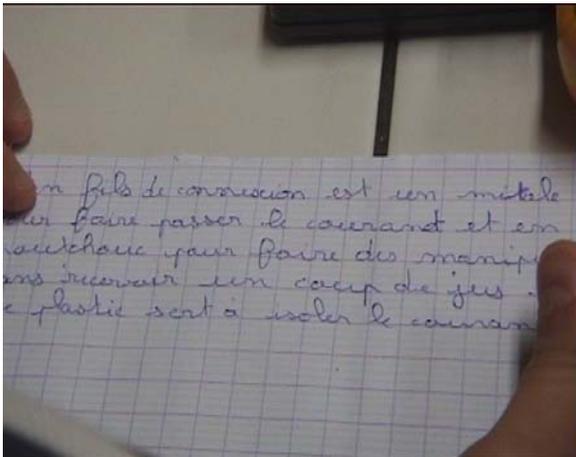
**b) L'appropriation du problème par les élèves :**

Il s'agit pour l'enseignant de s'assurer de la compréhension par tous du problème posé. Il est capital de prendre en compte les représentations des élèves, de confronter les points de vue et de s'assurer au final que le groupe s'est bien approprié ces questions. Le guidage par l'enseignant ne doit pas conduire à occulter les conceptions initiales des élèves mais au contraire à les faire émerger par un questionnement approprié. Il revient à l'enseignant d'aider à la reformulation éventuelle des questions (sens, recentrage sur le champ scientifique, amélioration de l'expression orale des élèves). Le questionnement guidé par l'enseignant doit amener les élèves à s'interroger sur les diverses manières de répondre à la situation et faire émerger les « questions productives ».

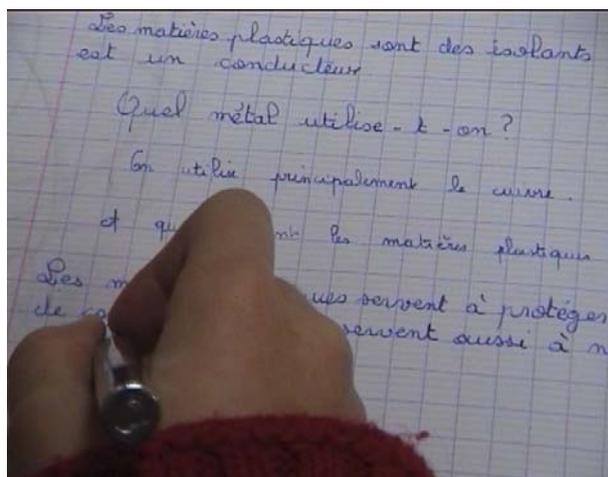


**Quelques réflexions d'élèves relatives à leur appropriation du problème dans le cas de l'exemple proposé**

- Dans un fil de connexion, il y a un fil de métal qui sert de conducteur à l'électricité
- Les matières qui conduisent le courant sont essentiellement des métaux et ce sont des conducteurs
- Peut-être que la matière plastique sert à protéger le métal
- Le plastique protège le fil
- Pour isoler le métal, on utilise de la matière plastique mais aussi pour ne pas se faire électrocuter



- Un fil de connexion est en métal pour faire passer le courant et en plastique pour faire des manipulations sans recevoir de courant.
- Le fil de métal est entouré de matière plastique pour protéger nos mains de l'électricité parce que les deux sont conducteurs.

**Quelques questions d'élèves :**

- *Quelles sont les autres matières qui ne laissent pas passer le courant ?*
- *Pourquoi utiliser le plastique ?*
- *Tous les métaux laissent-ils passer le courant ?*
- *Par quoi peut-on remplacer le métal du fil ?*
- *Le plastique sert-il à nous protéger de l'électrocution ?*

Après une mise en commun de l'ensemble des représentations, il y a une formulation des questions au tableau, après confrontation d'éventuelles divergences, questions qu'il faudra résoudre.

Ces questions doivent être productives et déboucher sur des apprentissages inscrits dans les programmes.

**Exemple:****Question 1 :**

- Dans le fil de connexion, la partie métallique est-elle conductrice du courant électrique ?
- Pourquoi recouvrir la partie métallique du fil par une matière plastique ?

**Question 2 :**

- Quelles sont les matériaux qui ne laissent pas passer le courant électrique ?
- Quelles sont les matériaux qui laissent passer le courant électrique ?

L'enseignant propose d'imaginer des expériences qui permettent de répondre aux questions posées.

- La formulation d'hypothèses, de protocoles possibles :

Les élèves, parfois individuellement mais le plus souvent en petits groupes, formulent oralement des hypothèses puis des protocoles destinés à valider ou infirmer les dites hypothèses.

Ils élaborent des écrits (phase importante de la démarche) précisant les hypothèses et les protocoles sous forme de schémas et/ou de textes.

Ils peuvent prévoir éventuellement des résultats : que va-t-il se passer en réalisant telle expérience ? Validera-t-elle ou non les hypothèses ?

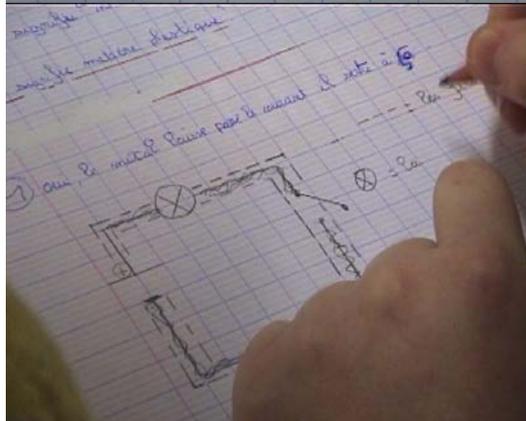
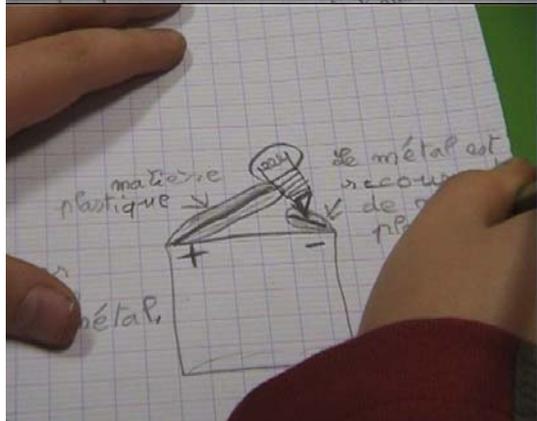
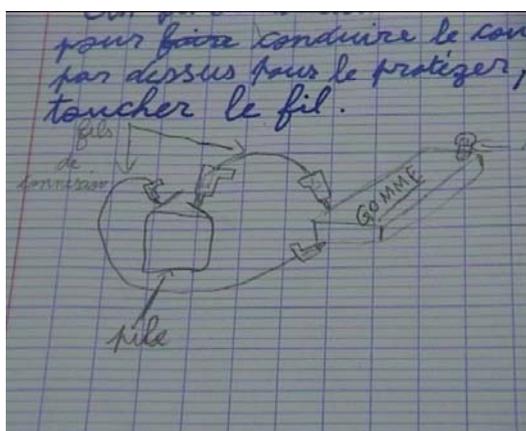
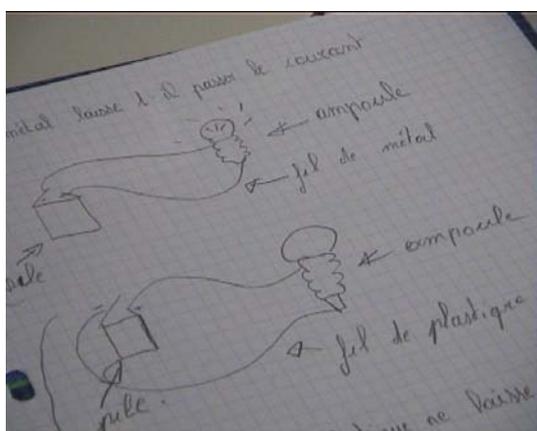
Cette phase peut se conclure par un examen collectif des hypothèses et des protocoles, ce qui peut permettre, dans un esprit de respect mutuel, d'éliminer les hypothèses ou les protocoles manifestement inaptes à répondre au défi posé. Il est nécessaire de lui accorder suffisamment de temps.

### Élaboration d'écrits par les élèves :

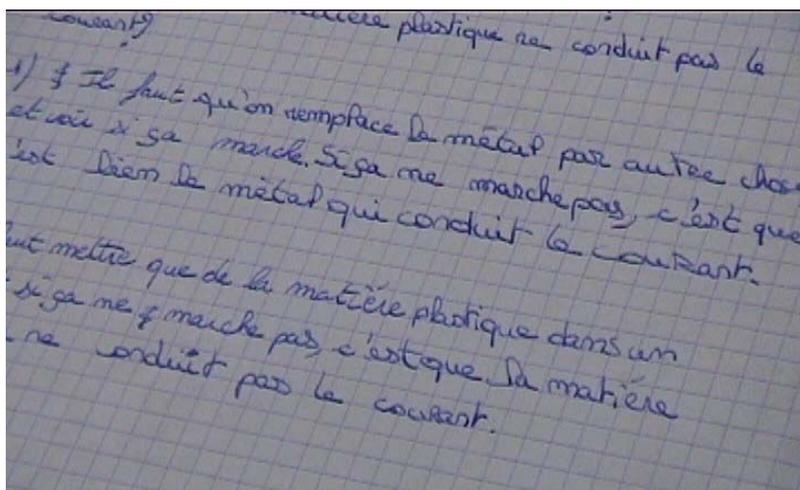
Élaboration d'écrits par les élèves précisant les protocoles et les hypothèses sous forme de schémas et/ ou de textes.

On remarque que certains groupes réalisent des dessins et que d'autres utilisent les schémas avec les symboles normalisés.

Ils esquissent quelques idées de manipulations simples qui peuvent permettre de répondre aux questions posées.

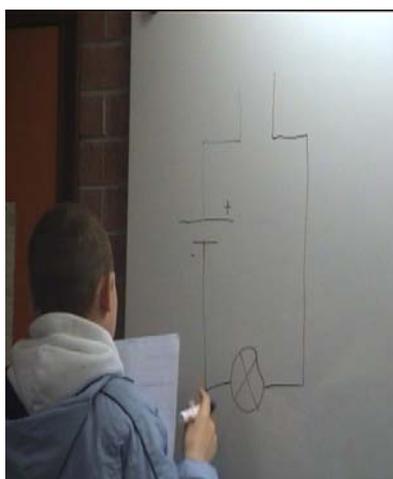


Ils peuvent essayer d'anticiper des résultats et conclure sur la validité de leur hypothèse.



### **Solutions proposées par les élèves :**

- ✓ Il y a une mise en commun au tableau de leurs protocoles expérimentaux.
- ✓ Tous les groupes élaborent une liste du matériel nécessaire pour expérimenter.



### **d) L'investigation ou la résolution du problème conduite par les élèves :**

C'est le moment privilégié du travail de l'élève (ou du groupe d'élèves) en autonomie encadrée pour mettre en œuvre expérimentalement les protocoles élaborés. Les expériences seront relatées par écrit (dessins, schémas, images, textes, ..).

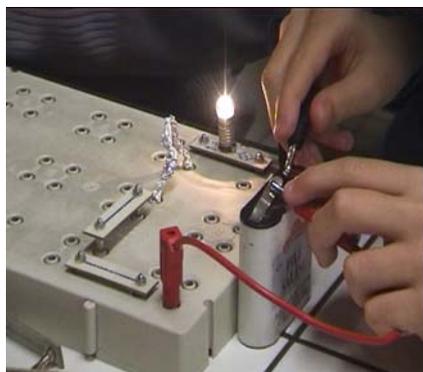
### **Réalisation de circuits électriques avec le matériel adapté pour la mise en œuvre des protocoles :**

1. certains groupes proposent une expérience avec uniquement une pile, la lampe et différents matériaux ;
2. d'autres groupes travaillent avec la platine pré-câblée ;
3. d'autres encore travaillent avec un fil électrique qu'ils ont dénudé.

**Proposition d'expériences et observations :**

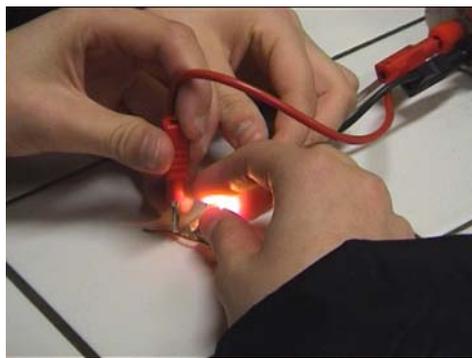
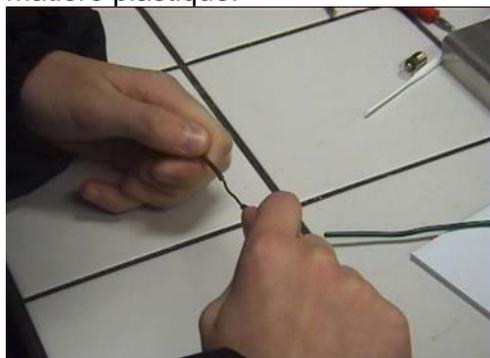
Réaliser un circuit en boucle simple avec la platine en intercalant les divers matériaux ; tester ces différents matériaux.

La lampe s'allume pour certains matériaux ; pour d'autres matériaux, elle reste éteinte.



D'autres groupes travaillent avec uniquement une pile et une lampe.

Certains élèves dénudent un fil électrique puis testent le fil seul et ensuite la gaine en matière plastique.



Il est à remarquer que certains groupes ont réalisé des courts-circuits lors de leurs expériences en plaçant, par exemple, un fil électrique sans gaine au contact des deux bornes de la pile ou en plaçant mal la lampe et ils ont ainsi remarqué que le fil chauffait. Dans ces cas, un dialogue s'instaure entre l'enseignant et ces groupes :

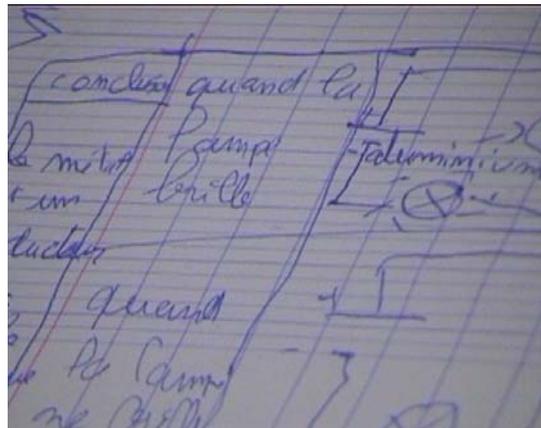
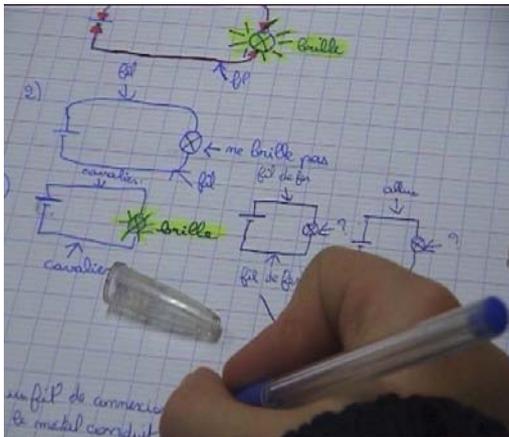
Par exemple :

- « Ah ça chauffe » !
- « Le fil chauffe et la lampe ne s'allume pas »
- « Pourquoi cela chauffe t-il ? »
- « Avez-vous bien placé la lampe dans votre montage ? »

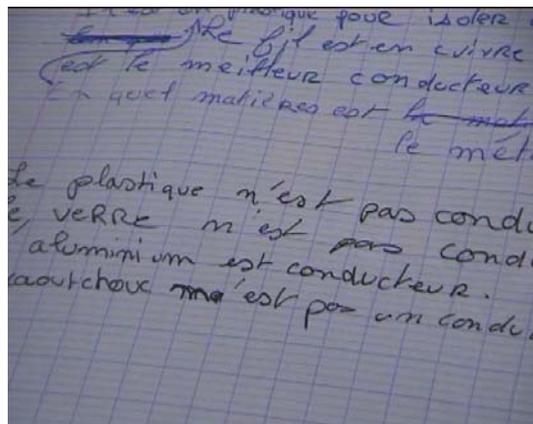
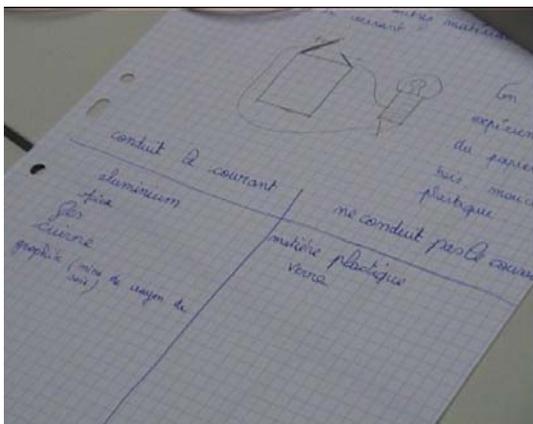
Les élèves se souviennent de la notion du court-circuit et essayent d'y remédier en faisant un autre montage. Certains groupes remplacent le fil par la gaine en matière plastique et ils remarquent que celle-ci ne chauffe pas et que la lampe ne s'allume toujours pas : pour eux, la gaine n'est pas conductrice (car il n'y a pas d'échauffement !). Mais ils n'expliquent pas pourquoi même avec le fil électrique non gainé, la lampe ne s'allume pas.

Pour d'autres, il reste des interrogations qui seront revues ensuite lors des échanges.

Leurs expériences sont ensuite relatées par des écrits à l'aide de textes, schémas et en notant leurs observations.



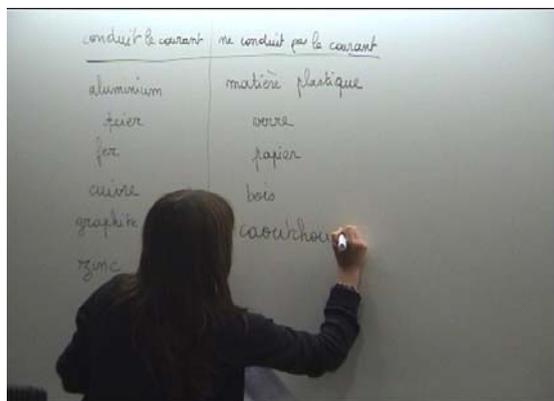
À la fin de cette phase d'investigation, les élèves valident ou infirment leurs hypothèses formulées précédemment.



e) L'échange argumenté autour des propositions élaborées :

C'est une phase de confrontation au sein de la classe des expériences mises en œuvre, de leur validité, des résultats, des questions restées en suspens.

Lors de ces échanges chaque groupe prend la parole ou un représentant de certains groupes va au tableau afin de proposer ses premières réponses à la question posée.



La plupart des élèves réalisent un tableau récapitulatif, qui est complété au fur et à mesure des échanges en fonction des tests de matériaux effectués par les différents groupes.

L'enseignant voit s'il reste des interrogations qui demeurent.

À ce stade, les notions de conducteurs et d'isolants ont bien été identifiées mais il n'a pas encore été expliqué **pourquoi** il faut gainer un fil conducteur.

f) L'acquisition et la structuration des connaissances :

Lors de ces échanges, après avoir fait une analyse critique des expériences réalisées par certains groupes, l'enseignant parle des problèmes rencontrés par d'autres comme par exemple ceux qui ont réalisé des courts-circuits.

Un élève dit avoir eu un court-circuit avec un morceau de matière plastique et un autre lui répond que cela est impossible car les matières plastiques ne conduisent pas le courant.

L'enseignant intervient alors en expliquant pourquoi il y a eu court-circuit et propose une remédiation aux groupes ayant rencontré ce problème.

D'autres groupes ont remarqué qu'avec le cuivre, la lampe s'allumait plus fortement qu'avec la mine en graphite.

Enfin, l'enseignant, avec l'aide des élèves, répond à la question initiale en expliquant pourquoi le fil est constitué à la fois de métal et de matière plastique.

Lors de cette conclusion, des remarques sont formulées sur le corps humain qui est conducteur; l'enseignant aborde alors quelques notions élémentaires de sécurité électrique.

L'enseignant conduit les élèves à dégager de nouveaux éléments de savoir provenant des constatations réalisées. Il provoque la confrontation avec le savoir établi et suscite un débat sur les causes d'éventuelles divergences.

Avec un vocabulaire accessible aux élèves, les connaissances acquises sont formulées ou reformulées puis transcrites sur le cahier ou dans le classeur de l'élève.

**La trace écrite est réalisée en collaboration avec les élèves à partir de leurs analyses, et leurs résultats. L'enseignant souligne ce qu'il faut retenir**

Celle-ci est transcrite dans le cahier ou le classeur de l'élève.

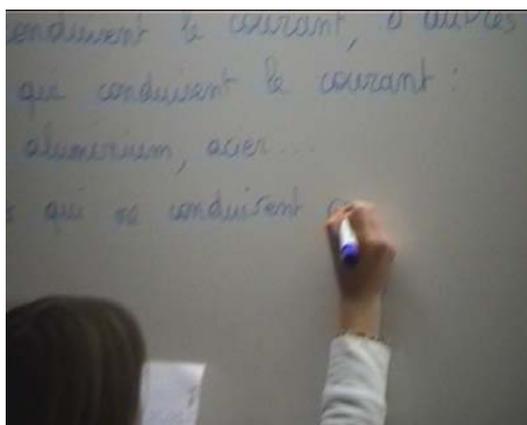
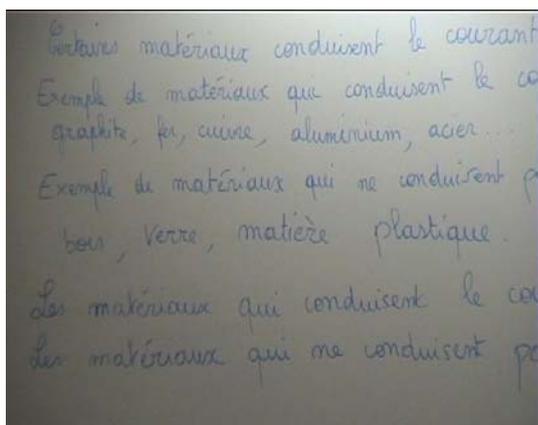
**Exemple :**

- ✓ Il existe des matériaux qui conduisent le courant électrique : ce sont des conducteurs.

Exemples : le cuivre ...

- ✓ Il existe des matériaux qui ne conduisent pas le courant électrique : ce sont des isolants.

Exemples : les matières plastiques ...



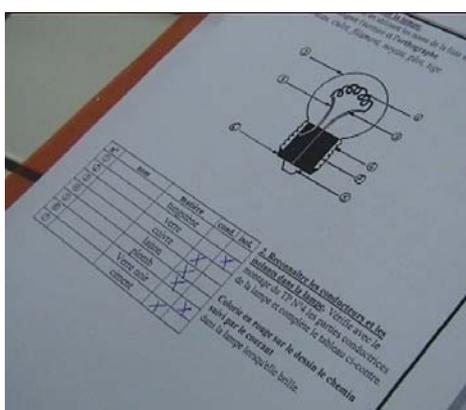
**g) L'opérationnalisation des connaissances :**

Toute nouvelle connaissance doit être confortée dans son acquisition. Il convient donc de s'en assurer en proposant aux élèves des exercices, des situations de réinvestissement, des contrôles de connaissances et de savoir-faire.

**Exemple de réinvestissement des connaissances :**



- Sur le schéma donné d'une lampe, expliquer le rôle des parties conductrices et isolantes (aucun vocabulaire spécifique à la lampe exigé)



- Prévoir qu'une lampe est hors d'usage en observant son filament
- Interpréter le comportement d'un interrupteur en termes de conducteur ou d'isolant

Grâce à leur questionnement et à leurs propres expériences, les élèves ont pu découvrir le caractère conducteur ou isolant de certains matériaux et répondre au problème posé.

La démarche d'investigation permet aux élèves de s'exprimer oralement mais aussi par écrit.

Le statut de l'écrit est important car il permet :

- de fixer sur le papier les représentations de l'élève (ce qui peut s'avérer utile lors de l'énoncé des conclusions) ;
- de mettre en parallèle les idées de l'élève avec celles du groupe ;
- de lister les propositions émises par le groupe afin d'en faire un choix ;
- de faire la comparaison des conceptions préalables et des conclusions retenues avec le savoir établi.

Et dans ce dernier cas, le statut de l'erreur est tout aussi important car l'erreur peut-être source de réflexion et de progrès.

On pourra lever la contrainte orthographique lors des productions personnelles mais pas lors de la conclusion finale.

On trouvera, en **ANNEXE A 3. Un exemple de démarche d'investigation en classe de 4<sup>ème</sup> concernant la synthèse additive des lumières colorées**, intitulé : « Comment se fait-il que l'écran d'un téléviseur « couleur » puisse présenter des parties blanches ? »

**Quelques propositions de situations déclenchantes relatives à la démarche d'investigation figurent sur des sites académiques**, notamment :

[http://www4b.ac-lille.fr/~physiquechimie/college/documents\\_d\\_accompagnement/cycle\\_central/](http://www4b.ac-lille.fr/~physiquechimie/college/documents_d_accompagnement/cycle_central/)

[http://www3.ac-clermont.fr/pedago/physique/modules.php?name=Downloads&d\\_op=getit&lid=113](http://www3.ac-clermont.fr/pedago/physique/modules.php?name=Downloads&d_op=getit&lid=113)

(cliquer deux fois sur OK, sans nom d'utilisateur et sans mot de passe)

[http://www3.ac-clermont.fr/pedago/physique/modules.php?name=Downloads&d\\_op=getit&lid=114](http://www3.ac-clermont.fr/pedago/physique/modules.php?name=Downloads&d_op=getit&lid=114)

(cliquer deux fois sur OK, sans nom d'utilisateur et sans mot de passe)

[http://www.ac-versailles.fr/pedagogi/physique-chimie/ipr/new\\_prog\\_college.htm](http://www.ac-versailles.fr/pedagogi/physique-chimie/ipr/new_prog_college.htm)

voir aussi le site de l'académie de **Dijon**

## 2. Histoire des sciences

Le souci de la clarté et de la concision conduit souvent à présenter un sujet scientifique comme un ensemble de résultats achevés. Une telle approche, si elle est systématique, recèle des risques de dogmatisme. En faisant abstraction de la dimension historique de la construction des savoirs, elle donne aux élèves une idée fautive de la science, assimilée à un ensemble définitivement acquis de vérités révélées. (Voir **ANNEXE B 1. L'histoire des sciences dans l'enseignement : quels supports, pour quel enseignement ?**). Même si l'enseignant n'est pas en mesure, ne serait-ce que par manque de temps, de présenter systématiquement la genèse de tous les résultats, il doit toujours garder en vue la dimension historique du savoir scientifique.

Les constatations faites dans les classes ont montré le grand engouement des élèves pour l'approche historique des phénomènes scientifiques et, en marge de l'histoire des sciences, pour la vie des savants. De nombreux textes existent à ce propos mais cela peut aussi être l'objet de recherches par groupe au CDI, sur Internet, dans des encyclopédies ou des revues scientifiques ...

Périodiquement, à l'occasion de certains sujets qui se prêtent particulièrement bien à une approche historique, l'enseignant saisira cette opportunité de motiver les élèves, voire de faire naître chez certains des vocations scientifiques en montrant la science en construction. Ces ouvertures en direction de l'histoire des sciences permettent de rendre les élèves plus actifs et de renouveler leur motivation.

Des extraits d'expériences relatés (après éventuellement explicitation du vocabulaire) permettent d'induire des situations déclenchantes de la démarche d'investigation, mais l'enseignant peut aussi composer un texte autour d'un fait relié à la réalité scientifique et historique.

Afin de favoriser la maîtrise de la lecture, il est souhaitable que des passages de documents relatifs à l'histoire des sciences soient lus à haute voix par les élèves.

Quelques exemples d'activités complémentaires en lien avec l'histoire des sciences, (certains figurent explicitement dans les bandeaux des programmes à la fin de chaque sous-partie,) sont proposés en **(voir ANNEXE B 7)** mais il ne s'agit que de pistes d'activités non obligatoires :

- **Classe de cinquième** : la découverte du « gaz carbonique » ; le système métrique, Alhazen, les éclipses, la naissance de la science.
- **Classe de quatrième** : de l'évolution du modèle moléculaire à la réalité de la molécule, le trichromatisme, la lumière et sa vitesse, **(voir ANNEXE B 7)** ; « Pour vitesse de la lumière » le site : (<http://www.lesite.tv/index.cfm?nr=6&avc=1&res=collection&fr=0529>). présente un intérêt certain.

À l'occasion, par exemple, de la rencontre de nouvelles unités (degré Celsius en 5<sup>ème</sup> ; ampère, volt et ohm, en 4<sup>ème</sup> ; hertz, joule, watt, newton en 3<sup>ème</sup>) des recherches sur les contributions à la science des savants qui ont donné leurs noms aux unités peuvent être organisées de la façon suivante :

- répartition de la classe en autant de groupes qu'il existe d'encyclopédies sous forme papier ou de cédéroms au CDI (les élèves travaillent ainsi en petites équipes, soit avec l'enseignant de physique-chimie pendant les cours, soit avec le professeur documentaliste en dehors du temps imparti aux sciences physiques et chimiques) ;
- appropriation par les élèves des documents disponibles dans une encyclopédie ;

- reformulation des documents en travaillant sur la maîtrise de la langue écrite ;
- préparation par groupe d'une restitution orale de une ou deux minutes (un élève de chaque groupe expose sa synthèse orale devant toute la classe la fois suivante) ou confection de panneaux qui seront affichés dans la classe relatant la vie et les découvertes des savants évoqués dans le programme.

Chaque salle spécialisée pourrait porter le nom d'un savant scientifique ; ce nom pourrait changer d'année en année (à l'occasion des commémorations de découverte, de naissance, de mort, de prix Nobel...) et serait l'occasion d'une recherche voire d'un concours du meilleur texte littéraire (nouvelle, poème...), de la meilleure vidéo, meilleure affiche, meilleur cédérom ... produit par les élèves en relation avec ce savant. (voir « quelques éléments de bibliographie » **(voir ANNEXES B 7 et B 8)**).

2005, Année Internationale de la Physique, a donné l'occasion à l'Observatoire de Paris d'organiser une exposition avec expériences (tirs laser) pour déterminer la vitesse de la lumière : voir [www.obspm.fr/expositions/lumiere2005](http://www.obspm.fr/expositions/lumiere2005).

La visite (réelle ou virtuelle) de musées **(voir ANNEXE H)** ou de centres de culture scientifique, technique et industrielle (CCSTI) permet également de faire prendre conscience des effets, sur les progrès de la science, de l'évolution des matériels techniques. Le musée des Arts et Métiers de Paris propose de nombreuses pistes **(voir ANNEXE H)** et son site <http://www.arts-et-metiers.net/> ; il propose aussi un parcours énergie **(voir ANNEXE G)**.

### 3. LES TIC ET LE B2i

Dans le droit fil des considérations évoquées dans l'introduction commune à l'ensemble des disciplines du pôle scientifique, il convient de mettre en œuvre les techniques de l'information et de la communication dès qu'elles apportent un intérêt pédagogique.

Un vidéo projecteur est vivement recommandé.

Des nouveaux outils apparaissent dans les établissements : le tableau numérique interactif [TNI : tableau blanc (ou dispositif équivalent) et/ou tablette] présente des intérêts pédagogiques certains.

Des séquences vidéos montrent quelques utilisations du TNI : voir notamment « *Eau boueuse, eau limpide* » en 5<sup>ème</sup> sur :

<http://www2.educnet.education.fr/sections/phy/pratiques/videos-usages/>

Il est souhaitable que la salle de classe soit équipée d'un ordinateur au moins, relié au réseau du collège et à internet. L'interface et les capteurs nécessaires à la prise de mesures devraient figurer dans le matériel pédagogique du laboratoire ainsi que les logiciels appropriés pour traiter les informations recueillies ou illustrer des parties de programme (acquisition, traitement, modélisation, simulation).

Suivant l'équipement de la salle de classe, les élèves, à leur place ou au bureau à tour de rôle, accèdent à l'ordinateur pour réaliser des mesures ou mettre en œuvre des logiciels. Quand cela est possible, l'expérimentation assistée par l'ordinateur vient en complément des manipulations effectuées par les élèves. : voir notamment « *caractéristique d'une résistance* » en 4<sup>ème</sup> sur :

<http://www2.educnet.education.fr/sections/phy/pratiques/videos-usages/>

Si l'établissement est équipé, le cahier de texte en ligne facilite la communication enseignant-élèves-parents : voir « *le cahier de texte en ligne* » sur :

<http://www2.educnet.education.fr/sections/phy/pratiques/videos-usages/>

L'intégration de l'outil multimédia à la pédagogie peut permettre un enrichissement de la démarche scientifique, notamment par :

- la présentation d'expériences, en complément d'autres, réalisées au préalable par l'enseignant (photographies, diaporamas, vidéos, tableaux de mesures et graphiques issus d'une acquisition informatisée...) ou des élèves ;
- la simulation dans les cas inaccessibles à l'expérience directe (variation des paramètres ...). voir l'animation sur les mouvements de la Lune et de la Terre dans l'ANNEXE B 7. Les éclipses et la naissance de la science.

L'exploitation de ces activités est effectuée en salle de classe spécialisée ou dans la salle multimédia.

Des comptes rendus d'expériences ou de recherches peuvent aussi être réalisés en utilisant un logiciel de traitement de texte.

En collaboration avec les autres enseignants de la classe, l'enseignant de physique-chimie participe à la construction du savoir informatique de l'élève. L'outil informatique utilisé en sciences physiques et chimiques peut donc permettre l'acquisition et la validation de compétences dans le cadre du B2i.

La contribution de la physique-chimie au B2i au collège peut se décliner comme suit (cf B.O. n° 42 du 16/11/2006).

Domaines 1 (s'approprier un environnement informatique de travail) et 2 (adopter une attitude responsable) :

- Toutes les disciplines sont concernées ; la physique-chimie peut y contribuer ponctuellement.

Domaine 3 : créer, produire, traiter, exploiter des données

- ✓ Utiliser un tableur pour saisir des mesures, les traiter et interpréter les résultats. La feuille de calcul (**voir l'ANNEXE C 2 ou dans l'ANNEXE C le fichier : Loi d'Ohm B2i (lien).xls**) est élaborée par l'enseignant ; l'élève saisit les données.
- ✓ L'élève crée une feuille de calcul simple, qui répond à un problème donné, en utilisant à bon escient les formules ; il en vérifie la validité.

Exemples :

1. En cinquième :
    - étude du changement d'état d'un corps pur : ébullition et solidification (voir le document) (**voir ANNEXE C 1 : les changements d'état**)
  2. En quatrième :
    - construction à l'aide d'un tableur-grapheur de la caractéristique d'un dipôle ohmique (**voir ANNEXE C 2**) ;
    - loi d'Ohm (**voir ANNEXE C 3**).
- Produire, modifier, exploiter un document à l'aide d'un logiciel de traitement de texte :
    - Rédiger des comptes-rendus d'activités expérimentales et de documentation, de visites (musées, laboratoires, industrie...) et des exposés sur l'histoire des sciences ;
    - Insérer dans un compte rendu un tableau de mesures, un schéma, une image, une photographie, voire un son ou une petite séquence vidéo illustrant l'expérience ;
    - Introduire dans le compte rendu des liens hypertexte pour organiser les divers documents.

Exemples :

- En cinquième :
    - création d'un tableau avec images des phases de la Lune ;
    - insertion de photographies dans un compte rendu sur les états physiques de l'eau dans la nature.
  - En troisième : création d'un tableau à double entrée donnant les caractéristiques des planètes, avec des hyperliens vers des photographies de celles-ci (**voir ANNEXE C 4**).
- Créer des pages Internet à mettre en ligne sur le site du collège.

Domaine 4 : s'informer, se documenter

- Visite de portails scientifiques de laboratoires, de musées, de centres industriels ou de recherche.
- Visite virtuelle de sites offrant par exemple la visualisation d'expériences délicates ou dangereuses à réaliser au collège.
- Utilisation des moteurs de recherche pour trouver des informations.

Exemples :

- Utilisation de logiciels et recherche sur internet, voir : [http://www.ac-creteil.fr/physique/html/niveaux/college/IDD\\_climats/IDD\\_climats.htm](http://www.ac-creteil.fr/physique/html/niveaux/college/IDD_climats/IDD_climats.htm)

- Recherche documentaire sur les sujets suivants :

- En cinquième :
  - omniprésence de l'eau dans notre environnement ; le cycle de l'eau ; comparaison de la teneur en eau des aliments ; le traitement de l'eau ; pureté et potabilité d'une eau ; dessalement de l'eau de mer ; traitement d'une eau calcaire ; les marais salants ; les saumures ;
  - météorologie et climatologie (formation des nuages, humidité de l'air...) ;
  - le méthanière : intérêt de liquéfier le méthane ?
  - en quoi le système métrique représente-t-il un progrès ?
  - dangers de l'électrification ;
  - le cadran solaire ; le gnomon ;
  - prévision des éclipses ;
  
- En quatrième :
  - l'atmosphère et la composition de l'air, la respiration ; la pollution atmosphérique et ses conséquences ; histoire du modèle moléculaire ; dangers des combustions incomplètes ; effets sur l'organisme humain du monoxyde de carbone ;
  - règles de sécurité en chimie ;
  - histoire de l'invention de la lentille ;
  - la synthèse additive des couleurs ; récepteurs de la vision diurne ; la vitesse de la lumière.

#### Domaine 5 : communiquer, échanger

- Dialoguer avec les élèves d'une autre classe, d'un autre établissement sur un thème donné (expérimental ou documentaire)
- Communiquer avec différents partenaires (enseignant, entreprises, laboratoires de recherche)

On peut trouver des exemples détaillés d'activités TIC, dans différents domaines, permettant de valider des compétences du B2i dans différents sites académiques, notamment :

<http://spcfa.ac-rouen.fr>

<http://www2.educnet.education.fr/sections/phy>

<http://www2.educnet.education.fr/sections/phy/b2i/b2i-recherche/>

[http://www.ac-grenoble.fr/mission-tice/file/SPC-activites\\_B2i-clg.doc](http://www.ac-grenoble.fr/mission-tice/file/SPC-activites_B2i-clg.doc)

**Des informations et des liens** figurent dans le document de la SDTICE -sous direction des technologies de l'information et de la communication pour l'enseignement- (**voir ANNEXE C 5**).

Des documents comme ceux de l'ensemble des lettres TIC'EDU physique-chimie peuvent aussi apporter des informations précieuses.

<http://www2.educnet.education.fr/sections/phy/communication/ticedu/>

## 4. LES LIENS AVEC L'ENSEIGNEMENT DISPENSÉ À L'ÉCOLE PRIMAIRE

Les programmes d'enseignement de l'École primaire sont publiés dans le [BO hors série n° 5 du 12 avril 2007](#).

Les liens, quand ils existent, figurent explicitement dans les bandeaux donnant les sous-titres du programme. Il est nécessaire de se référer aux fiches ainsi signalées pour prendre en compte les connaissances des élèves afin d'adapter la suite de l'enseignement et d'éviter les redites inutiles : c'est la base de l'évaluation diagnostique que l'on retrouve notamment dans la phase 1 de la démarche d'investigation.

*Par exemple*, pour le paragraphe du programme de cinquième intitulé : *Les changements d'états de l'eau, approche phénoménologique*.

On trouve déjà dans le programme de l'école primaire cette entrée :

Programme	
Cycle 2	Cycle 3
<p><b>La matière</b> Utilisation de thermomètres dans quelques occasions de la vie courante. L'eau dans la vie quotidienne : solide, liquide, observations des processus de solidification et de fusion, mis en relation avec des mesures de température.</p>	<p><b>La matière</b> Consolider la connaissance de la matière et de sa conservation : - états et changements d'état de l'eau <b>Éducation à l'environnement et au développement durable</b> - trajet et transformation de l'eau dans la nature ; - la qualité de l'eau</p>

Certaines connaissances correspondantes sont précisées :

pour le cycle 2 :

- connaître deux états physiques de l'eau (solide et liquide) et savoir comment on passe de l'un à l'autre ;

- *connaître l'utilisation d'un thermomètre et savoir relever la température d'un corps.*

pour le cycle 3 :

**La matière**

- connaître les trois états physiques de l'eau et les *températures de changement d'état*

- savoir que la vapeur d'eau est invisible ;

- *savoir qu'une eau limpide n'est pas nécessairement pure mais qu'elle peut contenir des substances dissoutes.*

**L'environnement et le développement durable**

Les ressources en eau.

Des documents concernant la continuité des apprentissages école - collège en physique-chimie sont présentés en **ANNEXE D** en lien avec les programmes d'enseignement de l'École primaire publiés au BO hors série n° 5 du 12 avril 2007.

Il est aussi très important de prendre conscience des répercussions de l'enseignement des sciences à l'école primaire sur la maîtrise de la langue française par les élèves.

## 5. LES LIENS AVEC L'ENSEIGNEMENT DISPENSÉ DANS LES AUTRES DISCIPLINES

Dans l'esprit d'une interdisciplinarité qui donne du sens à l'enseignement, il est important de montrer aux élèves que les diverses disciplines qu'ils abordent concourent à une culture commune (voir *Annexe 1 des programmes : Introduction commune à l'ensemble des disciplines scientifiques*). Ces liens sont indiqués explicitement dans les bandeaux des programmes à la fin de chaque sous-partie. Il appartient aux enseignants de prendre connaissance des programmes évoqués et de se rapprocher de leurs collègues des autres disciplines pour harmoniser leurs approches.

Quelques liens particuliers demandent à être développés.

### 5.1. LIAISON ENTRE LES DISCIPLINES DANS LE CADRE DES THÈMES DE CONVERGENCE

Il est recommandé de se reporter aux documents d'accompagnement spécifiques à chacun des six thèmes de convergence.

Dans l'ANNEXE G, intitulée « Les musées au service de l'enseignement scientifique », certaines des pistes proposées sur les sites des musées scientifiques et techniques de Paris mettent clairement en évidence les liens avec différents thèmes de convergence.

Des documents spécifiques aux thèmes de convergence sont consultables sur certains sites académiques, notamment sur celui de Paris.

### 5.2. LIAISON ENTRE LES DISCIPLINES DANS LE CADRE DES ITINÉRAIRES DE DÉCOUVERTE

Des informations pour les IDD « Sciences physiques et chimiques associées à d'autres disciplines » sont disponibles sur le site ÉduSCOL : [http://eduscol.education.fr/D0093/id\\_res\\_physique.htm](http://eduscol.education.fr/D0093/id_res_physique.htm)

### 5.3. PHYSIQUE-CHIMIE ET AUTRES DISCIPLINES

#### 5.3.1 Physique-chimie et français

L'enseignement de physique-chimie doit développer chez l'élève des compétences transdisciplinaires. Il constitue notamment un champ d'application des méthodes acquises en français : l'élève doit apprendre à s'exprimer et à structurer son jugement. Les activités en physique-chimie peuvent et doivent contribuer au développement de la maîtrise de l'expression aussi bien orale qu'écrite. (cf. « *compétence du socle commun de connaissances et de compétences : 1. La maîtrise de la langue française* »).

Au collège, en classe de français, l'élève apprend à maîtriser progressivement les formes de discours :

- **Le discours narratif** abordé en 6e est approfondi en classes de 5e et de 4e en y intégrant la description.

- **Le discours argumentatif**, repéré dans les programmes dès la classe de 6e n'est véritablement étudié qu'en classe de 3<sup>ème</sup>. La connaissance de ces éléments est indispensable au professeur de physique pour que l'enseignant et élèves utilisent le même langage. Une collaboration entre les enseignants des deux disciplines est souhai-

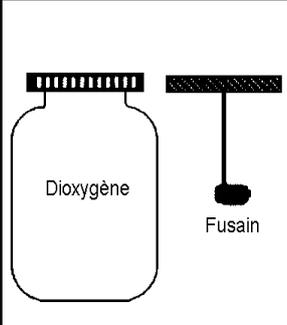
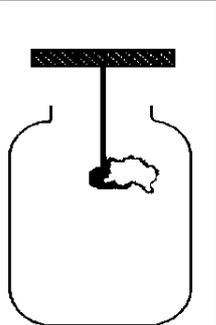
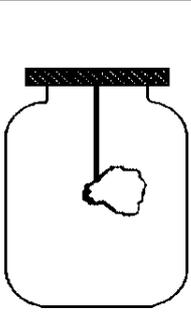
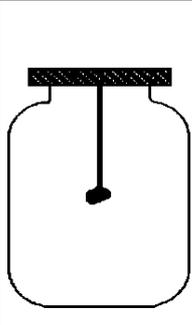
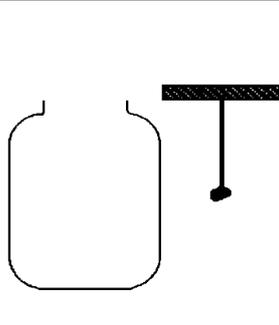
table et certaines activités expérimentales seront d'excellents supports de description et d'argumentation. Les exemples ci-dessous peuvent être utilisés au moment opportun ; la démarche est valable sur l'ensemble des classes du collège. Les phrases en italique dans les tableaux correspondent à des exemples de production d'élèves. Deux notions très importantes peuvent être exploitées par l'enseignant de physique-chimie : le schéma narratif et l'utilisation des liens logiques.

#### A. Comment utiliser le schéma narratif ?

Cette structure permet de rendre compte de la succession logique d'événements dans un récit. Elle comporte plusieurs étapes nommées en classe de français :

- **état initial**,
- **élément déclencheur**,
- **péripétie(s)** (correspond à la suite des transformations),
- **éléments de résolution** (déclencheur de l'état final, ce qui annonce la fin des transformations),
- **état final**.

L'utilisation de ces mots de vocabulaire assure une liaison cohérente avec ceux utilisés en français. En général, seules certaines étapes sont privilégiées en sciences physiques et chimiques.

ÉTAT INITIAL	ÉLÉMENT DÉ-CLENCHEUR	PÉRIPIÉTIES	ÉLÉMENT DE RÉOLUTION	ÉTAT FINAL
Description du dispositif et des réactifs (quoi, où, quand, comment ?)	Lancement de la transformation	Transformation	Fin de la transformation	Description et caractéristiques du contenu du flacon
				
<p>- Un morceau de fusain est suspendu à un bouchon par une tige métallique.</p> <p>- Un flacon est rempli de dioxygène et bouché.</p>	<p>Le morceau de fusain porté à incandescence est plongé dans le flacon de dioxygène.</p>	<p>L'incandescence devient très vive.</p>	<p>L'incandescence du fusain cesse.</p>	<p>Des tests complémentaires montrent que :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- le fusain ne peut plus brûler dans le flacon ;</li> <li>- le volume et la masse du fusain ont diminué ;</li> <li>- le contenu gazeux du flacon trouble l'eau de chaux.</li> </ul>

### Remarques :

- Cette présentation nécessite la schématisation des différentes phases, ce qui a pour avantage d'obtenir des descriptions respectant la chronologie des événements.
- En classe de français, les élèves sont habitués à rechercher « l'élément déclencheur ». Cet élément est également essentiel pour la compréhension d'un phénomène physico-chimique.
- Il est demandé aux élèves d'écrire une phrase à structure simple mais correcte à chaque étape, de préférence pour chaque détail observé.

### B. Comment utiliser les mots de liaison traduisant des connecteurs logiques qui unissent des phrases dans une argumentation ?

- À partir d'un résultat expérimental, l'eau de chaux ne se trouble qu'en présence de dioxyde de carbone, on pourra exprimer :

#### - la condition :

L'eau de chaux se trouble **si** elle est en présence de dioxyde de carbone.

#### - la cause :

L'eau de chaux se trouble **car** (parce que) elle est en présence de dioxyde de carbone.

#### - la conséquence :

Du dioxyde de carbone est en présence d'eau de chaux **donc** (alors) l'eau de chaux va se troubler.

#### - la condition et la conséquence :

Si l'eau de chaux est en présence de dioxyde de carbone, **alors** elle se trouble.

- Pour l'interprétation d'une manipulation : une première argumentation

À propos d'une autre combustion (méthane, butane), l'élève pourra réutiliser le test du dioxyde de carbone.

OBSERVATION	RELATION AVEC DES CONNAISSANCES ANTÉRIEURES	DÉDUCTION
<i>Je constate que ...</i>	<b>or</b> <i>je sais que...</i>	<b>donc</b> <i>j'en déduis que</i>
<i>le gaz produit par la combustion du méthane avec le dioxygène trouble l'eau de</i>	<i>le gaz qui provoque le trouble de l'eau de chaux est du dioxyde de carbone</i>	<i>La combustion du méthane produit du dioxyde de carbone</i>

- Lors d'une démarche expérimentale, deux exemples :

	UN EXEMPLE EN PHYSIQUE	UN EXEMPLE EN CHIMIE
<b>Situation déclenchante</b>	En courant continu y a-t-il un sens de branchement à respecter pour les dipôles ?	L'eau à l'état liquide est-elle compressible comme l'air qui est gazeux ?
<b>Formulation d'hypothèses</b>	<i>Le sens de branchement n'a aucune importance pour le fonctionnement d'un dipôle.</i>	<i>L'eau est compressible mais moins que l'air.</i>
<b>Vérification expérimentale des hypothèses avec anticipation des conclusions</b>	Expérimentation de branchements dans les deux sens avec une lampe, un moteur et une DEL. <b>Si</b> le fonctionnement ne change pas lorsque l'on inverse le sens de branchement du dipôle <b>alors</b> (je pourrai conclure que) le sens de branchement n'a pas d'importance.	Essais comparatifs de compression dans des seringues, les unes remplies d'eau, les autres remplies d'air. <b>Si</b> le piston s'enfonce avec la seringue bouchée et remplie d'eau <b>alors</b> (je pourrai conclure que) l'eau à l'état liquide est compressible comme l'air gazeux. <b>Si</b> au contraire, le piston ne s'enfonce pas, <b>alors</b> cela signifiera que l'eau n'est pas compressible.
<b>Analyse des résultats</b>	<b>Si</b> on inverse le sens du branchement, <b>alors</b> (je constate que) : - l'éclairage de la lampe ne change pas ; - le sens de rotation du moteur change ; - la DEL n'éclaire que pour un sens de branchement.	<b>Si</b> j'essaie d'enfoncer le piston quand la seringue est bouchée, <b>alors</b> (je constate que) : - le piston s'enfonce quand la seringue contient de l'air ; - le piston ne s'enfonce pas quand la seringue contient de l'eau.
<b>Réponse au problème</b>	<b>Donc</b> , en courant continu le fonctionnement de certains dipôles dépend du sens de branchement.	<b>Donc</b> l'eau à l'état liquide n'est pas comme l'air gazeux ; elle est incompressible.

Autant l'utilisation de "si ... alors" ne s'impose pas systématiquement lors de l'énoncé des résultats bien que cela puisse être intéressant, autant elle devient indispensable lors de l'anticipation des résultats. Dans la démarche scientifique, l'expérience est choisie de manière à vérifier une hypothèse ; elle s'accompagne, souvent de manière implicite,

d'une prévision sur la suite : "**Si j'obtiens tel résultat alors** cela signifiera que mon hypothèse est valide, **si j'obtiens tel autre alors** cela signifiera qu'elle n'est pas valide."

### 5.3.2 Physique-chimie et sciences de la vie et de la Terre, technologie et histoire-géographie

Les liens avec les disciplines référencées ci-dessus figurent dans les bandeaux en bas de chaque sous-partie des programmes de physique-chimie.

Les enseignants gagneront à consulter les programmes de ces disciplines.

### 5.3.3 Physique-chimie et mathématiques

La pratique de la mesure est intimement liée à la plupart des activités expérimentales. Si sa réalisation en classe de physique-chimie relève de l'expérimentation, son exploitation peut être l'objet d'une collaboration forte avec l'enseignant de mathématiques dont le programme de cinquième, dans la partie « **4. Grandeurs et mesures** », précise :

*Cette rubrique s'appuie sur la résolution de problèmes souvent empruntés à la vie courante. Les compétences acquises en sixième dans ce domaine sont entretenues et réinvesties dans des problèmes de synthèse en liaison avec les paragraphes précédents (notamment : nombres et calcul, géométrie) et les autres disciplines : technologie, arts plastiques, sciences de la vie et de la Terre, sciences physiques et chimiques. Certains de ces problèmes qui conduisent à exprimer une grandeur en fonction d'une autre sont l'occasion de faire fonctionner les propriétés opératoires (cf. § 2.1) en utilisant une lettre. Le travail sur les aires et les volumes s'étend à de nouveaux objets géométriques. Comme en classe de sixième, l'utilisation d'unités dans les calculs sur les grandeurs est légitime. Elle est de nature à en faciliter le contrôle et à en soutenir le sens. Les questions de changement d'unités sont reliées à l'utilisation de la proportionnalité de préférence au recours systématique à un tableau de conversion.*

Connaissances	Capacités	Exemples d'activités, commentaires	Commentaires spécifiques pour le socle
<p>Dans les trois premières colonnes, une phrase ou une partie de phrase en italiques désigne une connaissance, une capacité ou une activité qui n'est pas exigible dans le socle. Si cette expression en italiques est précédée d'un astérisque, elle se rapporte à un exigible du socle dans une classe ultérieure.</p>			
<p><b>4.1 Longueurs, masses, durées</b></p>	<p>- Calculer le périmètre d'une figure. - Calculer des durées, des horaires.</p>	<p>Pour les polygones (dont le parallélogramme), la compréhension de la notion de périmètre suffit à la détermination de procédés de calcul (les formules sont donc inutiles). Le calcul sur des durées ou des horaires, à l'aide de procédures raisonnées, se poursuit.</p>	<p>- La connaissance et l'utilisation de la longueur d'un cercle deviennent exigibles en se limitant à des calculs en valeurs approchées.</p>

Ainsi, l'enseignant de mathématiques peut utiliser les résultats de mesures « concrètes » de longueur, masse, volume, tension, intensité, résistance, vitesse, fréquence, période, ... accompagnées de leurs unités, pour procéder à des conversions, par exemple, et enseigner aux élèves une méthodologie qui sera réinvestie en physique-chimie.

De même, chaque mesure étant entachée d'incertitude, la notion de « chiffres utiles » (chiffres significatifs) peut faire l'objet de travaux concertés entre physique-chimie et mathématiques (cf. : paragraphe 7 « *mesures et incertitudes* » de ce document d'accompagnement). Cette réflexion commune conduit aussi à l'écriture scientifique avec l'utilisation des puissances de 10 comme indiqué dans le programme de mathématiques de quatrième :

Notation scientifique	- Sur des exemples numériques, écrire un nombre décimal sous différentes formes faisant intervenir des puissances de 10. - Utiliser la notation scientifique pour obtenir un encadrement ou un ordre de grandeur du résultat d'un calcul.	Par exemple, le nombre 25 698,236 peut se mettre sous la forme : $2,569\ 823\ 6 \cdot 10^4$ ou $25\ 698\ 236 \cdot 10^{-3}$ ou $25,698\ 236 \cdot 10^3$ .	
[Thèmes de convergence]	de		
	[SVT, Physique...]		

L'utilisation des statistiques permet aussi des rapprochements féconds entre les deux disciplines tout comme les interprétations de moyennes ou les traitements graphiques, en particulier dans les situations de proportionnalité, conformément à l'extrait de programme de la classe de quatrième ci-après ;

<b>1.2. Proportionnalité</b> * représentations graphiques	-* Utiliser dans le plan muni d'un repère, la caractérisation de la proportionnalité par l'alignement de points avec l'origine.	* Les élèves travaillent sur des exemples de situations de proportionnalité et de non proportionnalité. Ils peuvent démontrer que si les points sont alignés avec l'origine, alors il y a proportionnalité entre les suites définies par les abscisses et les ordonnées de ces points. La réciproque est admise. Cette propriété caractéristique de la proportionnalité prépare l'association, en classe de troisième, de la proportionnalité à la fonction linéaire.	
[Thèmes de convergence]	[SVT, Histoire, Géographie, Physique, Technologie]		

### 5.3.4 Physique-chimie et anglais

En concertation avec l'enseignant de langues vivantes étrangères, il est possible d'étudier un texte en langue étrangère. L'exemple ci-dessous concerne l'anglais.

#### **Recherche documentaire sur Internet en utilisant un site en anglais**

Le site suivant donne de nombreuses informations sur le système solaire, notamment sur les éclipses de Lune et de Soleil.

Ouvrir le site suivant et le parcourir pour répondre aux questions :

<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/planets/moonpage.html>

#### **Questions**

- Donner des renseignements (diamètre, distance à la Terre, distance à la Lune, température de surface...) sur le Soleil
- Donner des renseignements (diamètre, distance à la Terre, distance au Soleil, période...) sur la Lune
- Décrire les mouvements des astres du système Soleil-Terre-Lune en considérant le soleil fixe au centre et précisez les périodes (durée mise pour se retrouver dans la même position). Faites un schéma du système sans tenir compte de l'échelle.
- Quelle est la distance Terre- Soleil ? Notez-la en utilisant les puissances de 10.
- Questions de réflexion : Quand la Terre fait un tour sur elle-même, la Lune a-t-elle « beaucoup » bougé et la Terre s'est-elle « beaucoup » avancée autour du Soleil ? Quels mouvements constate l'observateur terrestre sur une journée ?

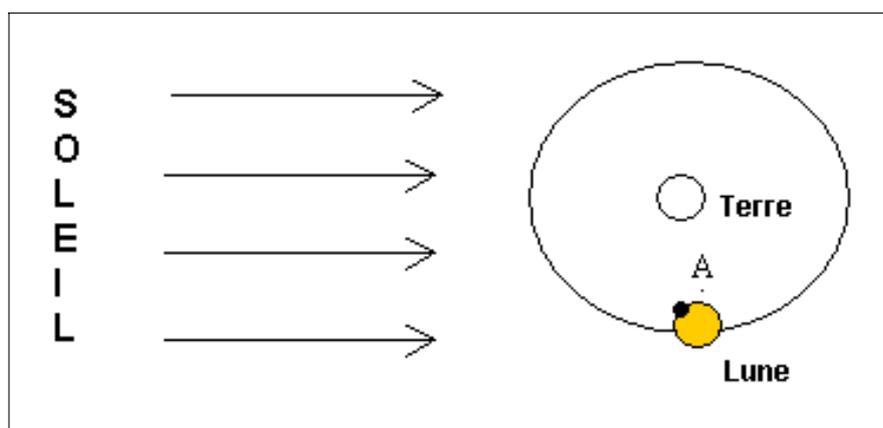
**Étude d'un document :****Et si tu habitais sur la Lune, que verrais-tu ?**

The Moon is Earth's only natural satellite. The Moon has no atmosphere. The Moon revolves around the Earth in about one month (27 days 8 hours). It rotates around its own axis in the same amount of time. The same side of the Moon always faces the Earth; it is in a synchronous rotation with the Earth.



If you were standing on the Moon, the sky would always appear dark, even during the daytime. Also, from any spot on the Moon (except on the far side of the Moon where you cannot see the Earth), the Earth would always be in the same place in the sky; the phase of the Earth changes and the Earth rotates, displaying various continents.

**Questions :** considérons la configuration suivante :



- 1- L'observateur A serait-il dans le jour ou dans la nuit ? Pourquoi ?
- 2- La Terre est visible de A : tracer le rayon qui partant du Soleil arrive dans l'œil du Lunien.
- 3- Pourquoi le ciel vu depuis la Lune est-il noir ?
- 4- Décrire le ciel vu par l'observateur A dans la configuration du schéma
- 5- L'observateur A verrait-il une Terre pleine ou une partie ( phase) dans la même configuration ?
- 6- Pourquoi la Terre vue du point A de la Lune est-elle toujours au même endroit dans le ciel sur un jour ?
- 7- Pourquoi les phases de la Terre changent-elles sur un mois ?

**5.3.5 Polysémie du vocabulaire scientifique**

Un repérage des principales polysémies du vocabulaire scientifique rencontré en collège vise à permettre aux enseignants d'assister les élèves confrontés aux différents usages et sens des mots.

L'attention des enseignants est également attirée sur le fait que, en dehors de la polysémie interne aux sciences, beaucoup de mots ont également des sens différents dans le français courant et dans les disciplines scientifiques.

## **Terminologie scientifique au collège**

Ce document présente un repérage des principales polysémies du vocabulaire scientifique rencontré en collège.

Les expressions pouvant poser problème sont entre guillemets et font notamment l'objet des notes en annexe.

Niveau	Sciences physiques et chimiques	Sciences de la vie et de la Terre	Mathématiques	Éducation physique et sportive
	hypothèse (conjecture)	hypothèse (conjecture)	« hypothèse » (donnée) (1) « démonstration »	hypothèse (conjecture) démonstration
6		peuplement d'un « milieu »  facteur (d'évaporation ...) produit (de la terre, de la matière...) classement (relation d'équivalence) classification des êtres vivants (relation d'équivalence)  « éléments » (3) pour atomes ou molécules « température ≠ chaleur »  « oxygène » « gaz carbonique » « condensation » (4)	« milieu »(2) d'un segment rayon angle « droit » sommet facteur produit  « classement » (relation d'équivalence) rangement (relation d'ordre)	« milieu »  se tenir « droit »  classement (relation d'ordre et d'équivalence)    « température ≠ chaleur »  « oxygène » « gaz carbonique »
5	produit (chimique) sens (conventionnel du courant) densité (5)  condensation décantation d'un mélange hétérogène sels minéraux (7) cristal	sommet (paysage)  densité « dissolution » (6) du calcaire  « sédimentation »  sels minéraux	sommet produit sens ≠ direction  dissolution	densité
4	équation bilan    dioxygène (8) dioxyde de carbone (9)	puissance (intensité d'un phénomène)	équation puissance	« puissance aérobie » « puissance motrice »  dioxygène (8) dioxyde de car-

				bone (9)
3	direction puissance électrique		« direction ≠ sens »	direction (orientation) « puissance aérobie » « puissance motrice »
	réaction chimique	fragmentation de molécules sous l'action d'enzymes, réaction cellulaire		
	pente d'une droite		coefficient directeur fréquence (en statistiques)	
	force			« force » et « couple de force »

### Remarques :

(1) En sciences physiques et chimiques, en sciences de la vie et de la Terre, en éducation physique (mais pas uniquement), on part d'hypothèses pour expérimenter puis interpréter et conclure ; en mathématiques, on part d'hypothèses pour conjecturer puis démontrer.

(2) En sus de sa signification mathématique (le milieu d'un segment), c'est un terme polysémique. En physique et en chimie, il est utilisé pour désigner une phase homogène (milieu aqueux, milieu acide). En biologie, il est utilisé dans un sens plus large (milieu de vie). En éducation physique et sportive, la polysémie du terme se retrouve au travers des différentes spécialités enseignées ou au sein d'une même spécialité.

(3) Un élément, en chimie, regroupe un atome et ses différentes formes ioniques (ex : Cu, Cu<sup>+</sup>, Cu<sup>2+</sup> ...). L'élément se conserve de réaction chimique en réaction chimique. Cela est totalement différent de la notion d'élément en tant que pièce constitutive d'un ensemble et a fortiori des éléments des Anciens (l'eau, la terre, l'air et le feu). Ce mot n'intervient pas en collège en chimie.

En éducation physique et sportive, ce mot est couramment employé (gymnastique, sports collectifs par exemple), au sens de partie constitutive d'un tout.

(4) Dans le contexte de l'étude des changements d'état physique, il convient de réserver le terme de condensation pour désigner le passage de l'état gazeux à l'état solide (transformation inverse de la sublimation, en dehors des programmes du collège). Dans le langage courant, le terme de condensation est souvent utilisé au lieu du terme correct de liquéfaction (passage de l'état gazeux à l'état liquide, inverse de la vaporisation).

(5) La densité par rapport à l'eau d'une substance est le rapport de sa masse à celle du même volume d'eau, mesuré dans les mêmes conditions. C'est donc aussi le rapport

$d = \frac{\mu}{\mu_0}$ ,  $\mu$  étant sa masse volumique et  $\mu_0$  celle de l'eau. La masse volumique s'exprime en kg/m<sup>3</sup> alors que la densité est un nombre sans unité.

En éducation physique et sportive, ce terme est très souvent utilisé dans l'enseignement des sports collectifs (on parlera de densité de joueurs). Il faut alors le comprendre au sens de « qui renferme un plus ou moins grand nombre d'éléments dans un espace donné ».

(6) Une dissolution est la dispersion dans l'eau des constituants d'un composé solide, liquide ou gazeux pour donner un liquide homogène. C'est un phénomène physique et non une réaction chimique qui détruit la nature même du corps en le transformant en des produits fondamentalement différents.

(7) Le terme « sel » n'est plus couramment utilisé dans l'enseignement de physique-chimie. Par extension du nom commun du chlorure de sodium (sel de cuisine NaCl), il désigne un solide ionique distinct de la solution aqueuse correspondante (ex : le chlorure de magnésium  $Mg^{2+} + 2 Cl^-$ ).

(8) Le gaz  $O_2$  indispensable à la respiration mérite en tant qu'espèce chimique le nom de dioxygène car il est constitué de deux atomes d'oxygène O. Cette distinction scientifique n'est pas respectée dans le langage courant : « je respire de l'oxygène » .

(9) Il est préférable de dire « dioxyde de carbone » plutôt que gaz carbonique pour ne pas confondre avec le monoxyde de carbone qui est aussi un gaz à base de carbone.

## 5.4. PHYSIQUE – CHIMIE ET ACTIVITÉS DE DOCUMENTATION

### 5.4.1 Compétences documentaires attendues au collège

En premier lieu, l'élève doit être capable d'utiliser son manuel de façon raisonnée (repérage des types de documents présents dans le manuel, utilisation de la table des matières, de l'index, du lexique par exemple). Par ailleurs, l'apprentissage de l'utilisation d'un dictionnaire et d'une encyclopédie est nécessaire, en concertation avec les autres disciplines. De plus, l'élève doit être capable de lire un texte simple, d'écouter une bande audio, de visionner un document vidéo contenant des données en liaison avec le programme et d'en extraire des informations pertinentes.

On attend en effet qu'il sache réaliser une recherche parmi un nombre très limité de documents mis à sa disposition au CDI, ou en accédant à des ressources numériques en ligne, et qu'il les exploite en utilisant un questionnaire par exemple.

La collaboration entre l'enseignant de physique-chimie et l'enseignant documentaliste s'impose. Cette collaboration repose sur une définition commune des attentes et des méthodes de travail dans l'approche documentaire, qu'il s'agisse de l'enseignement dans la classe ou des travaux de recherche de l'élève (dans l'établissement ou à l'extérieur).

Cette réflexion partagée vise à mettre à la disposition des élèves, sur un sujet donné, des documents en nombre suffisant mais pas surabondant ; ces documents doivent être accessibles, attractifs et de supports variés (papier, supports numériques, audiovisuels ...), sans négliger l'accès à Internet.

Le rôle souhaité de l'enseignant documentaliste est une assistance à l'élève de nature méthodologique, c'est-à-dire, ne nécessitant pas de connaissances spécifiques dans le domaine de la physique-chimie. Cette assistance peut consister en une aide à l'élève pour :

- utiliser un dictionnaire ou/et une encyclopédie, des ouvrages documentaires, des revues, sur support papier ou numérique.
- utiliser une table des matières ou un index ;
- se diriger parmi les options proposées par un support numérique ou Internet ;

- le former, d'une façon plus générale, à trouver les ressources documentaires à partir d'un mot-clé en utilisant un moteur de recherche (inclus dans les bases documentaires ou « grand public »), en liaison avec le B2i ;
- effectuer un choix pertinent parmi trois ou quatre ouvrages ou documents ;
- aborder les aspects formels (non disciplinaires) de la restitution demandée (résumé, affiche, diaporama...).

#### 5.4.2 Des pistes de travail pour les activités de documentation

Dans la colonne « *exemples d'activités* », on trouve les appellations *recherche documentaire*, *activité documentaire*, *étude de documents*.

Une recherche documentaire est une activité ouverte, sur un sujet donné, sans négliger le cadrage, au cours de laquelle l'élève (ou un petit groupe d'élèves) cherche des informations sur des supports variés, en classe ou en dehors du temps scolaire. Par exemple, en 5<sup>ème</sup> sur *la potabilité de l'eau* ou sur *la prévision des éclipses*, en 4<sup>ème</sup> sur *les appareils électriques domestiques chauffants*, en 3<sup>ème</sup> sur *l'existence de plusieurs modèles de piles* ou *s'informer sur les risques présentés par les acides et les bases concentrés...* Pour le cadrage, en prenant l'exemple de *l'existence de plusieurs modèles de piles*, l'enseignant peut répartir le travail pour que chaque élève cherche des informations sur un seul modèle de pile (historique, espèces chimiques...) ou bien pour que tous les élèves recherchent tous les exemples possibles de piles. Des informations extraites de ces documents seront exploitées collectivement en classe.

Une étude de documents (ou étude documentaire) a pour objectif la compréhension et le traitement des informations du document mis à la disposition des élèves. Cette activité consiste à répondre à des questions relatives au document, quel que soit son support. L'élève s'approprie une méthode et acquiert aussi de nouvelles connaissances.

Une activité documentaire englobe les deux aspects précédents : à partir de documents donnés ou non par l'enseignant, elle consiste à rechercher des informations en vue de répondre à des questions et d'en rendre compte. Elle est toujours encadrée. Elle se déroule dans l'établissement, en groupe, en classe ou au CDI.

#### • Travail préparatoire réunissant l'enseignant de physique-chimie et l'enseignant documentaliste :

- Quelle est la disponibilité du CDI, par rapport à l'emploi du temps des élèves ?
- Le travail des élèves sera-t-il effectué pendant ou en dehors des heures de physique-chimie ?
- Quels seront les rôles respectifs du professeur de physique-chimie et du professeur documentaliste ?
- Quels sont les documents existants et ceux à acquérir ?

#### • La présentation de l'activité aux élèves :

- Répartition des sujets (libre ou imposée), du travail (individuel ou en équipe)
- Finalité du travail effectué et restitution prévue : travail sur copie, exposé, exposition
- Critères de qualité (réponse apportée au problème posé, justesse des informations, durée, plan, clarté, soin, etc.), à faire définir de préférence par les élèves eux-mêmes
- Modalités pratiques du travail au CDI
- Éventuellement, travail complémentaire à la maison

#### • Le travail documentaire proprement dit :

- Cerner le sujet : quels en sont les mots-clés, que sait-on déjà sur la question ? (Les élèves peuvent éventuellement être aidés par un petit questionnaire annexé à un texte introductif.)
- Formuler les thèmes de recherche sous forme de questions

- Rechercher les documents, sélectionner les plus pertinents
- Trier les informations et les organiser
- Réaliser le document destiné à la restitution

### 5.4.3 Exploitation pédagogique d'un document :

Ici, le document est fourni à l'élève : il ne s'agit donc pas d'une recherche documentaire, mais bien d'un travail sur document. Ce travail se présente sous la forme d'un questionnaire. Ce type d'activité est repérable dans le programme par l'indication « *étude documentaire* » ou « *étude de documents* » ou « *étude de texte* ».

Le travail sur document écrit, s'il est ressenti par certains élèves comme étant moins attrayant que celui sur vidéogramme, est cependant très utile pour préparer l'élève à la lecture attentive et critique de journaux, magazines, notices ou modes d'emploi, par exemple.

Ce travail peut être demandé en introduction d'une séance, pour créer une « accroche » ; il peut également être utilisé en approfondissement. Le document doit toujours être judicieusement choisi par l'enseignant : il doit évidemment être en rapport avec la partie du programme traitée, apporter un éclairage intéressant sur celle-ci et être rédigé dans un style simple et accessible aux élèves (cela ne veut pas dire que l'article doive être parfait : une analyse critique peut être très constructive).

Voir par exemple l'ANNEXE B : HISTOIRE DES SCIENCES

### 5.4.4 Un exemple de travail d'exploitation pédagogique d'un document audio et/ou vidéo :

Classe : 5<sup>ème</sup>

Partie du programme :

**A. L'eau dans notre environnement. Mélanges et corps purs.**

**LES CHANGEMENTS D'ÉTAT DE L'EAU, APPROCHE PHÉNOMÉNOLOGIQUE**

**- Deux exemples « vidéo » en classe de quatrième :**

**a. Les risques dus au monoxyde de carbone et leur prévention.**

Film réalisé par le **Centre Communal d'Action Sociale de la ville de Roubaix**

[http://www4b.ac-lille.fr/~physiquechimie/college/documents\\_d\\_accompagnement/cycle\\_central/](http://www4b.ac-lille.fr/~physiquechimie/college/documents_d_accompagnement/cycle_central/),

(ouvrir le fichier associé « VLC », installer « vlc.exe » puis cliquer sur « lisez-moi »)

**b. Film « Lavoisier »** (extrait de la cassette « Mélanges » de la collection « Galilée » : « Des phénomènes et des hommes » en vente au CNDP)

## Proposition d'exploitation de ce film relatif à Lavoisier

- Complétez la carte d'identité de Lavoisier.

NOM :	PRENOM :
Année de naissance :	Année de mort :
Nationalité :	Profession :
Découverte :	

- Quelle fonction administrative occupait Lavoisier sous Louis XVI ?

.....

- Avant Lavoisier, on pensait que les corps étaient constitués de quatre éléments : lesquels?

.....

- En 1776, Lavoisier réalise une célèbre expérience: il fait «bouillir» un métal liquide qui réagit avec le dioxygène de l'air et donne un solide rouge.

a) Quel est ce métal ?

.....

b) Qu'arrive-t-il à une souris plongée dans le gaz restant dans la cloche ?

.....

c) Grâce à cette expérience, Lavoisier montre que l'air est un mélange de deux gaz :

- l'air « respirable » : quel est le nom actuel de ce gaz ? .....

- l'air « mortel » : quel est le nom actuel de ce gaz ? .....

- En 1789, débute un événement historique très important auquel Lavoisier participe activement : de quel événement s'agit-il ?

.....

- Comment meurt Lavoisier ?

.....

## 6. L'ÉVALUATION

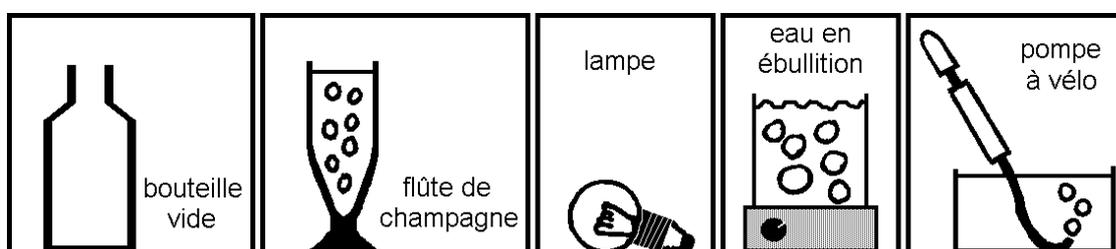
Tout acte d'enseignement doit être accompagné par une évaluation qui peut revêtir diverses formes.

### 6.1. ÉVALUATION DIAGNOSTIQUE

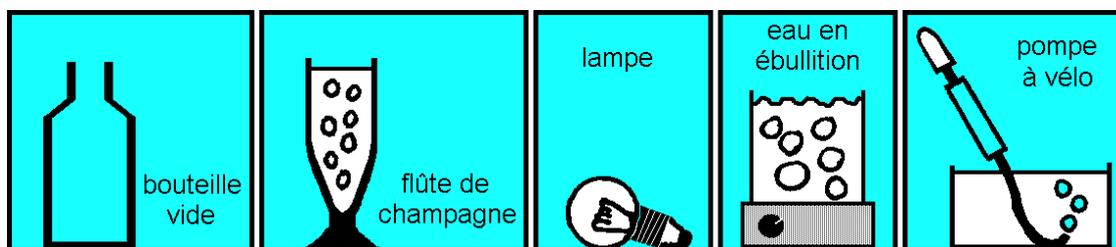
Il est recommandé aux professeurs de consulter les « fiches connaissances » de l'enseignement primaire pour évaluer les compétences préalables et les représentations des élèves avant d'aborder un sujet. Il s'agit d'une évaluation diagnostique qui est abordé dans le paragraphe « prise en compte des acquis de l'école primaire » de l'introduction commune à l'ensemble des disciplines scientifiques (annexe 1 des programmes du BO hors série n°6 du 19 avril 2007)

Un exemple d'une telle évaluation est proposé ci-après dans le cas de la « matérialité » de l'air (donc des gaz) :

*Colorier en bleu tous les endroits où il y a de l'air dans les cas de figure qui suivent.*



Solution



Rappelons que ce genre d'exercice a pour objectif de faire émerger les représentations initiales des élèves en soulevant le débat sur l'air et l'existence d'autres gaz. Ainsi colorier l'intérieur de la pompe peut, par exemple, être discuté avec la classe, de même que la présence d'air dissous dans l'eau...

**Il est fortement conseillé de varier les formes de l'évaluation afin de présenter à l'élève des situations diverses faisant appel à des compétences différentes.**

### 6.2. ÉVALUATION FORMATIVE

Une évaluation « formative », conduite en période d'apprentissage, peut permettre à l'enseignant de juger de la réceptivité de ses propos et de la compréhension par les élèves des points de programme abordés tant expérimentalement que théoriquement et éventuellement d'ajuster l'approche pédagogique.

Il s'agit d'observer les élèves dans leurs travaux, de les interroger sur la réalisation, la compréhension, d'intégrer des applications. Il est nécessaire de laisser chercher les élèves au brouillon, de leur laisser le temps suffisant pour exprimer leurs idées, de mu-

tualiser leurs représentations (élèves invités au tableau, transparents d'élèves rétroprojetés, tableau numérique interactif, salle multimédia en réseau, classe-pupitre ...).

Cette évaluation informe donc les élèves sur l'avancée de leurs connaissances et de leurs compétences et doit valoriser leur investissement et leur participation en tenant compte des bonnes réponses qui les encouragent ; elle doit aussi autoriser le droit à l'erreur qui permet souvent une remédiation constructive.

L'utilisation de critères de réussite a, entre autres avantages, l'intérêt d'aider les élèves à s'auto-évaluer.

Deux exemples sont proposés sur la schématisation de circuits électriques en 5<sup>ème</sup> dans **l'ANNEXE E 1. Exemples d'exercices pour une évaluation formative.**

### 6.3. ÉVALUATION SOMMATIVE

L'évaluation « sommative » permet de faire le point sur les acquis de l'élève, ce qui nécessite un apprentissage en amont. Elle se situe dans le cadre des compétences (Cf. : colonnes « *Connaissances* » et « *Capacités* » du programme). Elle s'appuie sur le travail réalisé en classe ou proposé à la maison sans aucun piège. Le réinvestissement de connaissances dans des situations connexes à celles déjà rencontrées est un art difficile pour un élève de collège : ce transfert correspond à un approfondissement qui peut être réservé au travail personnel (seul ou en groupe).

L'évaluation « sommative » doit être diversifiée (exercices traditionnels, à entrée expérimentale, à support documentaire, exposés ...). Elle complète les interrogations de connaissance écrites ou orales de très courte durée. Elle peut être présentée sur un support papier, sous forme audiovisuelle ou informatique.

La réussite à des exercices repose sur des critères. Tout en interrogeant la même compétence, l'enseignant peut établir une hiérarchie dans la difficulté à les résoudre compte tenu de la nature de la tâche demandée et de ce qui a été travaillé en amont.

Des exemples concernant la maîtrise du vocabulaire scientifique spécifique sont proposés sur les changements d'état dans **l'ANNEXE E 2. Exemples d'exercices pour une évaluation sommative.**

Il est recommandé de consacrer à l'évaluation sommative 10 % du temps élève soit 1,5 heure par trimestre au cycle central. Sa durée peut être modulée sans dépasser 30 minutes au cycle central. Il est souhaitable de procéder immédiatement à la correction.

Il est possible de distribuer un corrigé photocopié, détaillé et explicite, éventuellement incomplet (calculs littéraux et numériques inachevés) de façon à ce que l'élève puisse poursuivre un travail personnel ; pendant que les élèves s'approprient le corrigé, il est alors possible de demander à quelques uns de venir au bureau pour réaliser quelques expériences qui seront évaluées à l'aide d'une grille modeste réalisée à partir des items de capacités expérimentales du programme. L'état des lieux des connaissances et compétences que permet une telle évaluation ne doit pas être définitif. Il importe que l'élève sache que ce qui n'était pas acquis lors du test peut le devenir dans les semaines qui suivent d'où la nécessité d'une correction du test et d'un retour sur les problèmes rencontrés.

### 6.4. ÉVALUATION DES CAPACITÉS EXPÉRIMENTALES

Notre discipline s'appuyant fortement sur l'expérimentation, il est recommandé de prendre en compte cette composante à travers l'évaluation :

- de l'investissement de l'élève lors de la démarche d'investigation ;
- de la qualité de quelques comptes rendus d'activités ;
- des capacités expérimentales des élèves en situation.

Les capacités expérimentales sont mentionnées dans la colonne « capacités » des programmes.

### Remarques :

- Les évaluations expérimentales disciplinaires peuvent être complétées par la prise en compte de compétences transdisciplinaires qui offrent un autre regard sur l'élève.
- Il convient de ne pas oublier les conséquences de l'évaluation sur l'orientation. Il faut s'efforcer de repérer chez les élèves les compétences reliées aux sciences expérimentales afin de favoriser les orientations vers les formations scientifiques, techniques et professionnelles.

Une proposition d'évaluation à propos de l'intensité du courant électrique se trouve en **ANNEXE E 5**.

On trouvera quelques pistes d'évaluation, notamment sur les sites académiques suivants concernant les Sciences Physiques et Chimiques fondamentales et appliquées :

#### Académie de Lille :

[http://www4b.ac-lille.fr/~physiquechimie/college/documents\\_d\\_accompagnement/cycle\\_central/](http://www4b.ac-lille.fr/~physiquechimie/college/documents_d_accompagnement/cycle_central/)

#### Académie de Rennes :

[http://back.ac-rennes.fr/pedagogie/scphys/respeda/college/5eme/e\\_elec\\_divers/diverses\\_eval\\_exp\\_5eme.pdf](http://back.ac-rennes.fr/pedagogie/scphys/respeda/college/5eme/e_elec_divers/diverses_eval_exp_5eme.pdf)

[http://back.ac-rennes.fr/pedagogie/scphys/respeda/college/4eme/e\\_elec\\_divers/diverses\\_eval\\_exp\\_4eme.pdf](http://back.ac-rennes.fr/pedagogie/scphys/respeda/college/4eme/e_elec_divers/diverses_eval_exp_4eme.pdf)

(rubrique : complément au document d'accompagnement cycle central)

#### Académie de Paris : des exemples d'évaluation sont accessibles à l'adresse :

<http://physique.scola.ac-paris.fr> docs stage » ;

#### Académie de Créteil : des grilles d'évaluation de capacités expérimentales et des exemples sont disponibles à l'adresse :

[http://www.ac-creteil.fr/physique/html/niveaux/college/capacites\\_experimentales\\_college.htm](http://www.ac-creteil.fr/physique/html/niveaux/college/capacites_experimentales_college.htm)

### 6.5. ÉVALUER LA DÉMARCHE D'INVESTIGATION

L'approche pédagogique recommandée dans le programme étant la démarche d'investigation, il importe de savoir si l'élève a bien assimilé les étapes de cette démarche et s'il est capable de réagir correctement à des items qui s'y rattachent.

Quelques exemples sont proposés dans cet esprit dans le diaporama intitulé « Évaluer autrement » élaboré par un groupe de réflexion de l'Académie de Versailles. (Voir dans le dossier **ANNEXE E** le diaporama : *Evaluer autrement.ppt*).

### 6.6. VARIER LES SUPPORTS DE L'ÉVALUATION

Des activités documentaires sur **support papier** peuvent donner lieu à évaluation (**voir ANNEXE E 4**).

Des **supports audio ou vidéo** peuvent également retenir l'attention des élèves (**voir ANNEXE E 3** pour un exemple de document audiovisuel).

## 7. LE TRAVAIL PERSONNEL DES ÉLÈVES

L'évaluation est bien sûr indissociable du travail personnel de l'élève. Ce dernier peut prendre des formes diverses suivant l'établissement, l'existence d'un centre de ressources, la situation géographique qui maintient les élèves dans le collège ...

Quelles que soient les circonstances, il est primordial qu'il y ait une concertation entre les professeurs de la classe, en particulier avec l'enseignant principal, et les élèves afin de répartir harmonieusement le travail personnel de l'élève sur la semaine.

Ce travail personnel de l'élève est abordé dans le paragraphe « *Le travail personnel des élèves* » de *l'introduction commune à l'ensemble des disciplines scientifiques* (**annexe 1 des programmes du BO hors série n° 6 du 19 avril 2007**) :

voir <http://www.education.gouv.fr/bo/2007/hs6/default.htm>

Il est complété par le paragraphe « *Le travail des élèves et l'évaluation* » (**annexe 4 du BO hors série n° 6 du 19 avril 2007**).

Lorsque la contrainte de temps le permet, il est bon de faire réaliser ces travaux personnels en classe (exercices d'application, analyse de protocoles ....) afin de mieux cerner les difficultés des élèves et développer des méthodes de travail et de raisonnement. Dans ce cas, le tutorat entre élèves n'est pas à exclure.

Il peut revêtir la forme d'un travail de groupe lorsqu'il est relatif à des recherches sur Internet ou dans les encyclopédies, mais il faut veiller alors à ce que chacun y participe réellement. Il est souhaitable de solliciter l'aide du professeur-documentaliste dans ce cas.

L'hétérogénéité des classes nécessite souvent une personnalisation des activités.

Il est conseillé de s'assurer de l'adéquation du travail demandé avec les programmes d'autres disciplines concernées le cas échéant.

Ce travail personnel doit être réalisé sur un document identifiable que l'élève conserve et il peut, bien entendu, donner lieu à évaluation.

Suivant les sujets, il doit être corrigé collectivement en classe ou individuellement avec des conseils personnalisés.

Enfin, il doit être porté à la connaissance des parents par le cahier de textes de l'élève et doit figurer dans le cahier de textes de la classe.

## 8. MESURES ET INCERTITUDES

### Erreurs et Incertitudes en Physique-Chimie au Collège

René MOREAU

Inspecteur Général de sciences physiques et chimiques,  
fondamentales et appliquées

#### 8.1. GÉNÉRALITÉS

Au collège, en cinquième et en quatrième, les élèves mesurent des températures pour repérer les changements d'états, ils manipulent ampèremètres et voltmètres ; ils peuvent mettre en évidence la variation de volume de l'eau au cours de la fusion de la glace... En troisième, on mesure des distances et des temps, pour accéder à la notion de vitesse moyenne tandis que la relation entre masse et poids invite à mesurer ces deux types de grandeurs. Pour une résistance, l'ohmmètre permet de comparer son indication au quotient  $\frac{U}{I}$  des indications de deux appareils déjà connus. En chimie, enfin, l'usage du pH-mètre n'est pas exclu...

On pourrait multiplier les exemples qui posent le problème de la mesure et donc celui des *chiffres significatifs*, car, après un mesurage, individuel ou collectif, on doit en effet afficher le résultat, la mesure, et utiliser pour cela un certain nombre de chiffres significatifs et, en général, une unité.

Très tôt, en quatrième par exemple, il faut montrer aux élèves que *les indications fournies par les appareils de mesure sont entachées de petites erreurs* et que, de ce fait, et, parfois aussi, du fait de l'expérimentateur lui-même, il n'y a pas tout à fait coïncidence entre la valeur exacte d'une grandeur mesurée et la mesure correspondante. Évaluer l'ordre de grandeur de l'erreur commise sur une mesure, autrement dit, s'intéresser à l'*incertitude* qui lui est liée, doit, de temps en temps, faire partie des activités des élèves.

En troisième, on peut remarquer que de nombreuses grandeurs mesurées dépendent légèrement de facteurs physiques (température, pression, composition de l'air de la classe..) susceptibles d'évoluer en fonction du temps de manière incontrôlée. D'autres, comme les dimensions d'une table rectangulaire en bois, le diamètre d'une sphère imparfaite, ne sont définies qu'avec une certaine précision.

Ces réalités n'ont pas à être cachées (il ne faut donc pas, pour "vérifier" la loi des courants dérivés  $i = i_1 + i_2$ , choisir, comme on le fait parfois, des courants de 100 à 200 mA et utiliser pour les mesurer les calibres 10 A des trois ampèremètres utilisés !).

Les observations liées au mesurage conduiront ainsi professeurs et élèves à présenter la plupart des mesures et calculs effectués en classe, avec, simplement, deux ou trois chiffres significatifs et l'emploi correct des multiples et sous-multiples des unités légales ( $m = 12,3 \text{ g}$  ;  $V = 83 \text{ cm}^3$  ;  $F = 6,5 \text{ N}$  ;  $g = 9,8 \text{ N/kg}$  ;  $I = 24,5 \text{ mA}$  ;  $U = 4,5 \text{ V}$  ;  $R = 47,3 \text{ k}\Omega$  ;  $\theta = 99,5^\circ\text{C}$  ;  $P = 105 \text{ W}$  ; ...).

#### 8.2. LES CHIFFRES SIGNIFICATIFS

**8.2.1. Il s'agit d'un problème difficile** : la manière dont on s'exprime dans la vie courante n'en favorise pas la solution qui, de toute manière, n'est pas simple. En ville, quand une personne dit qu'elle a payé sa voiture neuve 12 000 €, cela signifie généralement qu'elle ne considère comme significatifs que les seuls deux premiers chiffres non nuls de cette somme alors que le prix réel, avec le plein d'essence, la carte grise et les plaques minéralogiques, était peut être 11 875,23 € ou, aussi bien, 12 356,89 €.

Si aucun des trois zéros n'est considéré comme significatif, la "bonne" manière de procéder, indiquant que le prix P payé est compris entre 11 500 € et 12 500 € (prix à 0,5 k€ près en valeur absolue, ou encore à 4,2 % près en valeur relative), consisterait à écrire  $P = 1,2 \times 10^4$  € ce qui apparaîtrait comme pédant.

**8.2.2. En mathématiques,** écrire  $m = 1\,597$  g, signifie que seul le dernier chiffre, 7, est incertain et qu'on a, en réalité :  $1\,596,5 \text{ g} \leq m \leq 1\,597,5 \text{ g}$ .

En effet si le résultat trouvé était  $1\,597,7$  g, par exemple, alors la masse m, arrondie au gramme, deviendrait  $1\,598$  g. En physique, en l'absence d'indication explicite sur l'incertitude attachée à m, on admet aussi que celle-ci est égale à une demi unité du dernier chiffre exprimé.

Les écritures  $m = 1\,597$  g ou  $m = (1\,597 \pm 0,5)$  g sont donc équivalentes.

En revanche, si l'on désire indiquer que l'incertitude  $\Delta m$  sur m est de 1 g, par exemple, au sens où l'intervalle  $[1\,596 \text{ g}, 1\,598 \text{ g}]$  a de fortes chances de contenir la vraie valeur de m, alors il faut écrire  $m = (1\,597 \pm 1)$  g.

Dans ce cas, on a donc mesuré une masse voisine de 1,6 kg à 1 g près, soit avec une précision relative  $\Delta m/m = 0,6 \times 10^{-3}$ . Une précision de cet ordre, très facilement réalisée en métrologie, est plus rare dans la vie courante.

*Au collège, la précision relative des mesures est couramment de l'ordre de  $10^{-2}$ , soit 1 % en pourcentage. Cela entraîne en général l'écriture définitive des mesures avec deux ou trois chiffres significatifs, par exemple :*

$m_1 = 11,6$  kg ;  $m_2 = 8,7$  g ;  $m_3 = 0,79$  kg ;  $m_4 = 228$  g.

Dans certains cas (appareils neufs ou de très bonne qualité ayant fait l'objet d'un suivi de maintenance), la précision relative atteint  $10^{-3}$ . La mesure correspondante s'écrit alors avec 3 chiffres significatifs ( $m_3 = 795$  g), ou quatre ( $U = 10,56$  V).

### 8.2.3. Quotients et produits

Dans les calculs où il y a des multiplications ou des divisions de grandeurs, du type

$z = x y$  ou  $z = \frac{x}{y}$ , la précision relative  $\Delta z/z$  du résultat final ne peut être meilleure que celle de la grandeur la moins précise : le rapport  $\Delta z/z$  est donc supérieur au plus

grand des rapports  $\frac{\Delta x}{x}$  ou  $\frac{\Delta y}{y}$ .

Dans la phrase qui précède, les incertitudes  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  et  $\Delta z$  sont telles qu'aux intervalles  $[x - \Delta x, x + \Delta x]$ ,  $[y - \Delta y, y + \Delta y]$  et  $[z - \Delta z, z + \Delta z]$  est attachée une probabilité "assez grande" (par exemple  $P \approx 0,95$ ) de contenir respectivement les valeurs exactes X, Y et Z : c'est cet aspect "probabiliste" qui est aujourd'hui universellement adopté y compris dans l'industrie. Avec cette hypothèse probabiliste, la justification rigoureuse de l'inégalité précédente ne peut être effectuée que dans l'enseignement supérieur. En revanche, si  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  et  $\Delta z$  sont, comme en mathématiques, des majorants des erreurs commises sur x, y et z, ce résultat peut, dès le collège, être "justifié" sur des exemples numériques. Mais cela suppose que l'on se place dans une hypothèse que les élèves devront nécessairement abandonner dans la suite de leurs études : il vaut donc mieux admettre simplement ce "théorème".

Pour illustrer le "théorème" précédent, supposons que l'on s'intéresse, afin, par exemple, de la comparer à la vitesse maximale annoncée, à la vitesse moyenne  $v_{\text{moy}}$  sur 1 000 m d'une voiture qui, arrêtée au départ, parcourt cette distance en 31,4 s. En l'absence de précision supplémentaire sur ces mesures, nous remarquons que la distance  $L = 1\,000$  m est donnée avec une précision relative de  $0,5 \times 10^{-3}$  et la durée t avec une précision relative de  $1,6 \times 10^{-3}$ . De ce fait, on ne peut donner la vitesse moyenne

$v_{\text{moy}} = \frac{L}{t}$  avec une précision meilleure que  $1,6 \times 10^{-3}$ .

La bonne manière d'exprimer le résultat est donc  $v_{\text{moy}} = 115 \text{ km/h}$ . La vitesse  $114,6 \text{ km/h}$  est trop précise (précision relative de  $0,44 \times 10^{-3}$ ), celle de  $1,1 \times 10^2 \text{ km/h}$  (précision relative  $45 \times 10^{-3}$ ) ne l'est pas assez. *On ne commet pas d'erreur grossière en remplaçant la règle ci-dessus par celle qui consiste à donner le résultat de la multiplication ou de la division avec un nombre de chiffres significatifs égal à celui de la donnée la moins précise.* Prenons un autre exemple : la mesure "à chaud" d'une résistance a donné  $R = 47,2 \Omega$  ; cette résistance est parcourue par un courant d'intensité  $I = 68 \text{ mA}$ . On demande de calculer la tension  $U$  à ses bornes.

Le résultat brut correspondant à l'application de la loi  $U = RI$  conduit à  $U = 3,2096 \text{ V}$ . Afin de savoir combien de chiffres significatifs il faut conserver (trois avec  $U = 3,21 \text{ V}$  ou deux en écrivant  $U = 3,2 \text{ V}$  ?), observons qu'en l'absence de précision supplémentaire, la donnée  $R = 47,2 \Omega$  signifie que l'incertitude absolue sur  $R$  est de  $0,05 \Omega$ , soit une incertitude relative  $\Delta R/R \approx 1 \times 10^{-3}$ .

De même, et avec la même restriction, on fait l'hypothèse que  $\Delta I/I \approx 7,3 \times 10^{-3}$ . Dans ces conditions, la précision relative  $\Delta U/U$  de la tension  $U$  ne peut être meilleure que  $7,3 \times 10^{-3}$ . Or, écrire  $U = 3,21 \text{ V}$ , sous-entend que l'incertitude  $\Delta U$  est égale à  $5 \text{ mV}$  et donc que la précision relative  $\Delta U/U$  est égale à  $1,6 \times 10^{-3}$ .

Le résultat cohérent avec les données, est donc  $U = 3,2 \text{ V}$  car cette écriture sous-entend bien que la précision relative ( $1,6 \times 10^{-2}$ ) sur  $U$  est moins bonne que celle qui correspond à la donnée,  $I$ , la moins précise.

En appliquant la règle simplifiée qui consiste à donner  $U$  avec 2 chiffres significatifs, puisque c'était le cas de  $I$ , on arrive au même résultat.

#### 8.2.4. AUTRES OPÉRATIONS

On se souviendra que le "théorème" précédent ne concerne pas les grandeurs  $z$  reliées à d'autres ( $x$  et  $y$  par exemple) par une relation de la forme  $z = \alpha x + \beta y$ .

Prenons l'exemple de la masse  $m$  d'un objet composé de deux parties qui est calculée en ajoutant les masses respectives  $m_1$  et  $m_2$  de chacune des deux parties.

Si  $m_1$ , par exemple a été mesurée au demi décigramme près ( $m_1 = 126,3 \text{ g}$ ) tandis que  $m_2$  l'a été au demi milligramme près ( $m_2 = 41,214 \text{ g}$ ), il est évident que la somme  $m$  de  $m_1$  et  $m_2$  devra être exprimée au demi décigramme près :  $m = m_1 + m_2 = 167,5 \text{ g}$  et non, comme on l'écrit trop souvent :  $m = 167,514 \text{ g}$ .

**8.2.5. L'emploi des puissances de 10 pour l'écriture des résultats, ou de "la notation ingénieur" recommandée dans le programme de mathématiques de la classe de quatrième, ou, ce qui revient pratiquement au même, l'emploi courant des multiples et sous multiples des unités légales, est indispensable pour maîtriser la question des chiffres significatifs.** Nous devons, en physique-chimie, habituer les élèves, dès le collège, à ne pas considérer comme totalement équivalentes des mesures différant les unes des autres par le nombre de chiffres significatifs. En particulier, les exercices de "conversions d'unités", nombreux, à juste titre, dans les manuels, devraient veiller au respect de ces nombres : si la capacité  $V$  d'une citerne est  $2,75 \text{ m}^3$ , elle peut certes s'exprimer en  $\text{mL}$ , mais en écrivant  $V = 2,75 \times 10^6 \text{ mL}$  et non  $V = 2\,750\,000 \text{ mL}$ , car cette dernière écriture, qui sous-entend que la capacité est connue au millilitre près, n'est pas équivalente à l'information initiale. De même on peut écrire que la consommation journalière en charbon d'une chaudière d'immeuble est de  $15 \text{ tonnes}$  (ou  $15,0 \text{ t}$  si elle varie très peu) mais certainement pas de  $15\,000\,000 \text{ grammes}$  !

Donnons encore l'exemple de la distance moyenne de la Terre autour du Soleil (moyenne temporelle), il s'agit de "l'unité astronomique" très proche de la longueur du demi grand axe de l'orbite de la Terre autour du Soleil :

$1 \text{ UA} = 1,495\,978\,70 \times 10^{11} \text{ m}$ . On prend souvent, à juste titre, pour valeur arrondie de cette distance, cent cinquante millions de kilomètres. Mais cela doit s'écrire :

1 UA =  $1,50 \times 10^8$  km, ou 1 UA =  $1,50 \times 10^{11}$  m, et non 150 000 000 km. Cette dernière écriture, en effet, semble donner la valeur de l'unité astronomique arrondie au kilomètre, alors que la valeur retenue par les astronomes en diffère de 402 130 km.

### 8.3. QUELQUES SOURCES D'ERREURS

#### 8.3.1. LA GRANDEUR MESURÉE, VARIE PARFOIS QUELQUE PEU, DE MANIÈRE NON MAÎTRISÉE

Prenons le cas de la résistance d'un dipôle ohmique classique de valeur nominale  $47 \Omega$  à 5% près (résistance "radio" portant les cercles jaune, violet, noir et doré). Cette résistance, selon le constructeur, est comprise entre  $44,5 \Omega$  et  $49,5 \Omega$ , mais, en général, elle est plus proche de  $47 \Omega$  que ne le laisse penser la largeur de cet intervalle. Mesurée à l'aide d'un ohmmètre fournissant 4 chiffres significatifs, on obtiendra par exemple  $R = 46,93 \Omega$  à la température de la salle.

Supposons qu'il s'agisse d'une résistance destinée à être insérée dans un montage et capable de dissiper au maximum la puissance  $0,5 \text{ W}$  ce qui advient lorsque la tension à ses bornes atteint  $4,8 \text{ V}$ . Quand on applique effectivement cette tension, la température moyenne de la résistance radio augmente souvent d'une quinzaine de degrés et, lorsque l'équilibre thermique est atteint, la nouvelle valeur de  $R$ , mesurée avec le même ohmmètre devient par exemple  $R' = 46,73 \Omega$ , soit  $0,20 \Omega$  de moins !

D'ailleurs, en serrant simplement la résistance entre le pouce et l'index, la valeur affichée passe alors, par exemple, de  $46,93 \Omega$  à  $46,82 \Omega$  en une ou deux minutes car la température de la résistance varie d'une dizaine de degrés au cours de cette opération.

*R varie donc avec la température et l'ensemble de ses valeurs, correspondant à un usage "normal", à température ambiante constante, occupe une plage de largeur voisine de  $0,2 \Omega$ .*

On en tire tout de suite une première conséquence : le quatrième chiffre significatif donné par l'appareil, correspondant à  $10 \text{ m}\Omega$ , n'a pas à être conservé puisqu'une variation de température de quelques degrés, couramment subie par la résistance, entraîne une variation de  $R$  dix fois supérieure ( $0,1 \Omega$ ) : on peut retenir  $R = 46,9 \Omega$  comme valeur de la résistance à la température de la salle et  $R = 46,7 \Omega$  lorsque la résistance s'est échauffée en dissipant sa puissance maximale (c'est la valeur "à chaud"). Si la puissance dissipée par la résistance est susceptible de varier entre 0 et  $0,5 \text{ W}$ , on estimera mieux sa valeur moyenne  $R$  en prenant la demi-somme de ces deux valeurs, soit  $R = 46,8 \Omega$ .

Nous venons d'aborder le cas d'une grandeur qui varie quelque peu en fonction de la température. On peut aisément observer que d'autres grandeurs, que l'on souhaiterait constantes, dépendent légèrement de paramètres extérieurs.

La température d'un liquide que l'on chauffe par le fond du contenant, ou qui se refroidit par sa surface libre, ou d'un liquide qui bout, n'est pas parfaitement homogène : au colège, on peut espérer déterminer une telle température au demi-degré Celsius près, mais non au dixième.

L'intensité du courant qui circule dans un circuit varie toujours un peu avec le temps, parce que les résistances du circuit et le générateur s'échauffent (ou la pile s'use) : on constate facilement qu'un courant réglé à la valeur  $i = 100,0 \text{ mA}$ , dérive par exemple jusqu'à  $99,5 \text{ mA}$  en quelques minutes.

La masse d'un liquide varie, lorsqu'il se trouve dans un récipient non fermé, parce que le liquide s'évapore plus ou moins rapidement.

Les variations au cours du temps de la valeur efficace  $U$  de la tension du secteur, voisine de  $230 \text{ V}$ , sont en général largement supérieures à  $1 \text{ V}$ .

Le pH d'une solution aqueuse faiblement concentrée, laissée à l'air libre dans une salle de classe occupée, peut varier avec le temps car du dioxyde de carbone s'y dissout, etc.

...

### 8.3.2. LES ERREURS DES APPAREILS DE MESURE ET DES MANIPULATEURS

Lorsque l'on désire vérifier si les indications de trois ampèremètres différents, utilisés pour mesurer  $I$ ,  $I_1$  et  $I_2$ , sont en conformité avec la loi  $I = I_1 + I_2$  des courants dérivés, il arrive couramment, avec les appareils numériques actuels, que les mesures respectives  $\hat{I}$ ,  $\hat{I}_1$  et  $\hat{I}_2$  des intensités  $I$ ,  $I_1$  et  $I_2$  ne satisfassent pas rigoureusement à l'égalité  $\hat{I} = \hat{I}_1 + \hat{I}_2$ . Il ne faut bien évidemment pas en laisser déduire que la loi n'est qu'approchée, mais traiter la difficulté.

Supposons par exemple qu'on utilise des appareils assez récents dont la notice indique que l'incertitude  $\Delta i$  attachée à chaque mesure est telle que  $\Delta i = 1 \% VL + 1 UR$  : VL est la valeur lue, tandis que le sigle 1 UR (une unité de représentation), signifie que l'on doit ajouter la valeur correspondant à une unité du dernier chiffre affiché. Par exemple, si  $\hat{I} = 187,2$  mA, alors  $1 \% VL = 1,9$  mA et comme  $1 UR = 0,1$  mA on aboutit à  $\Delta i = 2,0$  mA. Supposons que les mesures simultanées des intensités  $I_1$  et  $I_2$  aient été, respectivement, les suivantes :

$$\hat{I} = 187,2 \text{ mA}, \hat{I}_1 = 50,1 \text{ mA}, \hat{I}_2 = 138,6 \text{ mA}.$$

Bien que  $\hat{I}_1 + \hat{I}_2 = 188,7 \text{ mA} \neq \hat{I} = 187,2 \text{ mA}$ , ces mesures ne mettent pas en cause la loi des courants dérivés.

Elles sont même parfaitement compatibles avec elle puisque la différence  $(\hat{I}_1 + \hat{I}_2) - \hat{I} = 1,5$  mA est inférieure à la seule incertitude  $\Delta i = 2,0$  mA.

**Remarque 1 :** Les mesures  $\hat{I}$ ,  $\hat{I}_1$  et  $\hat{I}_2$  sont respectivement entachées des erreurs  $\varepsilon_i = \hat{I} - I$ ,  $\varepsilon_{i1} = \hat{I}_1 - I_1$ , et  $\varepsilon_{i2} = \hat{I}_2 - I_2$ . Si les incertitudes  $\Delta i$ ,  $\Delta i_1$  et  $\Delta i_2$  indiquées par le constructeur étaient effectivement les majorants respectifs de  $|\varepsilon_i|$ ,  $|\varepsilon_{i1}|$  et  $|\varepsilon_{i2}|$ , alors la somme

$(\Delta i + \Delta i_1 + \Delta i_2)$  égale à  $(2,0 + 0,6 + 1,5)$  mA ou encore à  $4,1$  mA, serait bien un majorant de la différence  $(\hat{I}_1 + \hat{I}_2 - \hat{I})$ . Mais ce n'est généralement pas le cas : l'expérience montre en effet que les incertitudes  $\Delta i$ ,  $\Delta i_1$  et  $\Delta i_2$  annoncées par le constructeur, ne sont pas véritablement des majorants de  $|\varepsilon_i|$ ,  $|\varepsilon_{i1}|$  et  $|\varepsilon_{i2}|$ .

Dans le meilleur des cas (voir la remarque n° 2), il existe seulement une forte probabilité ( $P = 0,95$ , par exemple, la certitude correspondant à  $P = 1$ ) pour que les intervalles  $(\hat{I} - \Delta i, \hat{I} + \Delta i)$ ,  $(\hat{I}_1 - \Delta i_1, \hat{I}_1 + \Delta i_1)$  et  $(\hat{I}_2 - \Delta i_2, \hat{I}_2 + \Delta i_2)$  contiennent les valeurs exactes respectives  $I$ ,  $I_1$  et  $I_2$ .

Dans ces conditions, on montre qu'avec la même probabilité  $P$ , la différence  $(\hat{I}_1 + \hat{I}_2 - \hat{I})$  est située à l'intérieur de l'intervalle  $[-\delta i + \delta i]$ , avec

$$\delta i = \sqrt{(\Delta i)^2 + (\Delta i_1)^2 + (\Delta i_2)^2}$$

La justification de cette expression exige des développements mathématiques dépassant le niveau du collège ou même celui du lycée ; elle n'est rappelée ici aux professeurs que pour montrer que la différence observée  $(\hat{I}_1 + \hat{I}_2) - \hat{I} = 1,5$  mA est parfaitement compatible avec la loi des courants dérivés.

*Au niveau du collège, il n'y a pas lieu d'évoquer le calcul de l'incertitude d'une somme algébrique à partir des incertitudes de chacun des termes de celle-ci.*

**Remarque 2 :** Au collège, comme en classe de seconde, où les appareils ne sont pas toujours de très grande qualité, le calcul de l'incertitude sur une mesure donnée par un appareil à l'aide de sa notice est un peu risqué. Parfois, en effet, après un ou deux ans d'usage, les appareils de bas de gamme se dérèglent quelque peu et il arrive que, lors du mesurage d'une grandeur  $X$  à l'aide de l'un de ces appareils, qui en fournit la mesure  $x$ , l'intervalle  $(x - \Delta x, x + \Delta x)$  ne contienne pas  $X$ ,  $\Delta x$  étant calculé d'après la notice.

C'est le cas, par exemple, si la mesure d'une masse marquée de précision, de valeur  $50,0000$  g, par une balance de collège conduit au résultat  $m = 50,2$  g.

Prenons un autre exemple : dans un établissement, on a placé en série 15 multimètres numériques à 2 000 points, utilisés en ampèremètres : il s'agit d'un lot d'appareils iden-

tiques, utilisés depuis plusieurs années. Pour le calibre utilisé (200 mA), la notice commune indique que l'incertitude  $\Delta i$ , se détermine par l'expression :  $\Delta i = 1 \% VL + 1UR$ .

L'intensité mesurée  $I$  étant voisine de 96 mA, on en déduit  $\Delta i = 1,1$  mA.

Si les appareils étaient neufs, entre la plus grande et la plus petite de leurs indications, la différence ne devrait guère dépasser  $2 \Delta i = 2,2$  mA. Or, les différentes indications des appareils, rangées par ordre croissant, et exprimées en milliampères sont :

94,1 ; 94,8 ; 94,8 ; 94,9 ; 95,0 ; 95,1 ; 95,4 ; 96,1 ; 96,5 ; 97,7 ; 97,7 ; 98,2 ; 98,2 ; 98,4 ; 99,6 .

On constate que l'étendue  $r = \hat{i}_{\max} - \hat{i}_{\min}$  est égale à 5,5 mA : elle est donc 2,5 fois plus grande que ce que laissait prévoir la notice, par conséquent ces appareils ne sont plus conformes à ce que prédit cette dernière.

Par ailleurs la moyenne de ces 15 mesures étant  $\bar{i} = 96,43$  mA et leur écart type  $\sigma_i = 1,72$  mA, un calcul d'incertitude classique, mais dépassant le niveau du collège, montre qu'il y a de fortes chances (95 %) pour que l'intensité  $I$  mesurée se situe à l'intérieur de l'intervalle  $(96,43 \pm 0,95)$  mA, soit sensiblement :  $(95,5 \text{ mA} ; 97,4 \text{ mA})$ .

On constate donc que les deux appareils qui donnent les indications les plus marginales, fournissent des intervalles,  $(94,1 \pm 1,1)$  mA et  $(99,6 \pm 1,1)$  mA) ne contenant certainement pas  $I$ .

Sans être toujours aussi marqué que dans l'exemple précédent, le fait est tout de même assez fréquent.

Au collège, il est hors de question de faire ré-étalonner de tels appareils puisqu'une telle procédure n'a pas été prévue lors de leur fabrication, mais une telle opération permet toutefois d'isoler ceux des appareils dont les indications sont très éloignées des autres (ce n'est pas le cas dans cet exemple où aucune des 15 mesures ne peut être considérée comme aberrante et où la dispersion des indications, due au vieillissement de la collection, peut être considérée comme "normale").

Il est possible de réévaluer l'incertitude sur une mesure effectuée avec l'un de ces appareils pris au hasard dans la collection. Il faut pour cela effectuer un petit calcul de statistiques qui, sans être difficile, ne peut pas être présenté aux collégiens mais que leurs maîtres, eux, peuvent effectuer (l'incertitude sur une telle mesure peut être estimée par le double de l'écart type de l'échantillon observé : ici  $\sigma_i = 1,7$  mA, donc  $\Delta i = 3,4$  mA).

Devant une telle constatation de variabilité, on se contentera d'affirmer que la meilleure manière d'estimer l'intensité  $I$  précédente consiste à prendre la moyenne des quinze indications.

#### 8.4. CONCLUSION

La plupart des considérations qui précèdent sont bien entendu au seul usage des professeurs. Au cours de la première étape de sensibilisation des élèves aux résultats de mesure, il importe surtout d'être attentif à la notion de chiffres significatifs et à la cohérence des résultats de certains calculs. A l'occasion de telle ou telle manipulation, on pourra mettre en évidence que certaines grandeurs sont définies avec une certaine imprécision (hauteur d'une colonne de liquide dans un tube, distance focale d'une lentille en lumière blanche..), tandis que d'autres peuvent légèrement varier en fonction de paramètres physiques non maîtrisés : on en déduira le nombre de chiffres significatifs à conserver. Mais ceci ne fera pas l'objet d'un cours.

De même c'est lorsque l'occasion se présentera, c'est à dire, peut-être une ou deux fois dans l'année, que l'on effectuera plusieurs mesures indépendantes d'une même grandeur dans le but de mettre en évidence la dispersion naturelle des mesures. Une telle occasion pourra d'ailleurs permettre *au professeur* d'évaluer l'incertitude sur une mesure individuelle.

Si, en outre la grandeur mesurée présente de l'intérêt, il faut en profiter pour l'estimer par la *moyenne* des mesures, celles-ci étant indépendantes et effectuées dans les mêmes conditions : on sera généralement surpris de la précision d'une telle évaluation.

L'amélioration de la précision d'une mesure par la répétition de mesures indépendantes et le calcul de leur moyenne est en effet connu depuis environ deux siècles : c'est le physicien français Borda qui en eut l'intuition dès avant la Révolution française, mais ce n'est que vers 1820 que les mathématiciens (et en particulier Gauss qui était aussi physicien), établirent que la variabilité de la moyenne  $\bar{x}$  de  $n$  mesures indépendantes d'une même grandeur  $X$  est plus faible (dans un rapport égal à  $\sqrt{n}$ ) que celle des mesures uniques de cette même grandeur.

## 9. LA SÉCURITÉ

De nombreux textes existent concernant la sécurité au laboratoire de physique et de chimie. certains sont notamment disponibles sur :

- le site de l'INRS : <http://www.INRS.fr>
- le site de l'Observatoire National de la Sécurité : [http://ons.education.gouv.fr/texte\\_off.htm](http://ons.education.gouv.fr/texte_off.htm)
- le site de l'académie de Nancy-Metz : <http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/physique/Securite/sommaire.htm>

En physique, le problème majeur est celui de la conformité électrique. Il ne faut pas non plus négliger les précautions indispensables lors de l'utilisation d'un laser.

En chimie, l'Observatoire National de la Sécurité dans les établissements scolaires rappelle, dans son document « La prévention du risque chimique dans les établissements scolaires », que le port d'une blouse en coton et de lunettes de protection est **obligatoire** lors des manipulations. La blouse doit être boutonnée, les cheveux attachés. Il est conseillé, suivant les cas, le port de gants et de chaussures fermées (voir **ANNEXE F 1. Quelques recommandations pour les professeurs**).

Outre les produits interdits dont la manipulation et le stockage demandent des précautions très particulières, il est recommandé de se référer aux fiches de sécurité (INRS, fournisseurs, ...). Certains déchets issus des expériences nécessitent une récupération spécifique avant leur enlèvement par une société spécialisée.

Concernant le risque électrique domestique, un petit exercice de réflexion peut être proposé aux élèves [voir **ANNEXE F 3 risques électriques (document pour l'élève et document pour l'enseignant)**].

D'une façon plus générale, la sécurité électrique est présentée sous forme d'un diaporama (voir dans le dossier **ANNEXE F le fichier "sécurité électrique interactif.ppt"**) accompagné d'un texte (voir **ANNEXE F 2. l'enseignant de sciences physiques et la sécurité électrique**).

Dans un cadre plus large, il est souhaitable que l'enseignant connaisse également le rôle du responsable de laboratoire qu'il assume souvent (voir **ANNEXE F 4. VADE-MECUM**).

PARTIE THEMATIQUE

# CLASSE DE CINQUIÈME

## A. L'eau dans notre environnement. Mélanges et corps purs

### A1. L'EAU DANS NOTRE ENVIRONNEMENT

Le texte ci-dessous, est extrait du site :

<http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/accueil.html>

Il peut permettre d'introduire, en classe de 5<sup>ème</sup>, le thème de « l'eau dans notre environnement ».

*« La Terre est la seule planète du système solaire à posséder autant d'eau sur sa surface et dans son atmosphère. On la surnomme même la planète bleue depuis qu'elle est ainsi apparue, vue de l'espace, aux premiers astronautes.*

*L'eau est probablement l'une des ressources les plus abondantes de la Terre. Mais elle est très inégalement répartie sur la surface du globe et seule une part limitée est réellement directement disponible pour notre consommation.*

*Grâce aux conditions particulières de température et de pression qui règnent sur Terre, l'eau y est présente dans ses trois états : sous forme de vapeur d'eau dans l'atmosphère, sous forme liquide sur la surface et dans la croûte terrestre mais aussi au sein de tous les organismes vivants, ou encore figée en glace aux pôles ou aux sommets des hautes montagnes. C'est ainsi que l'on distingue quatre grands réservoirs d'eau dans l'hydrosphère : les mers et océans, les eaux continentales (superficielles et souterraines), l'atmosphère et la biosphère.*

*Remarque : certains auteurs distinguent 5 réservoirs (mers et océans, glaces polaires, eaux de surface, eaux souterraines et vapeur d'eau dans l'atmosphère). La biosphère n'est pas prise en compte car son eau n'est pas accessible.*

*La présence de toute cette eau est très importante. Liquide, elle contribue de manière essentielle au façonnement de notre planète, creusant les vallées, érodant les reliefs. Elle a permis l'apparition de la vie et demeure encore indispensable à son maintien. Sous forme de vapeur d'eau dans l'atmosphère, elle forme un écran qui protège les organismes vivants du rayonnement ultraviolet solaire. En atténuant, le jour, le rayonnement solaire reçu par la Terre et en empêchant, la nuit, le rayonnement infrarouge émis par la Terre de s'échapper dans l'espace, la vapeur d'eau garantit une stabilité de la température terrestre. Elle assure enfin le transfert de chaleur entre les océans, l'atmosphère et les continents.*

*Les eaux de surface sont de loin les plus abondantes, en particulier les mers et océans qui recouvrent les trois quarts de la surface du globe. Contrairement parfois aux apparences, ces eaux ne sont jamais immobiles. Elles circulent en permanence, en surface sous l'action des vents, et plus en profondeur sous l'effet des courants marins générés par les différences de température et de salinité des eaux. Elles bougent aussi avec le flux et le reflux des marées. Les eaux de surface, ce sont aussi tous les cours d'eau qui dévalent les pentes et glissent au fond des vallées jusqu'aux mers qui les accueillent, ainsi que les lacs, étangs, mares et marais, plus calmes, plus étales.*

Certaines de ces eaux sont douces, d'autres sont salées. La salinité des eaux provient de leur capacité à dissoudre les sels minéraux contenus dans les roches. Les mers et les océans surtout sont salés du fait de l'apport permanent de sels dissous par les rivières et de l'évaporation importante de l'eau. Certains lacs sans exutoire sont également salés.

Loin de notre regard, les eaux souterraines, issues de l'infiltration des eaux de pluie, forment des nappes ou cours d'eau souterrains. Pour la plupart, elles circulent à plus ou moins grande profondeur et grande vitesse dans la croûte terrestre et ressortent à l'air libre dans le cours d'une rivière ou sous la forme de sources jaillissantes. Quelques-unes cependant ne circulent pas du tout : elles sont emprisonnées dans la roche, parfois depuis très longtemps ».

On peut également profiter de ce début de programme pour introduire l'histoire de la météorologie (voir le document « L'histoire des sciences : la météorologie et la climatologie » sur le site de l'académie de Paris) ou aborder une réflexion sur l'eau dans le corps humain formé à 60 % d'eau environ (où la « puise-t-il ? »).

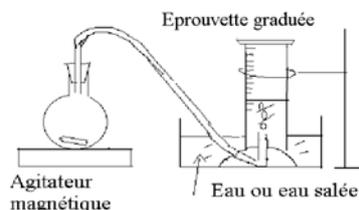
## A2. MÉLANGES AQUEUX

L'eau peut contenir un gaz dissous. Réalisation du dégazage d'une eau minérale pétillante.

Cette partie du programme peut s'appuyer sur une démarche d'investigation telle que décrite dans le document intitulé « Perrier® versé dans un aquarium » (voir ANNEXE A 2. Démarche d'investigation en classe de cinquième : recueil et identification du dioxyde de carbone).

Le dégazage d'une eau minérale pétillante peut se concevoir en manipulation par l'enseignant ou par les élèves.

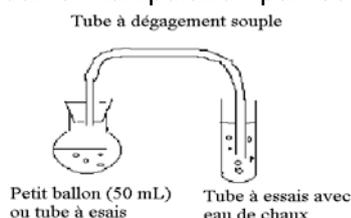
Dans le premier cas, le montage est le suivant :



On peut chauffer éventuellement le ballon à l'aide d'un agitateur magnétique chauffant ou en le plaçant dans un récipient d'eau chaude posé sur l'agitateur magnétique.

À froid, on arrive à extraire  $220 \text{ cm}^3$  de gaz pour une bouteille de 20 cL et on observe une perte de masse d'environ 0,4 gramme. À chaud, pour des températures de l'ordre de  $60^\circ\text{C}$  on arrive à extraire  $100 \text{ cm}^3$  supplémentaires. Au total, on arrive à  $320 \text{ cm}^3$  et la perte de masse est environ 0,7 gramme ce qui est à peu près en accord avec les résultats attendus (dans les conditions normales de température et de pression, la masse d'un litre de dioxyde de carbone est de l'ordre de 2 grammes).

Pour la manipulation par les élèves, on propose la technique illustrée ci-dessous.



En agitant le ballon, on récupère à froid le dioxyde de carbone qui trouble l'eau de chaux. L'expérience ne présente aucune difficulté.

Une idée de démarche d'investigation : comment recueillir le gaz dissous dans une eau minérale pétillante ?

Remarque:

On a choisi l'expression « eau pétillante » plutôt que « eau gazeuse » pour que les élèves ne confondent pas avec l'eau à l'état gazeux.

### **A3. MÉLANGES HOMOGENES ET CORPS PURS : UNE EAU LIMPIDE EST-ELLE UNE EAU PURE ?**

#### **A3.1 Chromatographie de colorants alimentaires dans une boisson, un sirop homogène ou une encre**

[http://www.ac-versailles.fr/pedagogi/physique-chimie/ipr/new\\_prog\\_college.htm](http://www.ac-versailles.fr/pedagogi/physique-chimie/ipr/new_prog_college.htm)

(voir « mélange vert »)

#### **Manipulation**

Groupe d'élèves

#### **Objectifs**

Suivre un protocole expérimental.

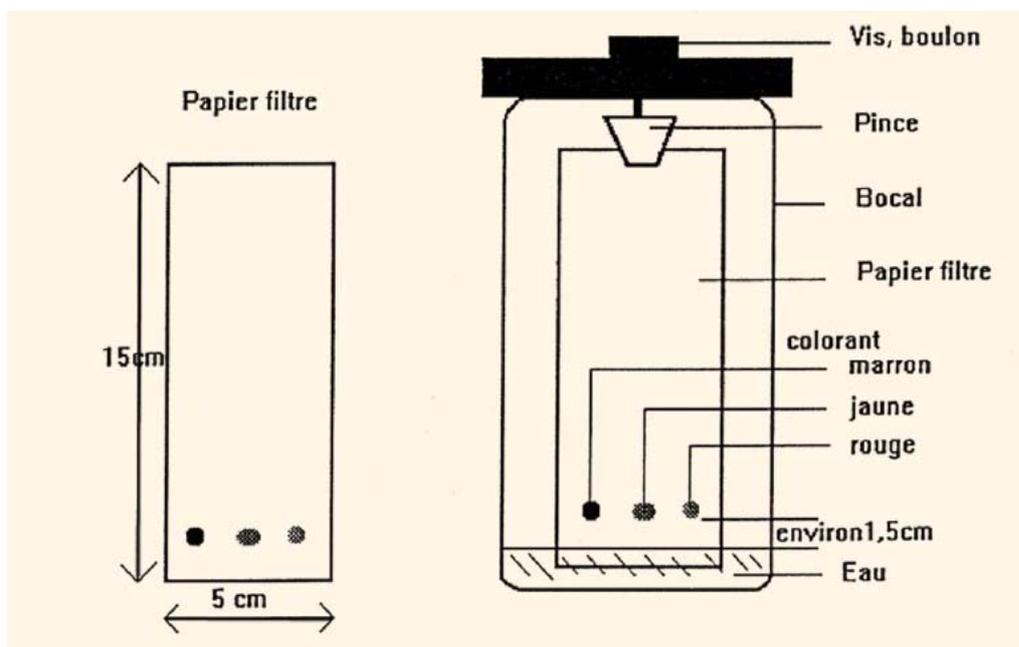
Mettre en œuvre une technique de séparation de constituants.

#### **Matériel**

Par groupe d'élèves :

- un bocal dont le couvercle est muni d'un système de pinces (à dessin, crocodile, etc).
- un agitateur fin par équipe.
- des bandes de papier filtre environ de 5 cm par 15 cm (suivant la taille du bocal !).
- 3 colorants alimentaires, vendus par blister de trois tubes : jaune : E102 (tartrazine), rouge : E122 (azorubine), vert : mélange de jaune et de bleu E131 (dit « bleu patenté »).
- Préparer éventuellement avant la séance un 4<sup>ème</sup> tube de colorant marron en les mélangeant dans les proportions suivantes : 1 volume de vert + 3 volumes de rouge + 1 volume de jaune.
- On peut comparer la migration des colorants jaune – vert ou marron – jaune – rouge ou d'autres combinaisons.

#### **Schéma de montage**



### Points qui méritent une attention particulière

L'espace entre le niveau de l'eau et celui des colorants lors de leur dépôt doit être suffisant pour éviter une migration trop importante vers le bas (évitez que l'eau ne touche les taches). Sortir la bande de papier filtre avant que l'eau n'atteigne le haut de la bande.

### Durée

Observer la migration des colorants durant une dizaine de minutes.

### Résultats

On observe des vitesses de migration différentes pour chaque colorant. La vitesse du rouge est la plus faible, celle du jaune est intermédiaire. Le marron fait apparaître 3 colorants distincts, le rouge, le jaune, le bleu ; ce dernier migre le plus rapidement.

Les sites d'Hervé This proposent des activités en lien, entre autres avec la chromatographie. Voir:

[http://www.inra.fr/la\\_sciences\\_et\\_vous/apprendre\\_experimenter/gastronomie\\_moleculaire](http://www.inra.fr/la_sciences_et_vous/apprendre_experimenter/gastronomie_moleculaire)

<http://www.academie-sciences.fr/fondations/FSCA.htm>

[http://www.college-de-france.fr/chaires/chaire10/page\\_herve/recherche\\_herve.htm](http://www.college-de-france.fr/chaires/chaire10/page_herve/recherche_herve.htm)

### A3.2 Protection et gestion de l'eau (en lien avec EDD)

Dans l'introduction de la partie **A**. « *L'eau dans notre environnement. Mélanges et corps purs* », il est précisé : "Le traitement des eaux destinées à être potables et l'épuration des eaux usées sont des enjeux majeurs pour l'humanité."

Ainsi l'eau doit être gérée comme une matière première pour sa quantité mais aussi pour sa qualité. Tout citoyen doit respecter l'eau et connaître les moyens mis en œuvre pour la protéger. Une étude documentaire pourra être utilement complétée par la visite d'une station d'épuration. Elle permettra aussi le développement d'activités avec les enseignants d'autres disciplines, par exemple dans le cadre des thèmes de convergence. La fiche ci-dessous s'appuie sur des documents professionnels.

### Eau brute et eau potable

**En France, chaque habitant consomme quotidiennement 140 litres d'eau douce. Mais, cette eau douce ne représente qu'une très faible proportion des réserves d'eau de la planète, même si on comprend dans ces réserves les glaces difficile-**

ment accessibles de l'Antarctique et du Groenland. L'approvisionnement des réserves d'eau douce est assuré par les précipitations atmosphériques. L'eau, par ruissellement ou par infiltration, alimente les réserves de surface ou les réserves souterraines. Les analyses de différents paramètres de ces eaux permettent d'en déduire si elles sont potables (propres à la consommation humaine) ou si elles nécessitent un traitement pour le devenir. Le décret 2001-1220 du 20 décembre 2001 du Ministère de la Santé relatif aux « eaux destinées à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux minérales naturelles » définit les limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine. Ce texte met en conformité le droit français avec la directive européenne du 3 novembre 1998 : <http://www.admi.net/jo/20011222/> (dans « Ministère de l'emploi et de la solidarité »)

Dans le droit fil de ce décret, un document relatif à son application dans le cas d'un excès d'arsenic dans l'eau peut être proposé aux élèves :

ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE  
LES EAUX, MÉLANGES HOMOGENES

L'activité d'analyse de documents qui suit peut avoir comme objectif, en particulier, de conduire les élèves à opérer naturellement des recoupements d'informations venant de sources différentes. L'enseignant construira l'activité comme il le souhaite. Des possibilités de questions à poser aux élèves sont proposées pour l'y aider.

**DOCUMENT 1**

À partir d'un document du 15 décembre 2005 (AFP) – 19 h 20

(...) trop d'arsenic dans l'eau, un village au régime sec

Des habitants de la commune de XXX (...) ont été invités à ne plus consommer l'eau de leur village, plus chargée en arsenic que d'habitude, a-t-on appris jeudi auprès de la préfecture.

Le maire de la commune (...) a précisé jeudi soir que la mesure touchait un tiers des habitants, le village disposant de deux autres sources. "Nous allons installer un traitement de l'eau vers le mois de mars, plus tôt que prévu", a-t-il ajouté.

La Direction départementale de l'action sanitaire et sociale (DDASS) a indiqué qu' "au dernier contrôle trimestriel en novembre, 15 microgrammes d'arsenic par litre avaient été trouvés en moyenne, soit davantage que les 10 microgrammes prévus par la réglementation et que les 13 tolérés par dérogation".

Cet arsenic est d'origine naturelle dans cette commune de 1160 habitants (...), selon la même source. Jusqu'à la nouvelle norme européenne du 31 décembre 2003, un taux de 50 microgrammes était admis.

Selon un responsable d'un syndicat des eaux voisin, XXX capte ses eaux dans d'anciennes mines (...), où étaient produits du cuivre ou du plomb argentifère.

La mairie de la commune étudie un traitement de ses eaux par filtration. Les habitants peuvent toutefois continuer à utiliser l'eau pour leur hygiène corporelle et domestique.

**DOCUMENT 2**

**Eaux destinées à la consommation humaine**

Les eaux doivent respecter des valeurs inférieures ou égales aux limites de qualité définies ci-après :

	Limites de qualité françaises en vigueur	Limites de qualité françaises avant 2002
<b>arsenic</b>	10 µg /L	50 µg /L
<b>cuivre</b>	2000 µg /L	1000 µg /L
<b>mercure</b>	1 µg /L	1 µg /L
<b>nickel</b>	20 µg /L	50 µg /L
<b>plomb</b>	10 µg /L	50 µg /L

### DOCUMENT 3

#### Lexique :

**argentifère** : qui renferme de l'argent. *Exemple* : *minerais argentifères*.

**arsenic** : élément dont certains composés servent de toxiques (mort-aux-rats, insecticides).

**Dérogation** : exception, faveur accordée permettant de s'écarter de ce qui est établi par une norme, une loi.

**microgramme (µg)** : unité de masse, le millionième de gramme.

**microgramme par litre (µg/L)** : unité de concentration massique. *Exemple* : *une personne qui boit deux litres d'une eau à 3 microgrammes d'arsenic par litre absorbe une masse de 6 microgrammes d'arsenic*.

#### Exemples de questions sur le document 1 :

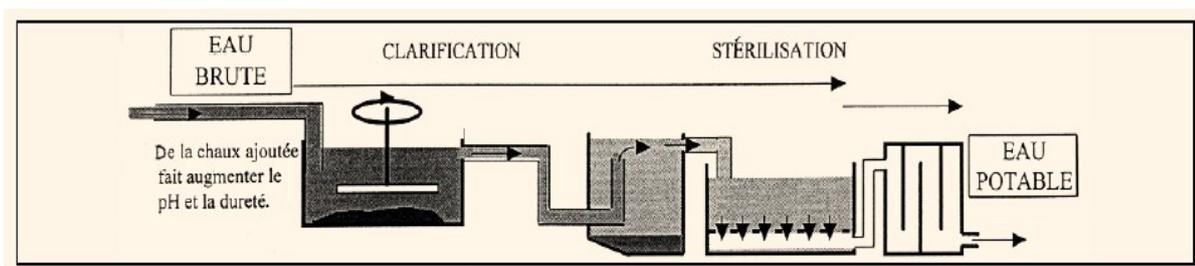
- Quel événement a déclenché la décision du maire ?
- Quelle mesure le maire de XXX a-t-il pris pour les habitants de sa commune ?
- Combien d'habitants de la commune de XXX sont touchés par cette mesure ?
- À quel taux maximum, en microgrammes par litre, l'arsenic est-il toléré actuellement dans l'eau de la commune de XXX ?
- Quel taux en arsenic a provoqué la réaction du maire ?
- Ce taux aurait-il fait réagir le maire de la même façon si l'on avait été, par exemple, en 2000 ou en 2001 ? Expliquer.
- Quels éléments autres que l'arsenic surveille-t-on probablement dans l'eau de consommation de la commune de XXX ? Justifier.

#### Exemples de questions sur le document 2 :

- Les limites de qualité concernent-elles la France ou l'Europe ?
- Parmi les éléments présents dans le tableau, pour lequel la limite est-elle la plus stricte ? Pour lequel la limite est-elle la moins stricte ?
- À quel taux maximum, en microgrammes par litre, l'arsenic est-il admis actuellement dans l'eau des communes de France ?
- Pour quels éléments les normes ont-elles évolué entre la réglementation d'avant 2002 et celle en vigueur actuellement ? Les limites sont-elles devenues plus ou moins exigeantes sur la qualité de l'eau ?

### Station de production d'eau potable : le traitement des eaux brutes

Dans le cas d'une eau d'origine souterraine (meilleure protection vis-à-vis des pollutions), le traitement peut être simplifié mais, dans le cas d'une eau de surface, il doit être complet.



Tamissage Dégrillage	Floculation	Décantation	Filtration	Désinfection
Élimination des corps flottants et des particules en suspension	Élimination des matières en suspension, des algues et des particules colloïdales	Élimination : flocons plus denses que l'eau. Élimination des boues formées	Élimination derniers flocons et particules	Élimination : germes pathogènes
Maille des tamis : 0,5 à 2 mm	Une solution diluée de sulfate d'alumine* provoque la coagulation des particules et la formation de flocons.	L'eau coule doucement dans un long bassin de décantation.	Filtre sur lit de sable fin (0,8 à 1,5 m d'épaisseur). Filtre sur charbon actif	Chloration : injection d'eau de Javel ou de chlore. Ozonation : 1 à 4 mg/L

\* le sulfate d'alumine est le nom d'usage dans l'industrie du sulfate d'aluminium

### Eaux usées – qualité des eaux de rivière

Les eaux douces et notamment les eaux courantes de nos ruisseaux et de nos rivières constituent des milieux naturels composés d'un milieu vivant (végétaux et animaux) : la biocénose, évoluant dans un milieu que l'on peut caractériser par des paramètres physico-chimiques : le biotope. Cet ensemble désigné sous le nom d'écosystème fonctionne tout en respectant certains équilibres entre les deux milieux (vivant et non vivant). Lorsque cet écosystème aquatique est modifié, il y a pollution.

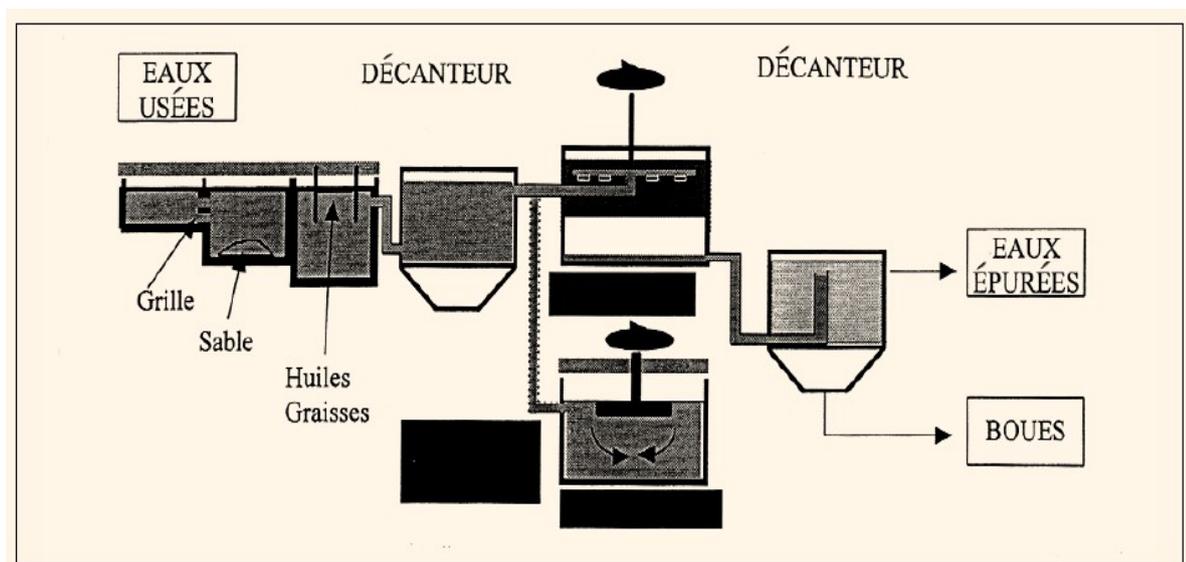
À partir des paramètres physico-chimiques et hydrobiologiques, on peut attribuer à la rivière une classe de qualité qui permet d'évaluer son degré de pollution.

## La station d'épuration des eaux usées

Traitement primaire	Traitement secondaire	Traitement des boues
Élimination des matières en suspension (déchets, sable, etc.) ainsi que des huiles	Élimination des matières minérales ou organiques en solution dans l'eau	Transformation en matières inorganiques stables
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dégrillage (gros déchets)</li> <li>- Tamisage (déchets plus fins)</li> <li>- Dessablage (terre, sable)</li> <li>- Déshuilage (huiles récupérées par flottation)</li> <li>- Décantation primaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Épuration biologique dans des bassins bien oxygénés et riches en bactéries : transformation des matières organiques biodégradables par les cultures bactériennes.               <ul style="list-style-type: none"> <li>- libres dans les boues activées</li> <li>- fixées dans les lits bactériens</li> <li>- décantation secondaire</li> </ul> </li> <li>- Traitement physico-chimique               <ul style="list-style-type: none"> <li>- floculation</li> <li>- centrifugation, filtration</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stabilisation sous l'action de micro-organismes</li> <li>- Déshydratation : diminution de volume</li> <li>- Incinération</li> <li>- Utilisation comme engrais agricole</li> </ul>

La qualité des eaux de rivière dépend en partie des rejets des eaux usées domestiques et des eaux industrielles. L'eau contient du dioxygène dissous à l'état moléculaire ; sa présence est vitale pour la faune (aérobie) et la flore. Des rejets d'eaux usées contenant des substances organiques vont, par exemple, accélérer l'activité bactérienne ; la consommation de dioxygène augmentant, sa concentration diminuera. L'apport de substances nutritives (nitrates, phosphates) entraîne une prolifération des plantes aquatiques dans les lacs et rivières lentes. Des rejets de substances toxiques modifieront aussi la composition physico-chimique de l'eau et sa qualité. Lorsque la quantité de matières polluantes n'est pas trop importante, l'auto-épuration, qui est essentiellement une oxydation, agit (organismes vivants dans le milieu aquatique oxygéné) mais elle est limitée. Pour protéger les eaux, il est donc indispensable de collecter séparément les eaux pluviales et les eaux usées. Ces dernières sont dirigées par un réseau d'égouts vers une station d'épuration pour y être traitées avant d'être rejetées dans le milieu naturel.

### Schéma simplifié d'une station d'épuration des eaux usées



Qui s'occupe de l'eau ? La gestion de l'eau est organisée en Agences de bassins hydrographiques : les Agences de l'eau. Le contrôle de la qualité des eaux par l'État est exercé par le préfet avec le concours de la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales pour les eaux distribuées.

**Remarque :** il existe de nombreux documents audiovisuels sur ce sujet qu'on peut se procurer auprès des Agences de l'eau.

Quelques sites recommandés :

- ✓ <http://www.espace-sciences.org/science/images/images-maj/Personnalisation/manipulations/riviere/index.htm> (ce site permet de voir une animation flash® sur le fonctionnement d'une station d'épuration).
- ✓ <http://www.ac-bordeaux.fr/Primaire/Ecoles64/Paroles/doc/thematic/eau/eau1.htm#CONSOMMATION>
- ✓ [http://www.ac-orleans-tours.fr/physique/phototek/Dossiers/FERRE\\_MT/Travail\\_station\\_epuration/index.htm](http://www.ac-orleans-tours.fr/physique/phototek/Dossiers/FERRE_MT/Travail_station_epuration/index.htm)
- ✓ <http://www.cieau.com/accueil.htm>

### A3.3 Reconnaître l'eau pure grâce à la valeur de sa masse par unité de volume

Il est bien sûr possible de reconnaître la présence d'eau par le test au sulfate de cuivre anhydre.

La démarche proposée ici s'appuie sur le fait qu'un litre d'eau pure a pour masse un kilogramme, ce qui n'est pas le cas d'autres liquides (pré requis) :

[http://www.ac-versailles.fr/pedagogi/physique-chimie/ipr/new\\_prog\\_college.htm](http://www.ac-versailles.fr/pedagogi/physique-chimie/ipr/new_prog_college.htm)

(voir « scénario eau-alcool »)

## A4. LES CHANGEMENTS D'ÉTAT DE L'EAU

### A4.1 Étude assistée par ordinateur de la congélation/fusion de l'eau

Ce type de manipulation ne vient pas se substituer aux relevés manuels auxquels l'élève doit d'abord être initié ainsi qu'aux tracés de graphiques sur papier. Il faut notamment que ces activités préparatoires aient amené les élèves à comprendre que, sur les gra-

phiques obtenus, l'écoulement du temps est représenté sur l'axe horizontal et une grandeur physique sur l'axe vertical.

Quand on utilise l'ordinateur, il est essentiel de faire comprendre que cet outil n'intervient que pour l'acquisition et le traitement, la mesure proprement dite restant faite par un organe, dit capteur, externe à l'ordinateur.

L'intérêt de l'emploi de l'ordinateur devient évident quand on est amené à répéter systématiquement des acquisitions dans des conditions différentes ou pour différentes substances. Dans tous les cas, il faut prendre le temps nécessaire pour que l'élève ait bien compris que ce qui est représenté sur l'écran résulte d'une série de mesures et non d'une simulation.

**Remarque :** ces activités sont l'occasion de rencontrer les températures de fusion de la glace et d'ébullition de l'eau. À la pression ambiante et au voisinage du niveau de la mer, ces températures, exprimées en degrés Celsius, sont voisines de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  et  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Le 0 et le 100 étaient les points de référence d'une ancienne échelle, dite centésimale. L'actuelle échelle Celsius, très peu différente dans la pratique est définie à partir de l'échelle thermodynamique (ou kelvin) par une translation de  $273,15\text{ K}$ .

**La manipulation sera réalisée par l'enseignant ou par les élèves si le matériel le permet.**

**Objectifs :** étude du refroidissement (congélation de l'eau), de l'échauffement (fusion de la glace) ; étude d'un changement d'état. Température de congélation. Notion de corps pur.

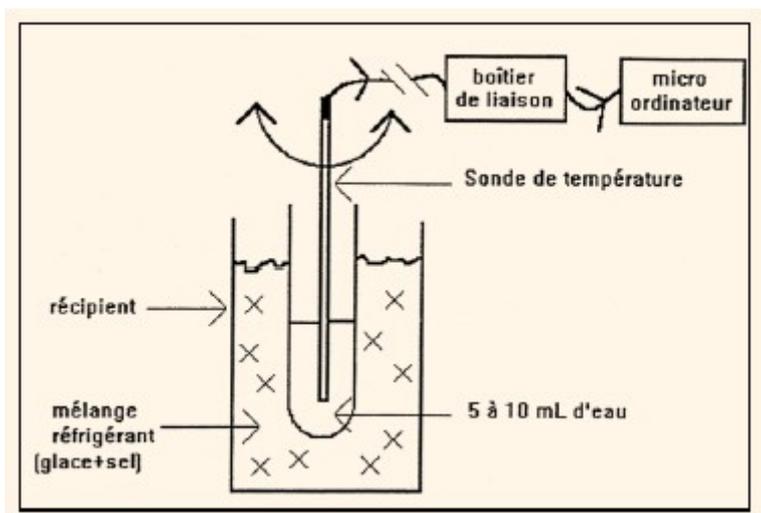
#### Matériel

Plusieurs organismes de vente de matériel pédagogique proposent du matériel d'acquisition.

On trouvera en général la composition suivante :

- 1 micro-ordinateur équipé d'une carte d'acquisition et de son logiciel d'exploitation ;
- 1 sonde thermométrique ;
- 1 boîtier de liaison permettant le couplage (sonde/micro-ordinateur).

**Schéma du montage pour la congélation de l'eau :**



- Disposer l'élément sensible de la sonde à environ 1 cm du fond du tube, au centre du liquide (éviter les contacts avec les parois du tube).

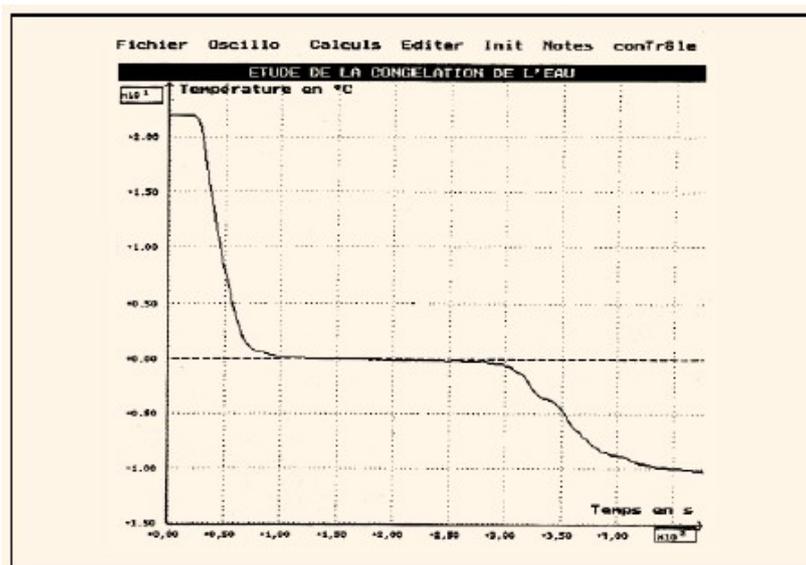
- Préparer le mélange réfrigérant peu de temps avant le début de l'expérience (ordre de grandeur : une poignée de gros sel dans un b cher de 250 mL contenant la glace pil e).
- Faire attention à ne pas avoir un refroidissement ni trop brutal (« palier » trop court), ni trop lent (« palier » trop long, congélation incomplète).

### Durée

L'ensemble de la manipulation dure un peu moins de 10 minutes, une fois le montage installé et les réglages effectués.

### Résultats

On peut obtenir les résultats sous forme de tableaux ou de graphiques à faire exploiter par les élèves. Voici un exemple de graphique :

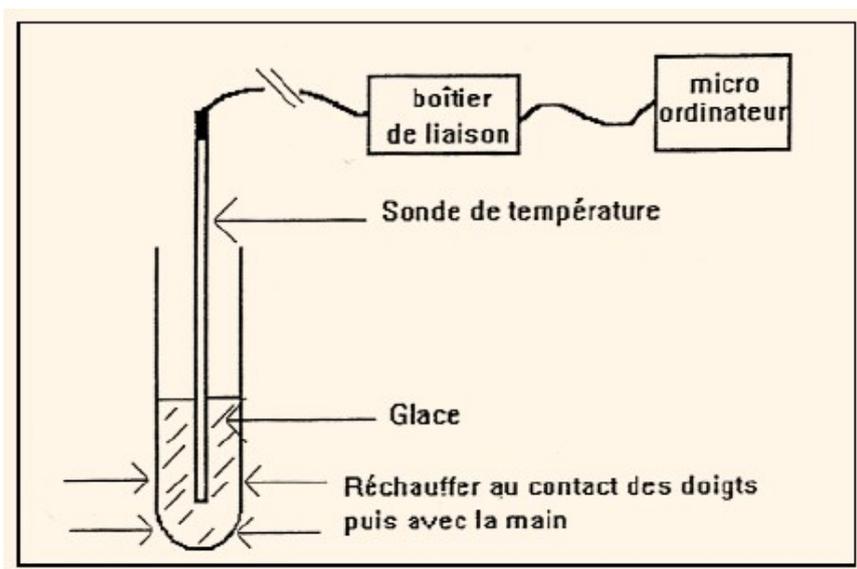


On fera noter l'évolution de la courbe « température », la présence d'un palier de changement d'état et sa valeur 0  Celsius. Ces données peuvent être consignées sur une fiche d'identité de l'eau.

**Notion de corps pur :** on pourra noter, suivant la place de la manipulation dans la progression pédagogique, que l'eau, corps pur, possède un palier de congélation (de même, un palier de fusion), mais que le fait de posséder un palier de changement d'état constant pour une « substance » n'est pas un critère suffisant pour affirmer que celle-ci est un corps pur.

Il faudra cumuler un ensemble de critères (Cf. fiche d'identité) pour pouvoir l'affirmer.

**Schéma du montage pour la fusion de la glace :**



### Points qui méritent une attention particulière :

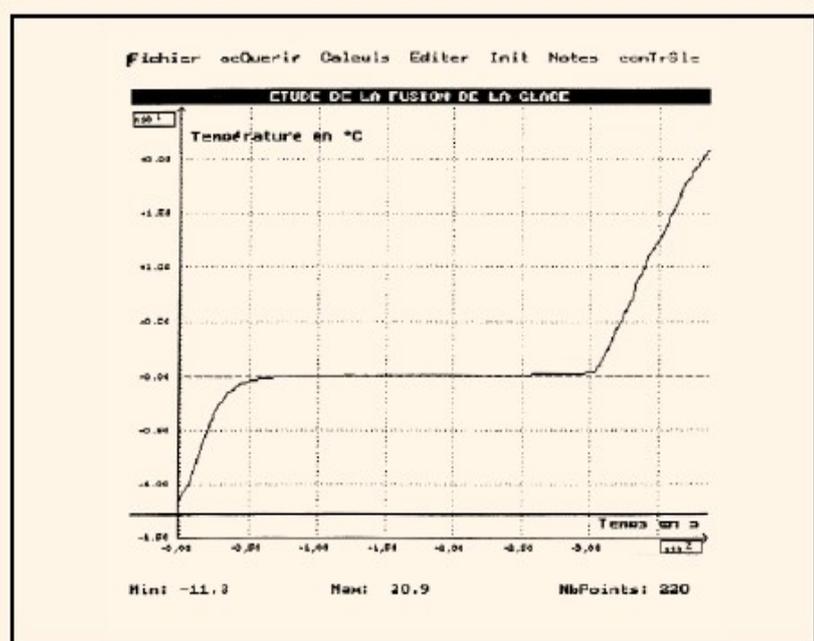
- La manipulation peut être réalisée après celle de la congélation.
- Le point délicat est de ne pas provoquer un réchauffement trop brutal de la glace.

### Durée

L'ensemble de la manipulation dure un peu moins de 10 minutes.

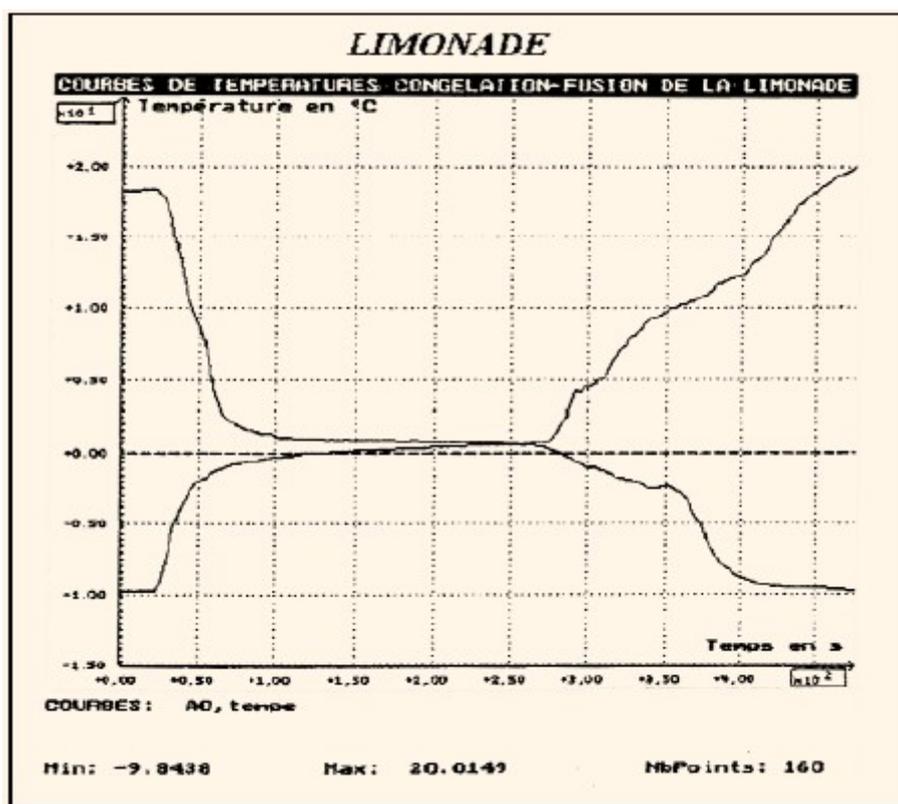
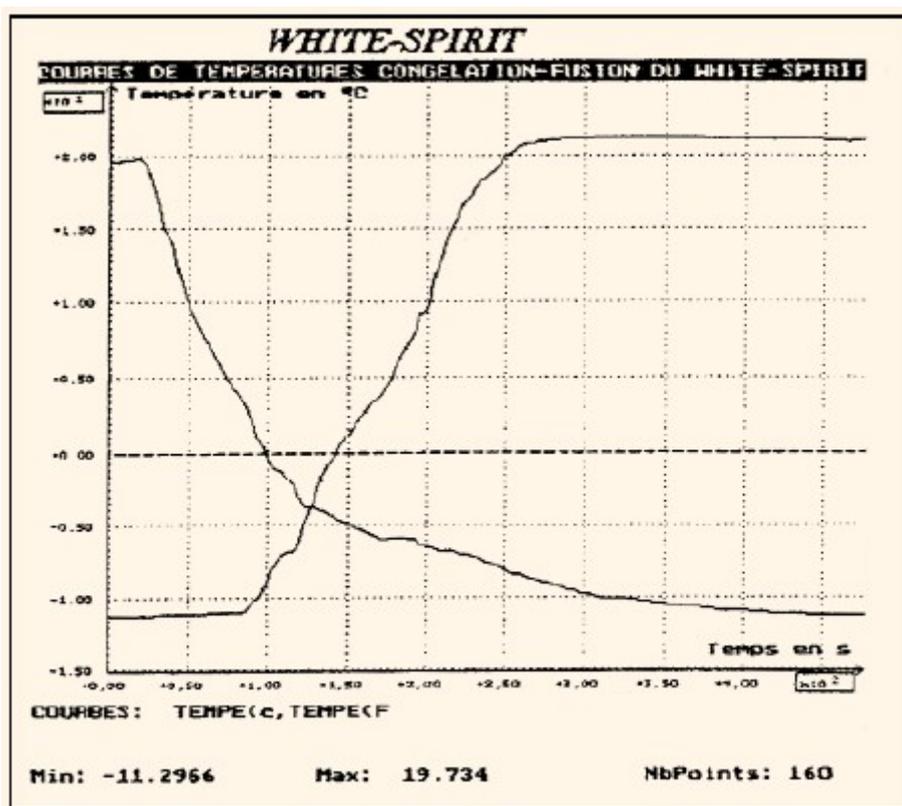
### Résultats

On peut obtenir les résultats sous forme de tableaux ou de graphiques à faire exploiter par les élèves. Voici un exemple de graphique :



On fera noter l'évolution de la courbe « température », la présence d'un palier de changement d'état et sa valeur  $0^{\circ}$  Celsius. Ces données peuvent être consignées sur une fiche d'identité de l'eau.

### A4.2 Courbes de congélation-fusion de différentes substances



Démarche d'investigation possible sur le site :  
[http://www3.ac-clermont.fr/pedago/physique/modules.php?name=Downloads&d\\_op=getit&lid=114](http://www3.ac-clermont.fr/pedago/physique/modules.php?name=Downloads&d_op=getit&lid=114)

Travail possible en relation avec le B2i : tracé sur tableur d'une courbe de solidification ou d'ébullition.

### A4.3 Masse et volume

Certains élèves ont des difficultés à distinguer « masse » et « volume ». Le site <http://pedagogie.ac-montpellier.fr:8080/disciplines/scphysiques/academie/PCMFOAD/5eme/index.htm> propose des activités pour les aider à faire cette distinction.

## A5. L'EAU SOLVANT

### A5.1 Activités documentaires : les marais salants

[http://www4b.ac-lille.fr/~physiquechimie/college/documents\\_d\\_accompagnement/cycle\\_central/](http://www4b.ac-lille.fr/~physiquechimie/college/documents_d_accompagnement/cycle_central/)

### A5.2 Miscibilité de deux liquides : complément scientifique pour l'enseignant

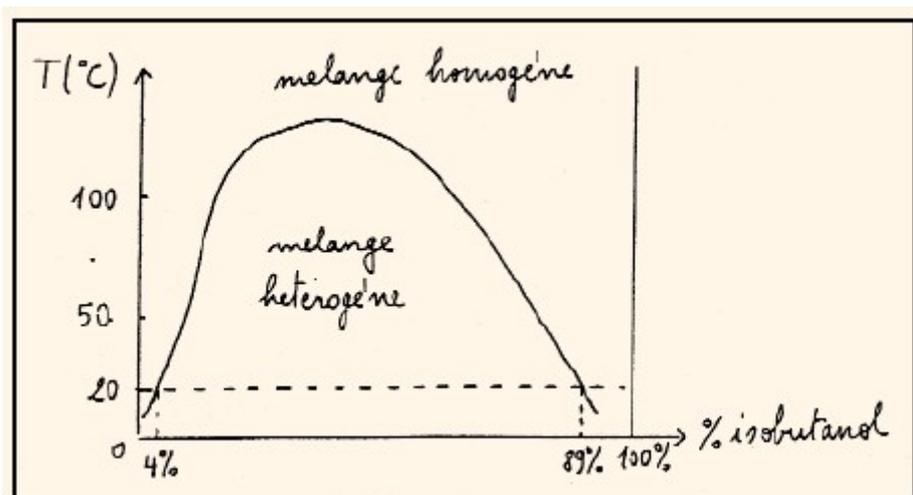
Lorsque l'on met en présence deux gaz quelconques, ils se mélangent pour donner un gaz homogène, et ce quelle que soit leur proportion relative. À l'inverse, deux solides cristallisés, dont les structures sont bien établies et rigides, ne peuvent « fusionner » (sauf dans des cas exceptionnels). Entre ces deux cas limites, les mélanges de deux liquides conduisent à des situations intermédiaires :

[http://www3.ac-clermont.fr/pedago/physique/modules.php?name=Downloads&d\\_op=getit&lid=113](http://www3.ac-clermont.fr/pedago/physique/modules.php?name=Downloads&d_op=getit&lid=113)

### Observations expérimentales

On ne prend en compte ici que des liquides ne pouvant impliquer des réactions chimiques entre eux. De nombreux liquides peuvent se mélanger entre eux en toute proportion pour conduire à un liquide homogène; c'est le cas de l'eau et de l'éthanol. Au contraire, on peut trouver des liquides absolument non miscibles (on dit aussi immiscibles), comme par exemple l'eau et l'huile. Lorsque l'on mélange de l'huile à de l'eau, l'huile moins dense surnage et forme une couche exempte d'eau. Si l'on agite vigoureusement ce mélange hétérogène, les deux liquides tendent à nouveau à se séparer. Il ne s'agit pas d'un problème de différence de densité : le lien systématique de cause à effet entre différence de densité et non-miscibilité est fréquent dans l'esprit des élèves. En effet, lors du mélange de deux liquides de même densité (comme la silicone et l'eau salée), on observe des gouttes de silicone en suspension. Intermédiaire entre ces deux situations extrêmes (miscibilité nulle ou totale), on peut observer une « démixtion » partielle, comme, par exemple, dans le cas du mélange eau/isobutanol. La miscibilité totale entre ces deux liquides n'est possible que pour certaines proportions, celles-ci dépendant de la température. Pour le mélange eau/isobutanol, à 20 °C, la miscibilité est totale (mélange homogène) pour une proportion inférieure à 4% en masse d'isobutanol, ou supérieure à 89 %. Entre ces valeurs, le mélange est hétérogène (on dit qu'il y a « démixtion ») et les liquides se séparent en deux couches. Pour une température supérieure à 130 °C, les liquides sont toujours totalement miscibles (quelle que soit leur proportion) (Cf. figure ci-après).

## Diagramme d'équilibre eau/isobutanol



Au dessus de la courbe, le mélange est homogène, en dessous, il est hétérogène.

### Interprétation : lien entre structure et miscibilité

Il est possible, par une approche qualitative du phénomène, d'établir une corrélation entre la structure des molécules et la miscibilité des liquides. À l'état liquide, les molécules sont relativement désordonnées de telle façon qu'il est possible de remplacer certaines d'entre elles par d'autres de structure différente sans que l'édifice global soit profondément modifié. Ce remplacement se fait avec d'autant plus de facilité que les deux types de molécules ont des formes et des dimensions similaires ; ce qui est en fait déterminant, c'est que les forces développées entre ces deux types de molécules soient de nature et de valeur comparables. Si ces conditions sont respectées, un mélange homogène entre ces deux types de molécules est susceptible de se faire. À l'inverse, une assemblée de molécules ayant beaucoup plus d'affinité pour elles-mêmes que pour des molécules de structure différente « n'accepte » qu'une petite proportion de ces molécules, voire aucune. La miscibilité des liquides est alors nulle ou limitée par les proportions de chaque liquide. À plus haute température, le désordre de l'agencement des molécules augmente du fait de l'agitation thermique ; il est alors possible à une molécule donnée de s'entourer d'un plus grand nombre de molécules de structure différente, augmentant ainsi les proportions pour lesquelles la miscibilité est totale.

L'eau présente ainsi une certaine affinité pour les molécules polaires (c'est-à-dire, possédant un moment électrique permanent) comme elle. Elle se mélange en toute proportion à l'éthanol, mais beaucoup plus difficilement au pentanol ( $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$ ), ce que l'on peut expliquer par la différence de taille importante entre ces deux molécules. L'eau, polaire, et les hydrocarbures (comme le benzène et l'hexane) non polaires sont presque totalement immiscibles.

Cette fiche s'inspire des ouvrages suivants :

*Chimie I*, PCSI collection « Prépa », A. Casalot, Hachette, 1995.

*La structure de la matière*, J. Guinier, Liaisons Scientifiques, Hachette-CNRS, 1981.

*La science au présent*, collection « Les actuels », Éditions Encyclopaedia Universalis.

## B. LES CIRCUITS ÉLECTRIQUES EN COURANT CONTINU. ÉTUDE QUALITATIVE

### B1. QU'EST-CE QU'UN CIRCUIT ÉLECTRIQUE ?

À l'occasion d'une révision sur ce que l'on entend par *circuit électrique* (cette notion a été vue à l'école), on peut proposer une démarche d'investigation sur la reconnaissance d'une lampe « grillée » ou d'une pile usée (matériel nécessaire : une lampe fonctionnant correctement, une pile fonctionnant correctement, une lampe « grillée » et une pile usagée).

### B2. CIRCUIT ÉLECTRIQUE EN SÉRIE

À l'occasion de l'étude du circuit série et des notions de conducteurs et isolants, on peut proposer une démarche d'investigation sur la boucle de courant :

[http://www.ac-versailles.fr/pedagogi/physique-chimie/ipr/new\\_prog\\_college.htm](http://www.ac-versailles.fr/pedagogi/physique-chimie/ipr/new_prog_college.htm)

Une proposition d'animation pour l'aide à la schématisation :

[http://www.pedagogie.ac-nantes.fr/1166628908437/0/fiche\\_\\_\\_ressourcepedagogique/&RH=1161013006328](http://www.pedagogie.ac-nantes.fr/1166628908437/0/fiche___ressourcepedagogique/&RH=1161013006328)

### B3. CIRCUIT ÉLECTRIQUE COMPORTANT DES DÉRIVATIONS

L'étude du circuit comportant des dérivations permet aussi la mise en œuvre d'une démarche d'investigation.

Deux exemples de situation déclenchante :

- Pourquoi, dans une voiture, lorsqu'une lampe de phare « grille », l'autre phare continue-t-il à fonctionner ?
- Vous êtes ingénieur et vous devez faire câbler un véhicule automobile : comment allez-vous procéder ?

## C. LA LUMIÈRE : SOURCES ET PROPAGATION RECTILIGNE

### C1. SOURCES DE LUMIÈRE. ENTRÉE DE LA LUMIÈRE DANS L'OEIL

#### C1.1 Introduction

L'enseignant pourra introduire cette partie de programme par un texte relatif à l'histoire des sciences intitulé : « Comment la lumière est devenue le stimulus de la vue » (**voir le document en ANNEXE B2**)

#### C1.2 Conditions de visibilité d'un objet

Cette étude s'inspire à la fois de la thèse de Wanda KAMINSKI et de l'article de Mireille BARRAL et Nicole JOURDAIN publié dans le numéro de mars 1997 de l'APISP et d'avril 1997 du BUP.

#### Objectifs

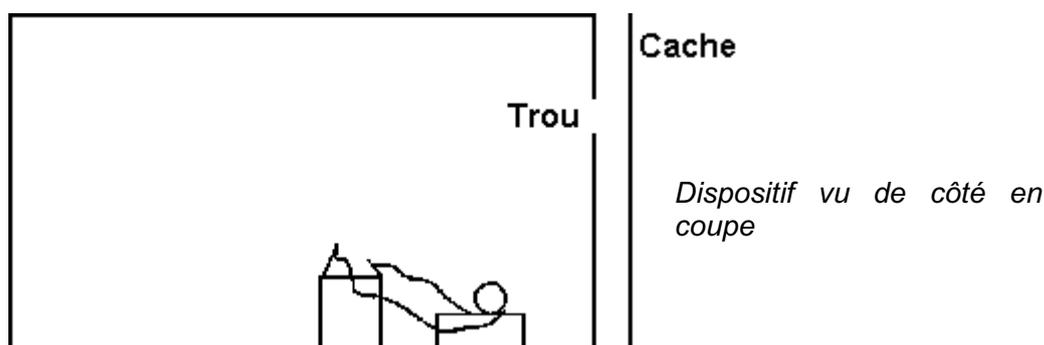
Introduire les deux types de sources de lumière (sources primaires et objets diffusants).  
Comprendre le fait que « pour voir un objet, il faut que l'œil en reçoive de la lumière » : cette notion est souvent mal assimilée par les élèves pour qui regarder veut souvent dire « lancer des flèches avec ses yeux ».  
Comprendre que la diffusion lumineuse permet de savoir s'il y a de la lumière qui se propage dans l'espace considéré.

**Matériel pour chaque groupe**

- boîte en carton parallélépipédique, d'environ 30 cm de haut, peinte en noir à l'intérieur ou couverte de papier noir mat ou mieux « velours » ;
- un trou de 2 à 3 mm de diamètre environ est percé dans le carton (en essayant que le bord soit net) au centre de la face et aux deux tiers de sa hauteur ;
- lampe de poche ou lampe et son support, pile plate, fils.

**Activités****1- Expérience préparatoire :**

Les élèves branchent le circuit et allument la lampe ; elle est placée dans la boîte, dans le coin à côté de la face percée (schéma ci-dessous). Ils placent un cache devant l'orifice et ferment la boîte.



Nota : les proportions ne sont pas respectées sur le croquis

**2 - Question posée par l'enseignant :**

« Le cache étant enlevé, et votre œil étant environ à 20 cm et à peu près en face du trou que verrez-vous dans la boîte ? Expliquez votre réponse ».

Plusieurs pistes peuvent alors être envisagées :

2.1 Si des élèves répondent : « On verra de la lumière », l'enseignant fait pratiquer immédiatement l'expérience.

Le trou semble noir (en réalité, il est vrai que le carton noir peut diffuser un tout petit peu, et que, par suite, un peu de lumière peut sortir par le trou ; mais celui-ci paraît noir par contraste avec la boîte autour dont la paroi extérieure est éclairée.

*L'enseignant* : « Expliquez pourquoi on ne voit pas l'intérieur de la boîte ». (Réponse attendue : « un objet noir ne renvoie pas de lumière »).

2.2 Par des échanges dans la classe, l'enseignant conduit les élèves à réfléchir aux conditions qui permettraient de détecter la présence de lumière dans la boîte.

- approcher son œil du trou pour observer une légère diffusion sur les parois internes de la boîte ou pour essayer d'apercevoir la lampe.

- éclairer un objet placé à l'extérieur de la boîte mais à proximité du trou.

**3 – Question posée par l'enseignant** : « Est-il possible de vérifier que la lumière brille encore sans ouvrir la boîte ? »

*Démarche attendue* : Placer l'œil contre le trou ou sur l'axe lampe-trou et essayer de justifier cette démarche par un schéma.

**4 – Question posée par l'enseignant :** « Imaginez un ajout ou une modification du montage intérieur à la boîte permettant de recevoir la lumière, l'œil restant à 20 cm du trou. »

*Réponse possible :* « On déplace la lampe ; on met un objet blanc (diffusant) à l'intérieur de la boîte »

**5 – Question posée par l'enseignant :** « Une boule blanche est placée dans la boîte. Pourquoi peut-on la voir ? ».

*Réponse attendue :* Les élèves disent en général qu'elle renvoie la lumière.

**6 – Bilan :**

- Mots introduits : *diffusion, objet diffusant.*

- Notions :

Voir une source de lumière, c'est recevoir dans l'œil de la lumière qui en provient directement.

Être éclairé, c'est recevoir de la lumière.

Les objets éclairés sont des sources de lumière parce qu'ils renvoient tout ou une partie de la lumière qu'ils reçoivent. C'est ainsi qu'ils peuvent devenir visibles. Là où l'on observe de la diffusion, il y a de la lumière qui se propage.

**La nécessité d'un milieu diffusant pour visualiser la lumière peut-être l'objet d'une démarche d'investigation.** Voir :

<http://physique.scola.ac-paris.fr/>

[http://www.ac-versailles.fr/pedagogi/physique-chimie/ipr/new\\_prog\\_college.htm](http://www.ac-versailles.fr/pedagogi/physique-chimie/ipr/new_prog_college.htm)

### C1.3 Sécurité liée au laser

Voir : [www.inrs.fr/dossiers/fichtox/somft.htm](http://www.inrs.fr/dossiers/fichtox/somft.htm), puis télécharger la brochure ED 5009 sur les lasers.

## C2. PROPAGATION RECTILIGNE DE LA LUMIÈRE. COMMENT SE PROPAGE LA LUMIÈRE ?

### C2.1 Étude expérimentale

#### Objectifs

Reprendre la notion de propagation et la notion de lumière qui arrive dans l'œil.

Le trajet de la lumière est représenté par un rayon qui va de la source jusqu'à l'œil ou l'obstacle.

La lumière ne peut se « voir » que si elle arrive dans l'œil.

Voir le document *Scénario sur le trajet de la lumière* :

[http://www.ac-versailles.fr/pedagogi/physique-chimie/ipr/new\\_prog\\_college.htm](http://www.ac-versailles.fr/pedagogi/physique-chimie/ipr/new_prog_college.htm)

#### Matériel

– **Professeur** : laser ou « flèche laser » ou projecteur de diapositives réglé pour obtenir un faisceau fin.

– **Élève** : source (lampe), feuille de papier A4, fente, petit écran.

#### 1. Faisceau et tache de lumière sur le mur

Le laser est branché, une mince tache de lumière apparaît sur le mur (attention aux yeux).

Rien n'est visible entre les deux. Y a-t-il de la lumière entre les deux ? Comment peut-on le savoir ?

Les élèves proposent en général de la fumée, de la poussière, plus rarement un objet diffusant de plus grande taille et pratiquement jamais une vision directe qui, dans le cas d'un laser, serait d'ailleurs à proscrire.

## 2. Travail sur schémas

Dessin avec le Soleil, un petit objet éclairé par le Soleil et un œil :

Consignes : L'œil « voit » l'objet. Représenter le trajet de la lumière et son sens.

Constats : Des erreurs plus fréquentes sur le sens apparaissent : par exemple, le Soleil éclaire l'œil qui renvoie la lumière vers l'objet.

Après discussion avec le groupe, la solution est donnée.

## 3. Expérience

Sur une feuille A4, on marque une position (1) de la source, une position de la fente, une position de l'écran.

- Première étape (formulation d'hypothèse) : l'écran recevra-t-il de la lumière si la lampe est placée en (1) ? Si oui, dessiner le trajet de la lumière à partir de la source jusqu'à l'écran. Indiquer le sens de propagation.  
Deuxième étape : vérifier que l'hypothèse est correcte en réalisant l'expérience.
- Faire de même pour d'autres positions (2), (3) de la source, pour d'autres positions de la fente et de l'écran.



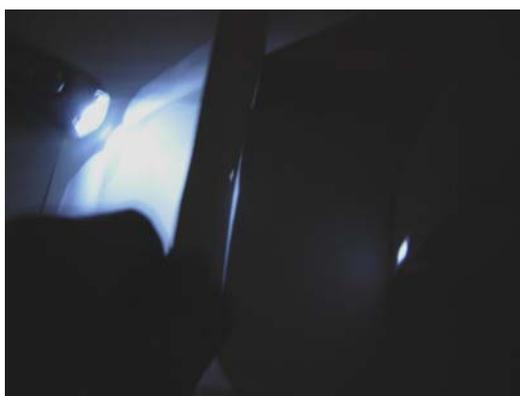
Feuille A4



Dispositif



Tracé d'un rayon lumineux



Expérience de vérification

## Bilan

### Définition :

On appelle « point source » tout point susceptible d'envoyer de la lumière dans toutes les directions. Un objet source est un ensemble de points source.

Dans un milieu homogène et transparent, la lumière se propage en ligne droite à partir de la source ; on représente son chemin par des droites appelées rayons. Le sens de propagation de la lumière est indiqué par une flèche sur le rayon.

Un point source est visible si un rayon venu de ce point peut arriver dans l'œil . On peut suivre son trajet de la source jusqu'à l'œil et le représenter sur un schéma. Ce modèle sera utilisé pour représenter les visées à travers des « trous » ou des fentes et pour représenter le trajet de la lumière jusqu'à un écran.

Faire remarquer aux élèves que la lumière ne s'arrête pas à proprement parler lorsqu'elle arrive sur un objet opaque. La question sur ce qu'il advient de cette lumière peut être abordée si la diffusion a déjà été rencontrée (l'enseignant garde en mémoire qu'une partie est aussi absorbée par la matière).

Le tracé de rayons de lumière effectué sur la feuille lors de l'expérience ne concerne que la résolution du problème posé.

### Application possible

La chambre noire, à condition de prendre des précautions quant à l'interprétation du résultat. La reproduction reconnaissable d'un objet qui est observable sur un écran **n'est pas une image** au sens de l'optique ; en effet, à chaque point de l'objet ne correspond pas un point unique méritant le nom d'image au sens scientifique précis de ce terme.

Ceci peut être montré en ne se limitant pas à des trous ronds mais en utilisant aussi des trous en forme de triangle ou étoile qui permettent de mieux appréhender la « reproduction » comme ensemble de « taches » de lumière dont les dimensions dépendent de celle du trou ainsi que de sa forme.

## C2.2. Les ombres

### Objectif

Assimiler la notion d'ombre par des visées directes précédant les constructions de rayons ou les vérifiant.

### Matériel

Carton fin (ou papier), deux lampes (6 V et 3,5 V) et leur alimentation par groupe.

Nota :

- les expériences peuvent être réalisées sans rideau noir à condition de se protéger de la lumière extérieure avec un simple livre « debout ».
- si l'on utilise des lampes de poche, on prendra soin de masquer la partie réfléchissante.

### Expérimentation

Chaque élève peut se fabriquer sa maquette soit en carton soit en papier.

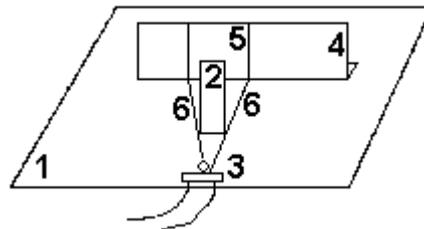
Dimensions : écran de largeur 21 cm et de hauteur 5 cm et repli de 5 cm ; languette de largeur 2 cm, de hauteur 5 cm comportant un repli formant pied.

La partie horizontale du dispositif est une feuille de papier ou équivalent sur laquelle on fixera par du ruban adhésif les deux éléments (écran + languette) à environ 5 cm de distance l'un de l'autre. On effectuera alors aisément des tracés sur la feuille horizontale. Placer une lampe « élèves » (c'est-à-dire sans diffuseur, autrement dit source ponctuelle) à environ 10 cm en avant de la languette.

Une ombre apparaît sur l'écran. La feuille de papier permet, après avoir repéré la position de la lampe, de la languette-objet et de l'écran, de faire le schéma des rayons extrêmes.

On suppose que la source est déplacée de 4 cm, latéralement, par rapport à la position précédente (en gardant la même distance à l'écran). Faire le schéma délimitant les régions d'ombre. Vérifier les tracés par l'expérience.

- 1 Feuille
- 2 Languette
- 3 Lampe
- 4 Ecran
- 5 Ombre
- 6 Rayons de lumière tracés



Il existe, naturellement, d'autres approches des ombres et du cône d'ombre. Voir par exemple le document *La maison de M. Martin* et le diaporama associé *Séquence sur les ombres* sur :

[http://www.ac-versailles.fr/pedagogi/physique-chimie/ipr/new\\_prog\\_college.htm](http://www.ac-versailles.fr/pedagogi/physique-chimie/ipr/new_prog_college.htm)

### C2.3 Le système {Terre, Lune, Soleil}

De nombreux documents permettent d'illustrer le **mouvement** de la Lune par rapport à la Terre tandis que celle-ci tourne autour du Soleil.

Voir par exemple :

- l'animation sur les mouvements de la Lune et de la Terre dans l'ANNEXE B 7. Les éclipses et la naissance de la science

ou <http://webetab.ac-bordeaux.fr/Pedagogie/Physique/telechargement/phycol/index.htm>

- le document *La Lune accuse* sur [http://www.ac-versailles.fr/pedagogi/physique-chimie/ipr/new\\_prog\\_college.htm](http://www.ac-versailles.fr/pedagogi/physique-chimie/ipr/new_prog_college.htm)

Les **éclipses** sont aussi abordées.

# CLASSE DE QUATRIÈME

## A. DE L'AIR QUI NOUS ENTOURE À LA MOLÉCULE

### A1. COMPOSITION DE L'AIR

Voir le texte sur *l'analyse de l'air par Lavoisier* dans l'ANNEXE E 4. Exemple d'évaluation à partir d'un texte relatif à l'histoire des sciences.

Deux évaluations sur le même texte sont proposées sur le site de l'académie de Lille :

[http://www4b.ac-](http://www4b.ac-lille.fr/~physiquechimie/college/documents_d_accompagnement/cycle_central/)

[lille.fr/~physiquechimie/college/documents\\_d\\_accompagnement/cycle\\_central/](http://www4b.ac-lille.fr/~physiquechimie/college/documents_d_accompagnement/cycle_central/)

### A2. VOLUME ET MASSE DE L'AIR

[http://spcfa.ac-](http://spcfa.ac-rouen.fr/rectorat_physique/IMG/4_Demarche_d_investigation_masse_de_l_air.doc)

[rouen.fr/rectorat\\_physique/IMG/4\\_Demarche\\_d\\_investigation\\_masse\\_de\\_l\\_air.doc](http://spcfa.ac-rouen.fr/rectorat_physique/IMG/4_Demarche_d_investigation_masse_de_l_air.doc)

[http://spcfa.ac-rouen.fr/rectorat\\_physique/IMG/IMC\\_GAZ.swf](http://spcfa.ac-rouen.fr/rectorat_physique/IMG/IMC_GAZ.swf)

### A3. UNE DESCRIPTION MOLÉCULAIRE POUR COMPRENDRE

#### A3.1 Évolution historique de la description de la matière

Les commentaires du programme indiquent :

*En ce qui concerne la description moléculaire de la matière, l'enseignant se rappelle que les concepts de molécule et d'atome, initialement imaginés comme des modèles<sup>1</sup> susceptibles de rendre compte de propriétés macroscopiques de la matière ont acquis progressivement de la fin du dix-neuvième siècle à nos jours le statut de véritables objets microscopiques. On réalise des jets moléculaires et des jets atomiques ; depuis la fin du vingtième siècle on parvient même à véritablement manipuler, en les déplaçant un à un, des atomes dont on sait par ailleurs obtenir des images.*

Une brève histoire de la théorie moléculaire est présentée en ANNEXE B 6 : histoire des sciences.

#### A3.2 Molécules et atomes, modèles ou réalité ?

(Martine Méheut – Université Paris 7)

La question est d'ordre épistémologique plus que scientifique, ce qui ne doit pas pour autant la faire considérer comme négligeable (voir par exemple Pullmann 1995, Diu 1997).

Les quelques citations ci-après, extraites d'un ouvrage sur l'histoire des théories atomiques (Bensaude-Vincent et Kounelis 1991), montrent comment le caractère longtemps non observable des atomes et molécules ont conduit certains scientifiques à refuser ces théories, et quels ont été les arguments qui les ont néanmoins fait triompher. Elles illustrent l'opposition entre un point de vue « empiriste » pour lequel la connaissance scientifique résulte de l'observation dénuée de tout a priori (Ostwald, Berthelot, Dumas) et un point de vue « instrumentaliste » qui donne davantage de place aux a priori intellectuels et pour lequel la connaissance scientifique est un instrument d'interprétation, de prévision, d'action sur le réel sensible. Les qualités attendues ne sont plus tant la « vérité »

<sup>1</sup> Un modèle ne prétend pas décrire une réalité objective. Il possède seulement une valeur explicative et prédictive limitée dans un champ d'application déterminé, à un instant donné des connaissances, ce qui, à cet instant, explique son intérêt.

ou la « fausseté » des théories, des modèles, que leur « validité », qui résulte de leur simplicité, leur caractère évolutif, leur capacité d'unification de phénomènes variés, leur pouvoir de prédiction.

### Refus des théories atomiques au nom du primat de l'observation

- *Qui n'a jamais vu (...) une molécule (...) ou un atome ?* (Berthelot)
- *Jamais en chimie nous ne devons aller plus loin que l'expérience.* (Dumas)
- *Comment connaissons nous le monde extérieur, sinon par nos sensations ?* (Ostwald)

### Défense des théories atomiques comme « modèles »

L'accent est mis sur la distance par rapport au réel observable, le caractère analogique des modèles, leurs qualités de simplicité, d'outil d'interprétation et de prévision de phénomènes variés.

#### Caractère a priori

- *Toute qualité change, les atomes, par contre, ne subissent aucun changement* (Epicure)
- *Les molécules sont conformes à un type constant avec une précision qui ne se trouve pas dans les propriétés sensibles des corps qu'elles constituent.* (Maxwell)

#### Caractère analogique (prévision et interprétation)

- *Je réclame donc le droit d'employer des images mécaniques, et de dresser le tableau à double entrée - images mécaniques d'un côté, faits physiques de l'autre.* (Brillouin)
- *Et construire des images destinées à la représentation d'une série de faits de telle manière qu'elles permettent de prédire le déroulement d'autres phénomènes semblables, c'est bien le premier objectif de toute science exacte.* (Boltzmann)

#### Simplicité et caractère unificateur

- *Je ne crois pas qu'aucune idée simple se soit montrée aussi féconde et ait permis, par son développement logique, de rattacher l'une à l'autre autant de propriétés distinctes.* (Brillouin)

#### Caractère évolutif

- *Restera alors l'espoir que les images pourront être modifiées et complétées de sorte qu'elles suffisent à la description des anciens et des nouveaux phénomènes.* (Boltzmann)

Peut-on dire aujourd'hui que les atomes et les molécules sont réels, parce qu'on peut les « voir » ?

Il s'agit en tout cas d'une observation très empreinte de théorie, et les élèves pourraient bien nous retourner l'argument (les électrons, les protons, les neutrons, plus tard les quarks ... peut-on les « voir » ? Sont-ils moins réels que les atomes ?).

Un autre point de vue semble mieux refléter le caractère somme toute philosophique de cette question :

- *Qu'entendons-nous maintenant lorsque nous parlons de la réalité des atomes ? (...) Cette réalité signifie simplement que les atomes sont des objets qui sont doués de la plupart des propriétés de ceux que nous avons ordinairement sous les yeux.* (Pauling 1966)

Par exemple, nous avons pu leur affecter une masse, des dimensions, nous savons les déplacer ....

N'est-il pas envisageable d'engager nos élèves dans des démarches de construction et d'utilisation de modèles qui constituent une dimension importante de l'activité scientifique, en mettant un peu de côté cette question de la « réalité » de ces objets ; celle-ci relevant finalement de leur appréciation personnelle, et pouvant éventuellement être l'objet d'un débat dans la classe (chacun pouvant exposer ses arguments et aucune réponse n'étant imposée) ?

### **Bibliographie**

BENSAUDE-VINCENT B. et KOUNELIS C. (1991) *Les atomes. Une anthologie historique*. Paris : Presses Pocket.

DIU B. (1997) *Les atomes existent-ils vraiment ?* Paris : Odile Jacob.

PAULING L. (1966) *Chimie générale. Introduction à la chimie descriptive et à la chimie théorique moderne*. Paris : Dunod.

PULLMANN B. (1995) *L'atome dans l'histoire de la pensée humaine*. Paris : Fayard.

### **A3.3 Introduction d'un modèle particulière**

Cette fiche, actualisée par M. Méheut, est directement inspirée de diverses publications dont celles de l'équipe (A. Chomat ; Cl. Larcher ; M. Méheut), parues dans la revue Aster n° 7 en 1988.

*Les activités proposées dans cette fiche visent à aider les élèves à se construire une représentation particulière (moléculaire) de la matière, dans une démarche de modélisation de quelques phénomènes physiques.*

*Ces activités correspondent au paragraphe « UNE DESCRIPTION MOLECULAIRE POUR COMPRENDRE ». Elles peuvent être considérées comme un ensemble et constituer alors une « progression » ; elles peuvent également être considérées une par une et constituer des exercices après enseignement de cette rubrique du programme.*

L'enseignant pourra s'en inspirer librement.

### **A. Introduction**

À travers ces propositions d'activités, il s'agit pour l'élève de s'approprier de manière active un modèle simplifié de la matière. À cet effet, on propose à l'élève une démarche progressive : prendre connaissance d'un modèle, l'appliquer à des situations expérimentales définies, le faire évoluer pour l'adapter à de nouvelles descriptions...

La démarche décrite ici suit quelques repères :

- L'ensemble du **modèle particulière** auquel on souhaite aboutir, dit ci-dessous « modèle final », n'est pas donné entièrement au départ aux élèves (il n'est pas non plus redécouvert par eux !). Ceci doit susciter chez eux une plus grande activité intellectuelle, et permettre une meilleure appropriation du modèle.
- Les situations expérimentales à interpréter sont choisies en nombre limité pour que le modèle à utiliser ne devienne pas trop complexe.
- Pour ce qui est de la méthode d'animation, on tâche de suivre les étapes suivantes pour chaque situation étudiée :

1. Description du phénomène et formulation du problème.
2. Activités de modélisation proprement dite à partir d'un modèle initial fourni par l'enseignant – Confrontation des travaux.
3. Réponses au problème posé.
4. Enrichissement du modèle de départ.

• Il faut être attentif à l'effet de **saturation intellectuelle** que peut provoquer ce type d'activités, qui demande un effort important pour certains élèves. De plus, on restera

conscient qu'il s'agit d'améliorer les performances des élèves et non de trouver une méthode miracle pour que tous les élèves maîtrisent tous les aspects du modèle particulière.

### 1. Modèle particulière utilisé

Le modèle dit ci-dessous « initial », fourni d'abord à l'élève, est un modèle simplifié qui présente les caractéristiques suffisantes pour expliquer la compressibilité des gaz. Il va être progressivement enrichi au cours des activités suivantes jusqu'à aboutir au modèle dit « final ».

#### a) Définition du modèle initial

On peut se représenter un gaz comme un ensemble de particules invisibles à l'œil nu (et même au microscope), ayant les propriétés suivantes :

- P1** – Une particule ne se coupe pas.
- P2** – Une particule garde les mêmes dimensions.
- P3** – Une particule garde la même masse.
- P4** – Une particule ne se déforme pas.

Il s'agit, par ces propositions, d'imposer l'invariance des particules (molécules) dans les transformations étudiées, et d'éviter que les élèves ne transfèrent les propriétés observables aux particules (molécules qui grossissent ou se multiplient pour expliquer une augmentation de volume, par exemple).

#### b) Définition du modèle final

Parmi les corps étudiés, on considère la matière formée comme un ensemble de particules, **les molécules**, invisibles à l'œil nu qui sont :

- dispersées et désordonnées à l'état gazeux ;
- disposées de manière compacte mais désordonnée à l'état liquide ;
- disposées de manière compacte à l'état solide, et ordonnée pour les solides cristallins.

#### c) Remarques

Le modèle initial ne dit rien sur la structure, la forme des particules pour l'instant. Cela n'est pas nécessaire pour interpréter les phénomènes physiques choisis. L'enseignant devra choisir à quel moment introduire la notion de molécule dans la progression.

Il n'est fait ici encore aucune allusion ni à l'ordre, ni à l'agitation particulière.

### 2. Les situations expérimentales retenues et l'évolution du modèle initial

L'enseignant peut construire sa progression parmi les situations suivantes :

#### a) Dans le cadre de l'étude des gaz, on retient leur **compressibilité**.

Cela permet d'introduire le modèle initial, puis de faire travailler les élèves sur la notion de dispersion, de vide qui en découle. Cela permet de commencer à traduire la conservation de la nature de la matière par la conservation du type de particules.

**b)** On fait interpréter le fait que **l'air est un mélange** de deux gaz, dioxygène et diazote. Ceci permet de faire la distinction entre mélanges et corps purs.

**c)** Une expérience de **diffusion gazeuse** (sujet qui n'est pas exigé par le programme) est nécessaire pour enrichir le modèle sur le plan de l'agitation des particules.

**d)** On fait interpréter certaines des **propriétés des solides** (très faible compressibilité, présence d'une forme propre, non expansibilité), que l'on oppose à celles des gaz (grande compressibilité, absence de forme propre, expansibilité).

**e)** On pourrait faire interpréter, sur la base des mêmes propriétés, **l'état liquide** (très faible compressibilité, absence de forme propre, non expansibilité).

f) On fait interpréter les **changements d'état de l'eau, la conservation de la masse et de la nature de la substance** malgré les changements de propriétés entre état solide, état liquide, état gazeux.

Remarque : Il semble que la compressibilité soit la situation la plus propice pour introduire le modèle initial.

Deux points de vue un peu différents sont proposés par la suite.

Dans le premier, il s'agit de représenter des échantillons macroscopiques et d'interpréter quelques transformations physiques (compression d'un gaz, changement d'état, etc.). Se pose alors le problème de la superposition de deux niveaux, le niveau macroscopique et le niveau moléculaire, et des ordres de grandeur.

Dans le second, il s'agit de représenter de très petits échantillons de matière, ce qui permet de mieux dissocier les deux niveaux : celui des phénomènes observables et celui des particules. Ce second point de vue, sans doute plus exigeant intellectuellement, nous semblerait préférable.

L'enseignant peut, en fonction de ses objectifs, et des possibilités de ses élèves, mettre en œuvre l'une ou l'autre de ces approches.

Sont présentées ci-après (§ B) de manière très détaillée des activités correspondant à la première approche. Pour certaines situations sont fournies des productions d'élèves, obtenues lors d'expérimentations en classe. Compte tenu des changements de programmes, cela n'a pas été possible pour toutes les situations. Le second point de vue est ensuite brièvement présenté (§ C).

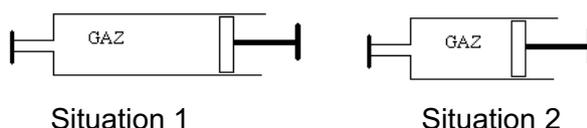
## B. Déroulement

### 1. La compressibilité d'un gaz

#### a) Description du phénomène. Position du problème

L'enseignant met en évidence la compressibilité d'un gaz pur.

Celle du dioxyde d'azote, mise en évidence par l'enseignant si les conditions de sécurité le permettent, est intéressante à cause de la couleur du gaz. On schématise la position du piston à 2 moments.



Les élèves doivent indiquer par écrit « ce qui a changé » et « ce qui n'a pas changé » pour la seringue et pour le gaz. Après une mise en commun, il ressort :

- l'état de « tassement » plus grand en (2) ;
- la variation de volume ;
- le changement de couleur ;
- l'invariance de la nature du gaz ;
- l'invariance de la quantité de gaz (ce caractère n'est pas forcément exprimé en terme d'invariance de la masse par les élèves).

Le problème posé pourra être le suivant : expliquons que le gaz :

- dans les 2 situations, est le même et en même quantité ;
- dans la situation 2, a un volume plus petit, est « tassé », peut encore se tasser.

#### b) Activité de modélisation

On peut proposer le document suivant à remplir :

On peut se représenter un gaz comme un ensemble de particules invisibles à l'œil nu, ayant les propriétés suivantes :

**P1** – Une particule ne se coupe pas.  
**P2** – Une particule garde les mêmes dimensions.  
**P3** – Une particule garde la même masse.  
**P4** – Une particule ne se déforme pas.

Représente tout le gaz dans les situations 1 et 2 pour rendre compte de ce qui a été constaté.

Remarque : le rapport des surfaces des cases traduit le rapport des volumes disponibles pour le gaz dans la seringue.

Il s'agit donc pour les élèves de dessiner des représentations respectant les caractères du modèle et les observations faites.

### Exemples de réponses fournies par les élèves

Après ce temps de production individuel, on soumet à la classe des exemples de réponses convenables et d'erreurs typiques. Il s'agit d'étudier si elles respectent les propriétés de départ et de voir si elles offrent une réponse convenable au problème posé.

### c) Réponse au problème posé

On peut ainsi commencer à établir les rapports :

Un seul gaz	Un seul type de particules
Le gaz est plus tassé	Les particules sont plus serrées
Le gaz peut encore se serrer	Les particules ne se touchent pas dans la case 2
Il y a la même quantité de gaz	Il y a le même nombre de particules

### d) Modèle enrichi

L'activité permet de faire prendre conscience aux élèves que d'autres propriétés non explicitées au départ apparaissent maintenant.

**P5** – Il y a un espace vide entre les particules.

**P6** – Le nombre de particules caractérise la quantité de matière.

Elles seront validées dans les autres activités.

**Remarques**

- La question du vide, de sa nature, provoque des interrogations (« mais, qu'est-ce qu'il y a dedans ? C'est de l'air ! mais non, puisque c'est un gaz lui aussi ! »).
- On peut renforcer la maîtrise du modèle en proposant des exercices, par exemple, des représentations d'autres élèves qui n'ont pas été prises en compte.

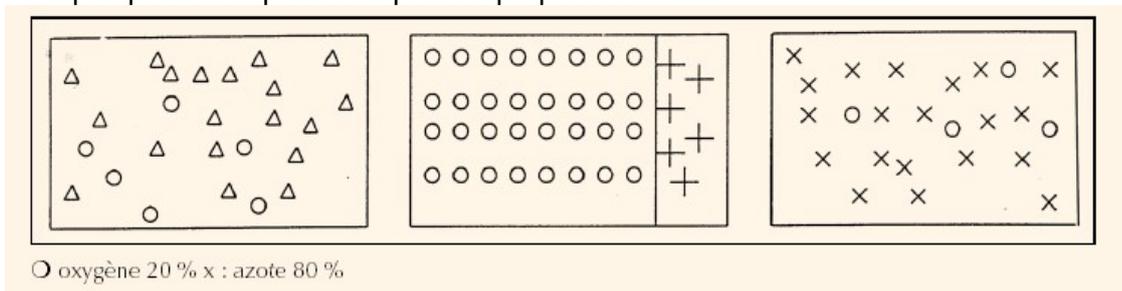
**2. L'air est un mélange****a) Description du phénomène. Position du problème**

Les élèves rappellent la composition de l'air avec l'aide du professeur. Il s'agira de représenter l'air en le considérant comme un mélange principalement formé de diazote et de dioxygène dans les proportions 80 % et 20 %.

**b) Activité de modélisation**

Sur un document, les élèves dessinent leur représentation.

Voici quelques exemples de réponses proposées :



De la même manière, des exemples choisis parmi les réponses des élèves permettent de discuter de leur validité, ceci en rapport avec les propriétés du modèle et de formuler une réponse.

**c) Réponse au problème posé**

On peut établir les relations suivantes entre la description faite et le modèle proposé.

Plusieurs gaz	Particules différentes
Gaz mélangés	Particules différentes bien réparties
Proportions des gaz	Proportions des nombres des différents types de particules

**d) Modèle enrichi**

Une nouvelle propriété du modèle apparaît donc à travers cette activité :

**P7** – Un gaz pur est représenté par un type de particules ; un mélange est représenté par plusieurs types de particules.

**3. Diffusion gazeuse**

Dans ce cas, il s'agit d'utiliser le modèle et aussi d'imaginer une condition pour que la diffusion puisse se faire.

**a) Description du phénomène. Position du problème**

- L'enseignant réalise une expérience de diffusion de deux gaz devant les élèves. En veillant aux conditions de sécurité, il peut utiliser comme gaz, l'air et le dioxyde d'azote, le phénomène étant immédiatement visible. Il est préférable d'appeler le di-

oxyde d'azote « gaz roux » à ce stade, et non pas dioxyde d'azote, pour éviter des confusions dans l'esprit des élèves avec l'oxygène de l'air.

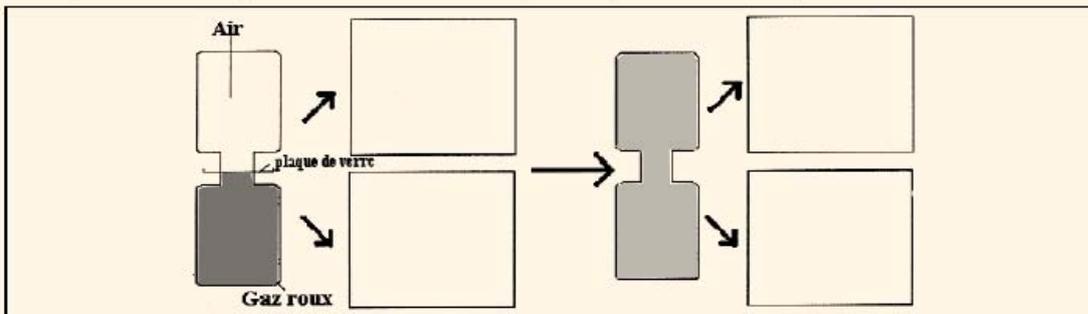
- On constate que le gaz « roux » s'est déplacé dans le flacon du haut et que les gaz se sont mélangés.

### b) Activités de modélisation

On demande aux élèves de représenter schématiquement tous les gaz dans chacun des cadres du document élève suivant.

#### Exemple de document élève

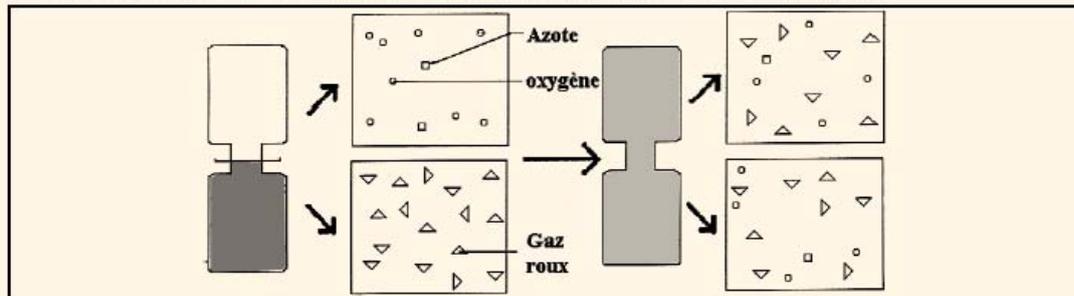
1 – Représente tous les gaz des flacons. Précise ce qui est représenté dans chaque cadre.



2 – Quelle propriété doivent avoir les particules pour rendre compte de ce qui se passe ?

#### Exemples de réponses des élèves

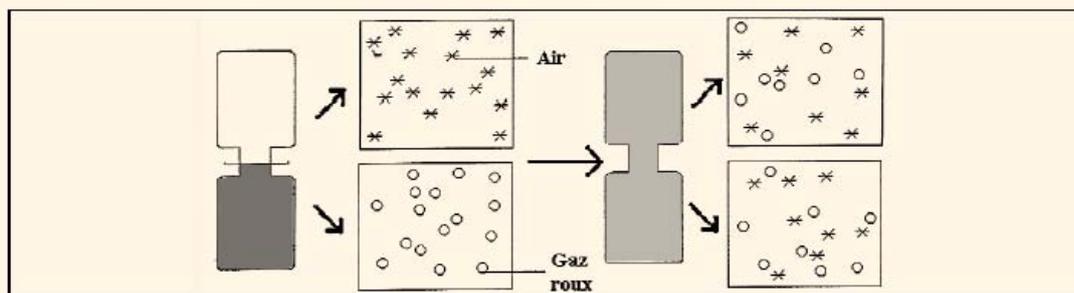
1 – Représente tous les gaz des flacons. Précise ce qui est représenté dans chaque cadre.



2 – Quelle propriété doivent avoir les particules pour rendre compte de ce qui se passe ?

« Les particules se déplacent et se mélangent. »

1 – Représente tous les gaz des flacons. Précise ce qui est représenté dans chaque cadre.



2 – Quelle propriété doivent avoir les particules pour rendre compte de ce qui se passe ?

« Le gaz en haut doit être plus lourd et le bas, léger, donc elles se mélangent. »

Des réponses choisies par le professeur sont soumises à la discussion comme dans les cas précédents et permettent d'établir la relation suivante.

### c) Réponse au problème

Les gaz peuvent se mélanger

Les particules peuvent se déplacer

Certains élèves perçoivent le déplacement « moyen » des particules, c'est l'enseignant qui a affirmé le caractère désordonné du mouvement des particules.

### d) Modèle enrichi

Une nouvelle propriété apparaît :

**P8** – Les particules sont animées d'un mouvement désordonné les unes par rapport aux autres.

**P9** – Les particules sont libres les unes par rapport aux autres.

### Conclusion

Au cours de ces activités, des aspects importants du modèle particulaire ont été abordés : distinction entre espace et matière, existence du vide, mobilité des particules.

### Évolution des propriétés du modèle en fonction des activités proposées

Les flèches symbolisent le déroulement **chronologique** des séquences et l'enrichissement progressif du modèle initial.

PROPRIÉTÉS DU MODÈLE	PHÉNOMÈNES ÉTUDIÉS
Modèle initial donné au départ	
<b>P1</b> – Une particule ne se coupe pas. <b>P2</b> – Une particule garde les mêmes dimensions. <b>P3</b> – Une particule garde la même masse. <b>P4</b> – Une particule ne se déforme pas.	<b>B-1 Les gaz sont compressibles</b>
<b>P5</b> – Il y a de l'espace entre les particules. <b>P6</b> – Le nombre de particules ne change pas ; il caractérise la quantité de matière.	<b>B-2 L'air est un mélange</b>
<b>P7</b> – Un gaz pur est représenté par un type de particule ; un mélange est représenté par plusieurs types de particules.	<b>B-3 Les gaz sont expansibles</b>
<b>P8</b> – Les particules sont mobiles. Elles sont animées d'un mouvement désordonné. <b>P9</b> – Les particules sont libres les unes par rapport aux autres.	

### 4. Aspects de l'état solide

On peut prolonger l'étude en s'intéressant au cas de solides et de liquides.

En se limitant à décrire les **variations** de certaines propriétés de l'état gazeux à l'état solide, et en prenant comme modèle de référence le dernier modèle décrit, on peut étudier les conditions de validité d'application du modèle particulaire à l'état solide.

#### a) Description et position du problème

À partir d'un document, on peut faire retrouver aux élèves les variations de **trois propriétés** de l'état gazeux à l'état solide : la compressibilité, l'expansibilité, la forme propre.

Un solide	Un gaz
est peu compressible	est très compressible
n'est pas expansible	est expansible
a une forme propre	n'a pas de forme propre

Le problème est de donner une représentation satisfaisante de l'état solide, tout en discutant des propriétés **P1** à **P8** établies pour le modèle particulaire du gaz. Il s'agit pour l'élève de dire quelles propriétés on peut garder pour l'état solide et comment en modifier certaines pour rendre compte des variations des propriétés physiques.

### b) Activité de modélisation

Examine ci-dessous les propriétés définies pour les gaz. Indique celles que l'on peut conserver pour les solides et celles qu'il faut **modifier**. Propose une modification. Représente un schéma de l'état solide.

Modèle établi pour les gaz	Modèle à établir pour les solides
<b>P1</b> – Une particule ne se coupe pas.	<b>P1-</b>
<b>P2</b> – Une particule garde les mêmes dimensions.	<b>P2-</b>
<b>P3</b> – Une particule garde la même masse.	<b>P3-</b>
<b>P4</b> – Une particule ne se déforme pas.	<b>P4-</b>
<b>P5</b> – Il y a de l'espace entre les particules.	<b>P5-</b>
<b>P6</b> – Le nombre de particules ne change pas ; il caractérise la quantité de matière.	<b>P6-</b>
<b>P7</b> – Un gaz pur est représenté par un type de particule ; un mélange est représenté par plusieurs types de particules.	<b>P7-</b>
<b>P8</b> – Les particules sont mobiles. Elles sont animées d'un mouvement désordonné.	<b>P8-</b>
<b>P9</b> – Les particules sont libres les unes par rapport aux autres.	<b>P9-</b>

### Exemples de réponses données par les élèves.

**P1, 2, 3, 4, 6** : « sont à conserver ».

**P5, 7, 8, 9** : « sont à modifier ».

**P5** : « Il n'y a pas d'espace vide entre les particules pour un solide ». « Il n'y a pas d'espace entre les particules ».

**P7** : « Il faut remplacer le mot gaz et mettre le mot solide à la place ».

**P8** : « Elles ne sont pas agitées car les solides n'auraient pas de forme ». « S'il n'y a pas de distance entre elles, elles ne peuvent pas bouger ». « Si elles sont liées entre elles, elles ne peuvent être agitées ».

**P9** : « Elles sont liées, car il n'y a pas de distance entre elles ». « Elles sont liées entre elles car elles ne bougent pas ».

Une confrontation des réponses amène aux modifications suivantes du modèle, après des apports de l'enseignant sur l'organisation des particules dans les solides cristallins.

### c) Réponse au problème posé – Modèle enrichi.

Ces activités amènent au « modèle final » décrit ci-dessous.

### Modèle établi pour les gaz et les solides

- P1 – Une particule ne se coupe pas.
- P2 – Une particule garde les mêmes dimensions.
- P3 – Une particule garde la même masse.
- P4 – Une particule ne se déforme pas.
- P5 gaz – Il y a un espace vide très grand entre les particules.
- P5 solide – Il y a un espace vide très faible entre les particules.
- P6 – Le nombre de particules ne change pas ; il caractérise la quantité de matière.
- P7 – Un gaz ou un solide pur est représenté par un type de particule ; un mélange est représenté par plusieurs types de particules.
- P8 gaz – Les particules sont très mobiles. Elles sont animées d'un mouvement désordonné.
- P8 solide – Les particules sont peu mobiles. Elles sont ordonnées dans certains solides.
- P9 gaz – Les particules sont libres les unes par rapport aux autres.
- P9 solide – Les particules sont liées les unes aux autres.

## 5- Changements d'état de l'eau

### a) Description du phénomène et position du problème

L'enseignant, ou les élèves, peuvent réaliser l'expérience suivante : dans un ballon, on place de la glace, puis on munit le ballon d'un bouchon traversé d'un tube en verre sur lequel on fixe un ballon de baudruche (non poreux).

On pèse le ballon, et on demande aux élèves ce qui va se passer si on chauffe le ballon.

On réalise l'expérience et les pesées.

On arrive à la description du phénomène : transformation de la glace en eau liquide, puis en vapeur, avec conservation de la masse.

### b) Activités de modélisation

On demande aux élèves de représenter la glace, l'eau liquide, la vapeur d'eau en tenant compte du modèle établi précédemment, et en traduisant la conservation du corps pur et de la quantité d'eau (sa masse)

### C. Un autre point de vue possible

Le point de vue adopté ici consiste à représenter de très petits échantillons de matière, ce qui permet de dissocier les deux niveaux : celui des phénomènes observables et celui des particules. Ce second point de vue, sans doute plus exigeant intellectuellement, peut être jugé préférable. L'enseignant pourra, en fonction de ses objectifs, et des possibilités de ses élèves, choisir l'une ou l'autre de ces approches.

Sont présentées ci-après deux fiches correspondant à cette deuxième approche ; seule la forme des fiches diffère, la démarche restant la même que celle présentée dans le § B.

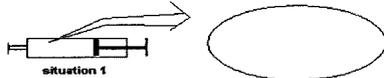
#### 1. Échantillons de même masse

La tâche à effectuer par les élèves est ici un peu plus complexe ; elle nous permet de nous assurer que les élèves comprennent bien la signification du cadre qui leur est proposé comme une représentation du volume de l'échantillon. La conservation de la masse lors de la diminution du volume occupé doit être ici traduite par un même nombre de particules dans le cadre B dans la situation 2 ci-dessous.

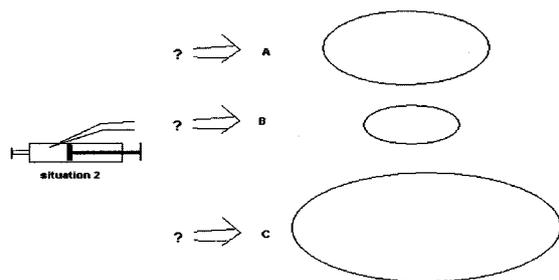
On peut représenter un gaz par des particules trop petites pour être visibles.  
On peut leur attribuer les propriétés suivantes

Une particule ne se coupe pas  
ne se déforme pas  
garde les mêmes dimensions

1. Représenter, dans la situation 1, une très petite partie du gaz



2. On veut représenter dans la situation 2 une très petite partie du gaz de même masse (même quantité). Choisissez pour cela le cadre qui vous semble le mieux convenir (votre dessin doit traduire les observations soulignées)



3. Quel cadre avez-vous choisi ? Pourquoi ?

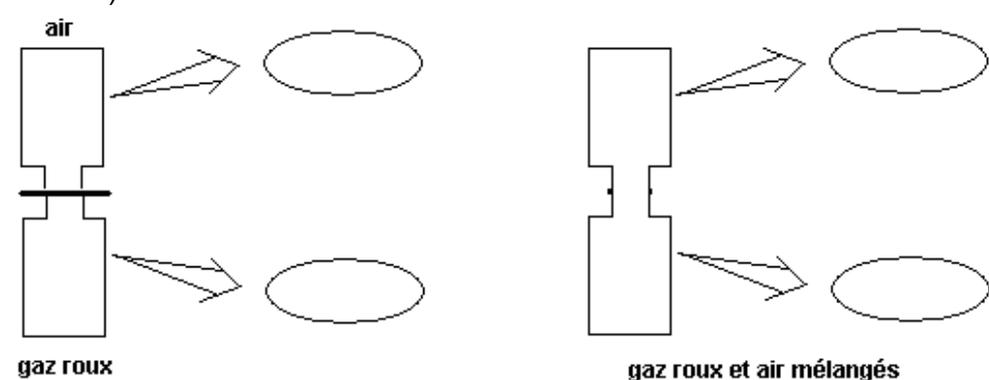
## 2. Diffusion gazeuse

La situation de référence est une diffusion d'un gaz coloré dans l'air. Ces gaz ayant été préalablement modélisés, la tâche proposée aux élèves consiste à représenter des états (gaz séparés, gaz mélangés) et à inférer des propriétés des particules qui permettent d'expliquer comment le mélange a pu se faire.

L'enseignant présente deux flacons, ouverture contre ouverture, séparés par une plaque de verre, l'un contenant un gaz coloré, l'autre de l'air. La plaque est ensuite enlevée ; les élèves observent alors le mélange de l'air et du gaz coloré.

L'interprétation du mélange des gaz est l'objet d'un travail écrit individuel.

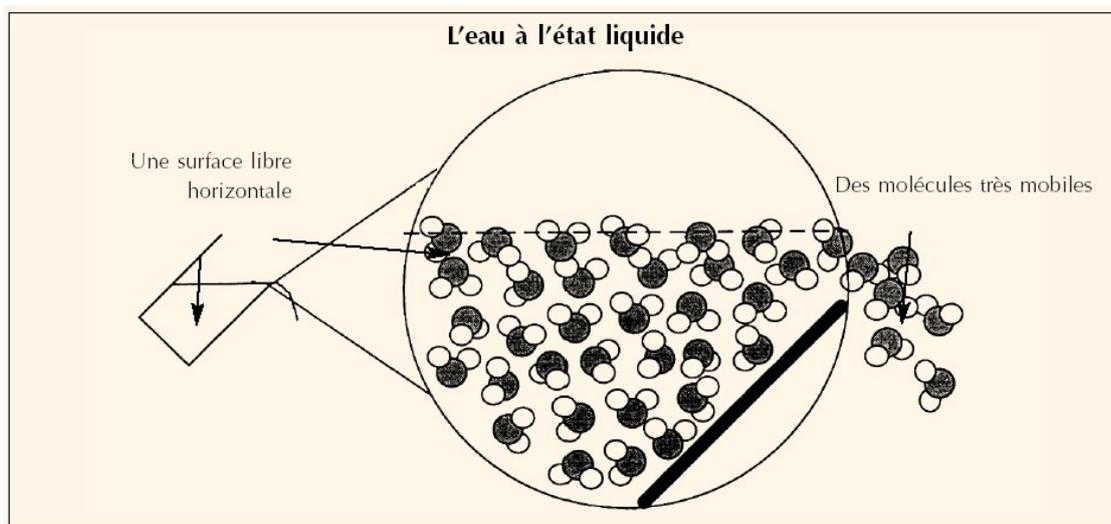
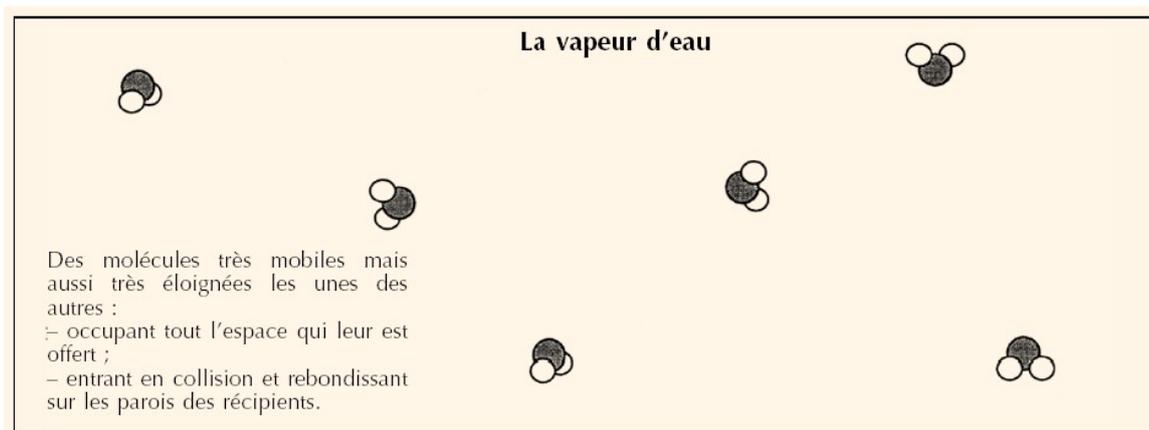
1. Représentez une très petite partie du gaz de chaque flacon (les parties ont toutes le même volume ; vos représentations doivent traduire vos observations)

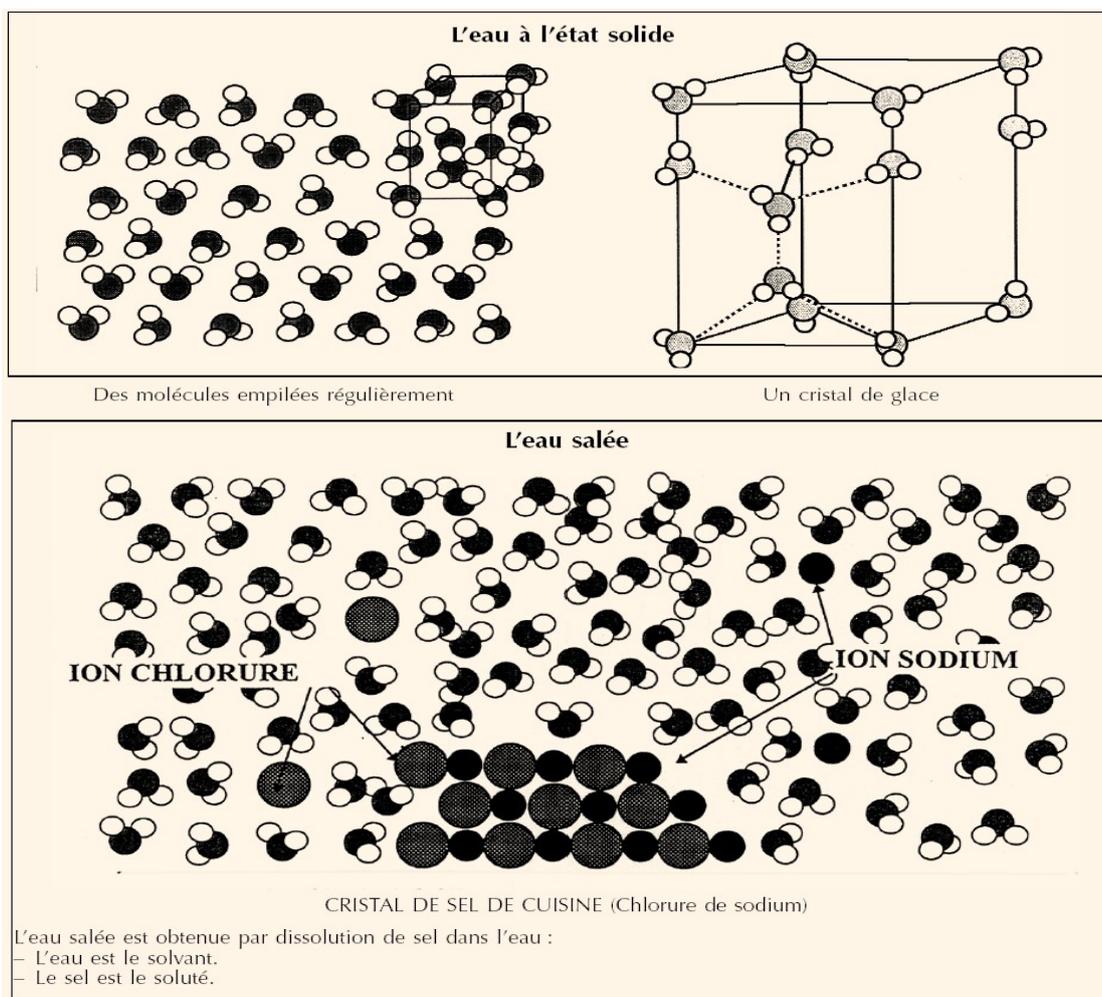


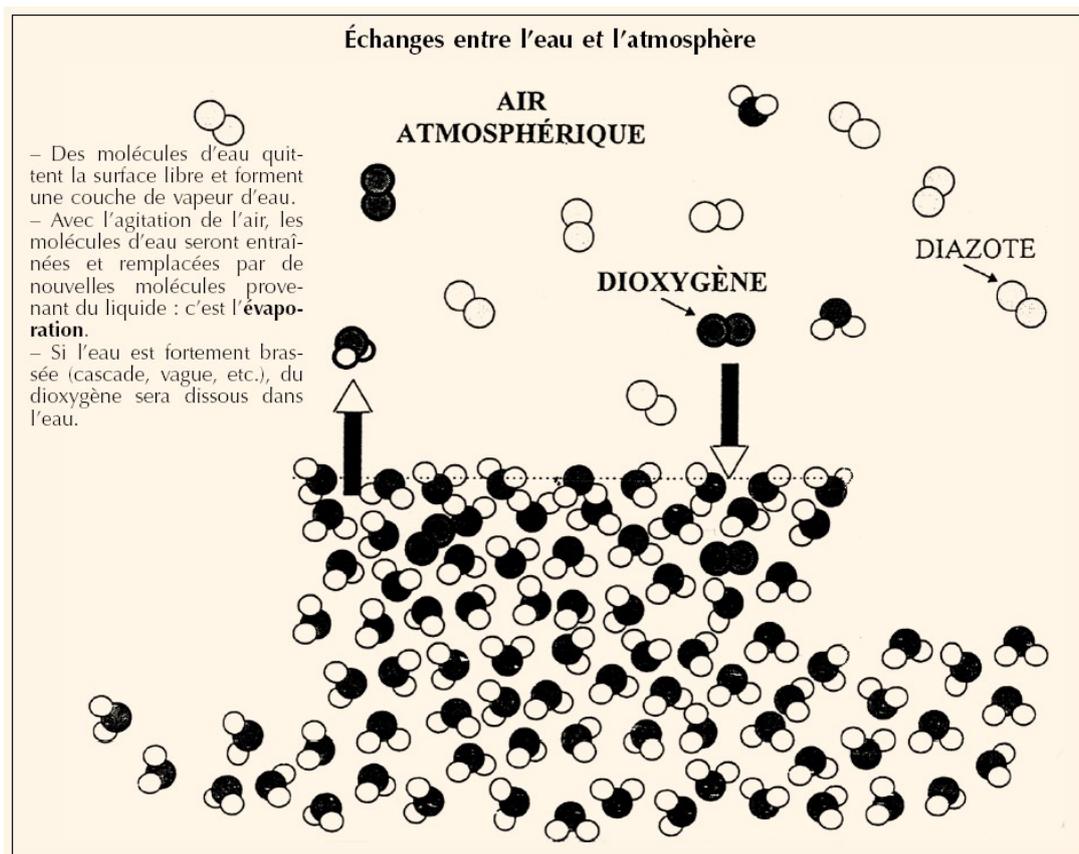
### A3.4 Des animations et des représentations

- On trouvera sur le site <http://www2.educnet.education.fr/phy/pratiques/college/> des animations moléculaires en 3D.
- Représentation moléculaire des états de l'eau et de solutions aqueuses.

Il s'agit ici de représenter un liquide et le phénomène de dissolution. Le passage de la vapeur d'eau à l'eau liquide n'est pas en lien, bien entendu, avec la compressibilité des gaz !







- Animations interactives (voir [schene](http://www2.educnet.education.fr/sections/phy/ressources/schene/cycle-central) sur Educnet) : <http://www2.educnet.education.fr/sections/phy/ressources/schene/cycle-central>

### A.3.5 L'observation de la matière

Il est fondamental pour les chercheurs d'affiner sans cesse leur compréhension de la structure de la matière ; à cette fin, se sont développés récemment des techniques et instruments de mesure permettant une observation plus performante de la matière et donc une approche plus fine des structures atomiques et moléculaires. Il convient d'insister sur le fait que toutes ces techniques, aussi précises soient-elles, ne conduisent pas à une « photographie » de la matière donc à la structure réellement existante ; elles sont toutes basées sur un modèle que l'expérimentateur s'est préalablement fixé et sur lequel repose la technologie employée. L'instrument de mesure récupère ainsi une information qui est analysée ensuite selon le modèle.

#### La diffraction des rayons X

Les rayons X ont une nature identique à celle de la lumière visible, à la différence que leur longueur d'onde est à peu près 1 000 fois plus faible, soit de l'ordre de quelques dixièmes de nanomètres. Quand on irradie un cristal par un faisceau de rayons X, chacun de ses atomes constitutifs se comporte comme s'il était lui même une source de rayons X, d'intensité plus faible, se propageant dans toutes les directions (il « diffuse » ces rayons). Ces ondes interférant entre elles, la diffusion est renforcée dans certaines directions (on dit que le cristal produit des rayons diffractés) qui dépendent du réseau d'atomes dans le cristal ; de plus, l'intensité des rayons diffractés dépend de la structure des atomes dans un motif élémentaire du cristal, c'est-à-dire leur position spatiale. La méthode de diffraction des rayons X ne donne donc pas une image de la structure mais permet de la reconstituer. Il est nécessaire d'effectuer de longs calculs à l'ordinateur pour convertir les directions et intensités des rayons diffractés en des positions dans le cristal des atomes. L'établissement d'une structure nécessite aujourd'hui des temps de calcul pouvant aller de quelques heures (structures simples) à plusieurs mois (6 mois environ pour une protéine contenant 5 000 atomes) ; les structures les plus simples nécessitent plusieurs jours il y a quelques dizaines d'années. Cette technique n'est applicable que grâce à l'ordre et la régularité de la structure d'un cristal ; elle ne peut donc être utilisée pour un gaz ou un liquide.

#### Les microscopies à champ proche

Les années quatre-vingt ont vu le développement de techniques très fines permettant d'obtenir une « image » de la composition atomique de la surface d'un solide. Ces microscopies nécessitent, entre autres, d'approcher l'instrument de mesure à des distances très courtes du solide à étudier (quelques dixièmes de nanomètres), ce qui leur a donné le nom générique de microscope à « champ proche ».

• **Le microscope à effet tunnel** (introduit en 1982 par G. Binnig et H. Rohrer, récompensés par le prix Nobel) permet d'observer la surface de solides avec un agrandissement proche de la centaine de millions, c'est-à-dire à une échelle proche de la taille des atomes. Son principe de fonctionnement est le suivant : lorsque l'on approche deux solides conducteurs à une distance très courte, sans qu'ils se touchent, des électrons sont en mesure, sous l'action d'une différence de potentiel, de se déplacer d'un solide à l'autre (phénomène d'origine quantique et appelé **effet tunnel**) produisant ainsi un courant (**le courant tunnel**). Celui-ci varie fortement avec la distance séparant les deux solides. Dans un microscope à effet tunnel, les deux solides impliqués sont, d'une part, le solide à analyser et, d'autre part, une fine pointe métallique, déplacée parallèlement à la surface de l'échantillon. En maintenant constant le **courant tunnel** lors du déplacement de la pointe, celle-ci doit rester à une distance constante de la surface, reproduisant ainsi son relief qui est reproduit sous forme d'une image (figure 1). Tout se passe donc comme si on « voyait » les atomes. On peut distinguer des variations de la hauteur du relief de l'ordre du picomètre. La réalisation d'une telle image nécessite de maîtriser des difficultés techniques comme l'approche, sans contact, de la pointe et de la surface étudiée à très faible distance, et l'obtention de pointes assez fines pour obtenir la résolution

atomique. La limite de cette microscopie réside en ce qu'elle ne peut s'appliquer qu'à l'analyse de solides conducteurs ou semi-conducteurs. Pour les solides isolants, on a recours au microscope à force atomique.

• **Le microscope à force atomique** utilise la proximité entre la pointe et le solide pour détecter les forces s'exerçant entre les atomes de la pointe et ceux du solide et leurs variations lorsque l'on balaie la surface de ce solide par la pointe-sonde. Là encore, on obtient une image du profil de la surface à l'échelle nanométrique (Cf. figures 2 et 3). Le principe est le suivant : la pointe (souvent en diamant, tungstène ou  $\text{SiO}_2$ ) est placée à l'extrémité d'un levier très flexible et de faible masse et exerce sur les atomes de la surface du solide étudié une force constante. La surface est déplacée sous la pointe et, la force d'interaction pointe/surface variant de place en place, on constate un déplacement du levier qui est enregistré optiquement.

Les microscopies à champ proche (il y en a d'autres que les deux décrites ci-dessus) ont ainsi conduit à une nouvelle approche des propriétés électroniques et structurales des surfaces de nombreux solides ; elles sont également appliquées à l'étude des systèmes biologiques.

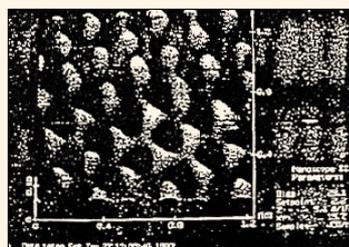


Figure 1 : Image tridimensionnelle de microscopie à effet tunnel sur la surface d'un solide (composé d'intercalation graphique -  $\text{Cr Cl}_3$ ). La hauteur du relief correspond à une amplitude de 0,1nm. (*L'actualité chimique*, mars-avril 1992)

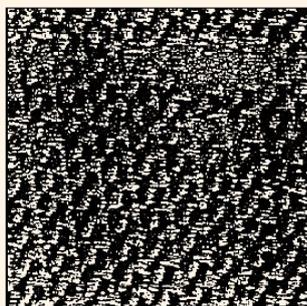


Figure 2 : image obtenue par microscopie à force atomique (MFA), de la surface du tétracène ( $\text{C}_{10}\text{H}_8$ ) solide. (*L'actualité chimique*, mars-avril 1992)

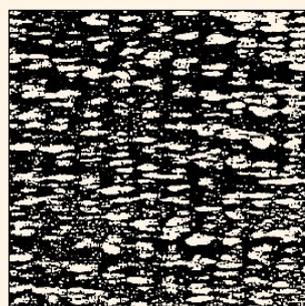


Figure 3 : image, obtenue par MFA, de l'arrangement atomique à la surface d'un cristal de bromure d'argent Ag Br. (*L'actualité chimique*, mars-avril 1992)

### A.3.6 Les cristaux liquides (Information professeur)

À l'occasion de la présentation des états de l'eau, la question du caractère universel de la distinction entre les trois états : solide, liquide et gaz, ne manquera pas d'être posée. On ne cherchera pas à dissimuler l'existence de corps pour lesquels le classement dans l'un des trois états classiques n'est pas immédiat (substances « pâteuses » telles que la pâte à modeler, aérosols, etc.). La distinction fait souvent intervenir la durée de l'observation ; par exemple, la frontière entre « miel solide » et « miel liquide » n'est pas tranchée ; renversé, un pot de « miel solide » (non cristallisé) finit pas couler, ce n'est pas un authentique solide. La nature des molécules qui la constitue fait qu'une substance a une viscosité plus ou moins importante.

D'autres états de la matière, non assimilables à l'un des trois états précédemment cités, ont été mis en évidence. Leurs propriétés intermédiaires entre celles des trois états : solide, liquide et gaz, font qu'ils constituent une catégorie nouvelle d'état de la matière ; c'est le cas, par exemple, des **cristaux liquides**.

Il y a une centaine d'années qu'ont été observées certaines propriétés curieuses d'un corps organique, le benzoate de cholestérol, lorsque l'on effectue la fusion d'un cristal. Le chauffage de ce solide conduit, comme prévu, à une discontinuité vers  $145^\circ\text{C}$  : on observe la transformation du cristal en un liquide, mais visqueux et d'aspect trouble. Si

l'on poursuit l'élévation de température, on observe une seconde discontinuité vers 178°C : le liquide précédent devient plus fluide et transparent. Lorsque l'on effectue l'opération inverse, c'est-à-dire, lors du refroidissement du liquide, on observe que les transformations inverses ont lieu aux mêmes températures. Tout se passe donc comme si ce corps subissait deux véritables changements de phase. Il s'agit du premier exemple de mise en évidence d'un état de la matière intermédiaire entre l'état solide et l'état liquide. Bien que le phénomène soit assez peu fréquent, plusieurs centaines de corps organiques présentant ces caractéristiques particulières sont maintenant connus. Pour la plupart, ce sont souvent plusieurs phases intermédiaires distinctes entre le solide et le liquide qui sont observées. Ces phases intermédiaires sont appelées des **mésophases**.

Les substances présentant ces propriétés sont appelées « cristaux liquides ». Elles ont en commun que leur molécule a la forme d'un bâtonnet plat et peu flexible, du moins dans la région centrale de la molécule.

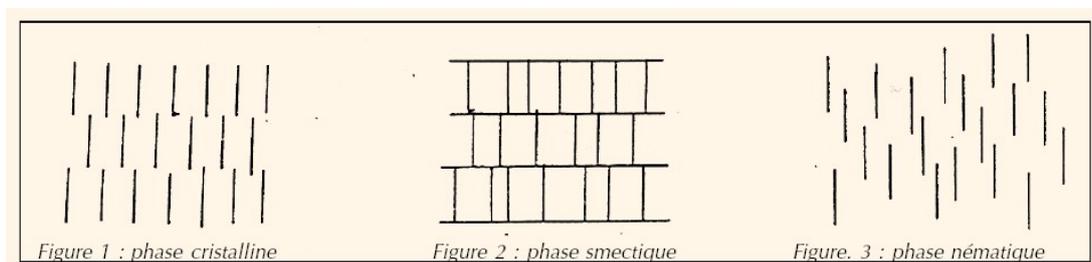
Dans l'état solide, les molécules se disposent parallèlement les unes aux autres (Cf. figure 1) ; à cet agencement ordonné s'opposent les mouvements des molécules dus à l'agitation thermique.

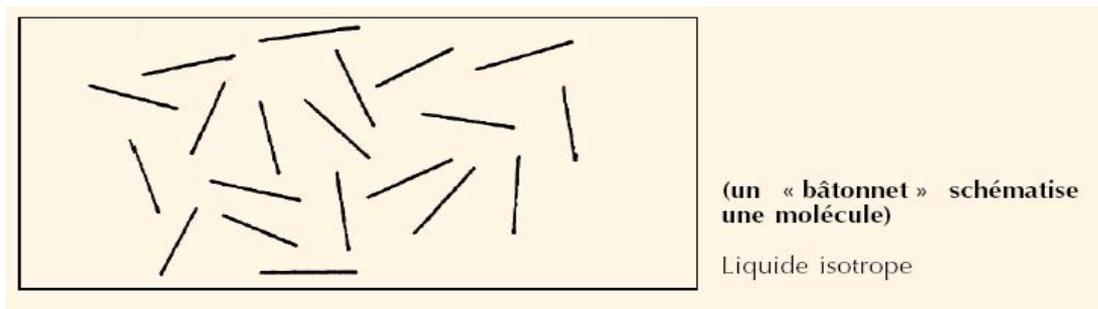
Ainsi, à basse température la tendance à l'ordre l'emporte, conduisant à un arrangement régulier ; lors du passage à un liquide « classique », cet ordre disparaît du fait de l'agitation thermique qui devient prédominante. Dans les cristaux liquides, on observe plusieurs sortes de structures intermédiaires, pour lesquelles un certain ordre persiste.

- Dans un premier type de mésophase, appelée **smectique**, les molécules restent ordonnées en couches, mais peuvent bouger parallèlement les unes aux autres, ce qui efface l'ordre entre molécules de deux couches distinctes (Cf. figure 2) ; de plus, au sein d'une couche, l'ordre initial n'est plus totalement respecté. Ces couches ont été mises en évidence (par des expériences de diffraction des rayons X) et leur épaisseur s'avère être à peu près égale à la longueur d'une molécule.

- Dans un second type, le degré d'ordre est plus faible que pour le type smectique : on parle de mésophase **nématique**. Les couches parallèles y ont disparu et l'ordre se caractérise uniquement par l'alignement des molécules dans une même direction (Cf. figure 3).

Alors que certaines substances ne transitent que par la phase smectique lors du passage de l'état cristallin à l'état liquide normal, d'autres ne transitent que par la phase nématique ; certaines autres passent par les deux phases, la phase smectique précédant la nématique lorsque la température augmente. Les températures de transition entre les phases intermédiaires varient en général dans un intervalle de 0 ° C à 150 ° C, selon la nature des molécules impliquées.





## A4. LES COMBUSTIONS

Diaporama illustrant les combustions du carbone

[http://www.ac-bordeaux.fr/Pedagogie/Physique/site/college/4eme/c\\_phys\\_4eme.htm#partie3](http://www.ac-bordeaux.fr/Pedagogie/Physique/site/college/4eme/c_phys_4eme.htm#partie3)

Diaporama illustrant les combustions du fer

[http://www.ac-bordeaux.fr/Pedagogie/Physique/site/college/4eme/c\\_phys\\_4eme.htm#partie3](http://www.ac-bordeaux.fr/Pedagogie/Physique/site/college/4eme/c_phys_4eme.htm#partie3)

Exercices interactifs

<http://www.ac-orleans-tours.fr/physique/phyel/quatr/index.htm>

[http://www.discip.crdp.ac-caen.fr/phch/college/quatrieme/4\\_exos\\_acc.htm](http://www.discip.crdp.ac-caen.fr/phch/college/quatrieme/4_exos_acc.htm)

## A5. LES ATOMES POUR COMPRENDRE LA TRANSFORMATION CHIMIQUE

### A5.1. Les modèles de l'atome

La première partie de ce texte propose une présentation historique, destinée aux enseignants, la seconde partie présente des suggestions pédagogiques et se conclut par quelques formulations susceptibles d'être transmises aux élèves.

#### I. PRÉSENTATION HISTORIQUE.<sup>2</sup>

L'histoire des modèles atomiques est inséparable de celle des connaissances relatives aux particules chargées. Celle-ci commence avec l'établissement en 1833 des lois de l'électrolyse par l'anglais Michael Faraday (1791-1867). L'interprétation de ces lois conduit au concept d'ion.

En 1881, l'anglais Joseph John Thomson (1856-1940) suggère que les rayons cathodiques sont constitués de particules chargées négativement que son compatriote Johnstone Stoney (1826-1911) baptise électrons en 1891 ; cette hypothèse est confirmée en 1895 par le français Jean Perrin (1870-1942). En 1897, Thomson mesure la charge massique  $e/m$  de l'électron.<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Il s'agira ci-dessous d'une présentation des modèles atomiques dans une perspective historique. Pour l'histoire de la théorie atomique, on se reportera notamment à l'ANNEXE B 2 « ouvertures en direction de l'histoire des sciences : DE L'ÉVOLUTION DU MODÈLE MOLECULAIRE À LA RÉALITÉ DE LA MOLECULE ».

<sup>3</sup> L'intervention de l'électron dans l'explication d'un grand nombre de phénomènes découverts au tournant du siècle (effet photoélectrique, émission thermoionique, radioactivité) a contribué de façon décisive à la victoire des "atomistes", convaincus du caractère discontinu de la matière. Cette victoire, acquise définitivement au cours des dix premières années du vingtième siècle, tient également aux valeurs convergentes fournies pour la constante d'Avogadro  $N_A$  par un nombre toujours plus grand de méthodes fondées sur des principes très variés.

Au tout début du vingtième siècle, une ambition naturelle des théoriciens est de proposer un modèle de l'atome en précisant notamment la répartition de la charge électrique à l'intérieur de celui-ci. Un théorème dû à l'anglais Earnshaw fixe des limites à l'imagination des auteurs de modèles. Il établit en effet qu'un système de charges ponctuelles, fixes dans le vide, ne peut pas être en équilibre stable sous la seule action de ses interactions électrostatiques mutuelles. Ainsi, la physique classique (non quantique) ne laisse ouvertes que deux possibilités :

a) Un modèle " statique " (dans lequel les charges restent fixes) ne peut décrire l'atome comme constitué uniquement de charges ponctuelles : une partie de la charge de l'atome doit être répartie sous forme de distribution volumique.

b) Un modèle qui décrit l'atome comme constitué de charges ponctuelles ne saurait supposer celles-ci fixes, il est nécessairement " dynamique ".

### **Modèle de Thomson (1904).**

En 1904, J.J.Thomson propose un modèle de type (a) qui décrit une charge positive " diluée " dans tout le volume de l'atome au sein duquel sont contenus des électrons ponctuels. Ce modèle rend compte correctement des ordres de grandeurs de plusieurs grandeurs physiques : potentiel d'ionisation de l'atome, champ électrique disruptif des gaz. Il associe également à l'atome une fréquence propre d'oscillation de l'électron dont l'ordre de grandeur n'est pas en contradiction avec les spectres observés ; le modèle est toutefois incapable de rendre compte de l'existence de raies multiples.

### **Modèle planétaire : Perrin, Rutherford, Bohr, Sommerfeld (1901-1915).**

Dès 1901, le français Jean Perrin (1870-1942) avait suggéré un modèle de type (b), dit "planétaire " car les électrons y sont supposés tourner autour d'un noyau positif à la manière dont les planètes orbitent autour du Soleil.

En 1909, les allemands Hans Geiger (1882-1945) et Mardsen, travaillant au laboratoire Cavendish de Cambridge sous la direction de l'anglais Ernest Rutherford (1871-1937), élève de Thomson, " bombardent " une mince feuille d'or à l'aide de faisceaux de particules alpha dont Rutherford établit qu'elles sont des atomes d'hélium deux fois ionisés. Ils constatent que ces particules subissent des déviations importantes, parfois supérieures à 90°.

Rutherford améliore ces expériences et établit que le modèle de Thomson est incapable d'expliquer les déviations importantes observées. Il propose donc d'adopter un modèle planétaire dans lequel les électrons orbitent autour d'un noyau dans lequel sont concentrées la charge positive et la masse et dont les dimensions sont très inférieures à celles de l'atome.

En 1900, l'allemand Max Planck (1858-1947) avait introduit l'hypothèse de la quantification des échanges d'énergie électromagnétique avec la matière, caractérisée par la constante  $h$  ; en 1905, Albert Einstein (1879-1955), alors suisse, avait rendu compte des principales caractéristiques de l'effet photoélectrique à l'aide de cette hypothèse.

En 1913, le danois Niels Bohr (1885-1962) reprend dans le cas particulier de l'atome d'hydrogène le modèle de Rutherford et lui adjoint une hypothèse inspirée de cette " théorie des quanta " : il suppose que les seules orbites électroniques possibles sont des cercles caractérisés par un moment cinétique quantifié selon :  $\sigma = mv r = n h/2\pi$ ,  $n$  entier. En appliquant les lois de la mécanique newtonienne, Bohr en déduit les rayons et les énergies des orbites quantifiées. Ce calcul conduit à un ordre de grandeur correct

pour les dimensions de l'atome (de l'ordre du dixième de nanomètre) ainsi que pour son énergie d'ionisation (de l'ordre de quelques eV).

Le retentissement du *modèle de Bohr* est surtout dû au fait qu'il rend compte de la structure d'ensemble du spectre de l'atome d'hydrogène avec une très bonne précision. En revanche, ses fondements théoriques manquent de cohérence : l'hypothèse de quantification proposée est arbitraire ; de plus, dans le cadre de la théorie classique alors encore en vigueur, l'électron en mouvement est la source d'un rayonnement d'énergie électromagnétique qui dépend de son énergie mécanique, de telle sorte qu'il devrait très rapidement "tomber" sur le noyau.

En 1915, l'allemand Arnold Sommerfeld (1868-1951) reprend le modèle de Bohr en considérant la possibilité d'orbites elliptiques et en prenant en compte les corrections relativistes justifiées par le fait que la vitesse de l'électron n'est pas tout à fait négligeable devant la célérité de la lumière.<sup>4</sup>

Ces ultimes "perfectionnements" du modèle planétaire (*modèle de Bohr-Sommerfeld*) ne concernent toujours que l'atome d'hydrogène et les rares cas (hydrogénoïdes) qui se ramènent à un problème à deux corps<sup>5</sup>. Ils expliquent l'une des causes de la structure fine des raies spectrales mais ne rendent toujours pas compte de l'ensemble des spectres observés et laissent très critiquables les fondements même du modèle.

### Modèle quantique (à partir de 1925).

Issue des idées avancées en 1923 par le français Louis de Broglie (1892-1987) et formalisée à partir de 1925, essentiellement par l'allemand Werner Heisenberg (1901-1976) et l'autrichien Erwin Schrödinger (1887-1961), la mécanique quantique décrit l'atome d'une façon profondément renouvelée. Elle abandonne notamment pour l'électron le concept de trajectoire et introduit ceux de fonction d'onde et de probabilité de présence.

Si on considère par exemple l'état fondamental ( $n = 1$ ) de l'atome d'hydrogène, l'image ainsi donnée est profondément différente de celle de Bohr : il n'est plus question d'un électron ponctuel animé d'un mouvement orbital ( $\sigma = h/2\pi$ ) mais d'une charge électrique délocalisée. Cette charge est de plus sans mouvement de rotation : le moment cinétique vaut 0 au lieu de la valeur  $h/2\pi$  qui était l'hypothèse de départ de Bohr !

Ce *modèle quantique* de l'atome échappe aux contradictions des modèles classiques (préquantiques). Il est perfectionné jusqu'à la fin des années quarante<sup>6</sup>, notamment grâce au développement par l'anglais Maurice Dirac (1902-1984) d'une théorie quantique et relativiste. A l'heure actuelle, l'accord entre les calculs théoriques issus du modèle quantique et les observations relatives au spectre de l'hydrogène atteint dix chiffres significatifs.

## II. SUGGESTIONS PÉDAGOGIQUES.

On entend souvent demander s'il faut "enseigner le modèle de Bohr". Les rappels historiques ci-dessus permettent de préciser les termes de ce vieux débat.

Au niveau du *premier cycle universitaire*, la question ainsi posée sous-entend la présentation d'une suite de calculs bien connus. En dehors de l'hommage historique, l'intérêt pédagogique de ceux-ci est critiquable dans la mesure où ils reposent sur des hypothèses hétéroclites, ni classiques, ni vraiment quantiques. Présentés sans les précau-

<sup>4</sup>  $v/c = \alpha \sim 1/137$  sur la " première orbite de Bohr " ( $n = 1$ ).

<sup>5</sup> L'étude d'un atome quelconque constitue un " problème à  $n$  corps " dans la mesure où, en plus des interactions électron-noyau, il faut prendre en compte les interactions entre électrons.

<sup>6</sup> Epoque à laquelle arrive à maturité, grâce notamment au japonais Shi Ichiro Tomonaga et aux américains Julian Schwinger et Richard Feynman l'*électrodynamique quantique*, synthèse de la théorie électromagnétique classique de Maxwell et de la mécanique quantique.

tions indispensables et en dehors du cadre strict d'un exposé historique, ils risquent de laisser dans les esprits des étudiants des idées fausses et indélébiles.

Au moment où la structure de l'atome est présentée pour la première fois, c'est à dire *au collège*, le problème est tout à fait différent. Si l'on admet qu'il est nécessaire de fournir aux adolescents une première image mentale de l'atome et donc de "faire un dessin"<sup>7</sup>, la représentation d'électrons ponctuels est inévitable dans la mesure où une représentation d'électrons délocalisés (sous forme de "nuages") est pratiquement inaccessible à des débutants, en tous cas pour des atomes polyélectroniques.

Ce choix pédagogique ne revient pas à "enseigner le modèle de Bohr" mais à présenter le *modèle planétaire* tel qu'il était au début du vingtième siècle : un noyau autour duquel se déplacent un ou plusieurs électrons, sans faire référence à des orbites privilégiées. L'image proposée ne prétend pas être une représentation définitive de la réalité, l'élève doit savoir qu'il rencontrera dans la suite de ses études un modèle plus récent, plus "performant" en ce sens qu'il permet de rendre compte d'un plus grand nombre de faits expérimentaux.

Ce qui importe est de faire mémoriser d'emblée des caractéristiques de l'atome que l'étude du modèle quantique ne remettra pas en cause :

- la charge positive de l'atome et sa masse sont concentrées au centre de celui-ci dans une région appelée noyau ;
- la charge négative est répartie dans le cortège électronique qui entoure le noyau ;
- les dimensions de l'atome sont de l'ordre du dixième de nanomètre ;
- les dimensions du noyau sont environ 100 000 fois inférieures.<sup>8</sup>

Bibliographie complémentaire : Jean Jandaly, *Histoires de Physique et de Chimie* – Actualisation des données scientifiques et pratiques pédagogiques – CRDP Rouen, 1998.

## A5.2. Combustion du carbone

Après avoir fait réaliser la combustion par des élèves, on peut utiliser des animations schématisant à l'échelle microscopique la combustion du carbone :

<http://www4b.ac-lille.fr/~physiquechimie/espacol/fabreges/fabflash/flash4ch/combleg.swf>

<http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/physique/TICE/anim-coll/index.htm>

### Attention !

**Attention, dans ces animations, la formulation chaleur = énergie est à proscrire.** En effet, la chaleur correspond à un mode de transfert de l'énergie (transfert thermique).

La partie intitulée "Que se passe-t-il lors de la combustion du carbone dans le dioxygène ?" montre le réarrangement des atomes au cours de la transformation. Après avoir visionné le diaporama, il est intéressant de demander aux élèves de répéter ce "démontage-remontage" avec des modèles moléculaires en plastique ou de simples modèles en papier. **L'enseignant devra garder à l'esprit que le réarrangement imaginé ici ne correspond pas à un mécanisme réactionnel. Seuls les états initiaux et finaux sont une certitude.**

La fin du diaporama avec les parties intitulées "Lors de la combustion du carbone, le nombre d'atomes de chaque sorte se conserve." et "Equation chimique de la combustion du carbone" répond aux attentes des programmes et peut être exploitée.

<sup>7</sup> Cette nécessité est contestée par certains auteurs. L'introduction de ce que Halbwachs appelle un "modèle image" nous semble difficilement évitable à ce niveau d'enseignement. Il convient toutefois d'être conscient du risque de confusion entre le modèle et la réalité.

<sup>8</sup> Les dimensions citées sont de simples ordres de grandeur, à une puissance de dix près. Elles dépendent bien entendu de la nature de l'atome considéré.

En revanche, les développements -bien que très intéressants- des parties intitulées "Pourquoi reste-t-il du carbone ?", "Peut-il rester du dioxygène à la fin de la combustion ?", "Le carbone et le dioxygène peuvent-ils totalement disparaître lors de la combustion ?" et "Bilan chimique de la combustion" ne font pas partie des compétences exigées des élèves et leur compréhension pourra être abordée seulement si la question est posée et si le niveau de la classe le permet.

### A5.3 Animation sur la combustion du méthane

Après avoir fait réaliser la combustion par des élèves, on peut utiliser les ressources suivantes qui sont des animations :

[http://www4b.ac-lille.fr/~physiquechimie/eleves/quatrieme/animcombmethane/la\\_combustion\\_du\\_methane.htm](http://www4b.ac-lille.fr/~physiquechimie/eleves/quatrieme/animcombmethane/la_combustion_du_methane.htm)

ou

[http://www.ac-amiens.fr/pedagogie/spc/phydoc/college/chimie/animchim4/combustion\\_methane.html](http://www.ac-amiens.fr/pedagogie/spc/phydoc/college/chimie/animchim4/combustion_methane.html)  
<http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/physique/TICE/anim-coll/index.htm>

Ces animations n'illustrent que le réarrangement d'ensemble des atomes. Il ne s'agit pas d'un mécanisme réactionnel au niveau microscopique et la formulation chaleur = énergie est là aussi à proscrire.

### A5.4 Conservation de la masse lors des transformations chimiques

#### Manipulation

Élèves

#### Objectifs généraux

Respecter le protocole

Manipuler soigneusement

Rédiger un compte-rendu

#### Objectifs spécifiques

Illustrer la conservation de la masse lors d'une réaction chimique

Identifier le dioxyde de carbone

#### Matériel

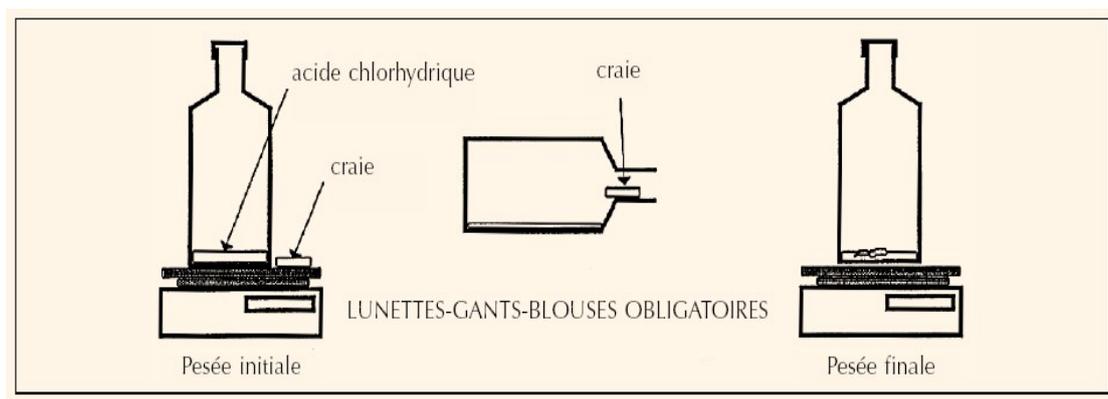
Par groupe :

- 1 morceau de craie carrée (environ 5 g)
- 100 cm<sup>3</sup> d'acide chlorhydrique à 2 mol.L<sup>-1</sup> (ne pas dépasser cette concentration)
- (éventuellement eau de chaux)
- 1 bouteille plastique avec bouchon à vis 1L (ou mieux, bocal étanche pour stérilisation ou un flacon et 1 ballon de baudruche servant de bouchon)
- 1 balance à affichage numérique

Éventuellement, pour réaliser une expérience complémentaire de mise en évidence du dioxyde de carbone formé, matériel complémentaire : bouchon avec tube à dégagement + tube à essais pour recueillir un peu de dioxyde de carbone.

Remarque : incliner la bouteille dans laquelle on a déjà introduit l'acide chlorhydrique pour déposer en haut du goulot le morceau de craie.

Boucher très fermement. Noter l'heure et la masse indiquée sur la balance (refaire les mesures au bout de 5 puis de 10 minutes).

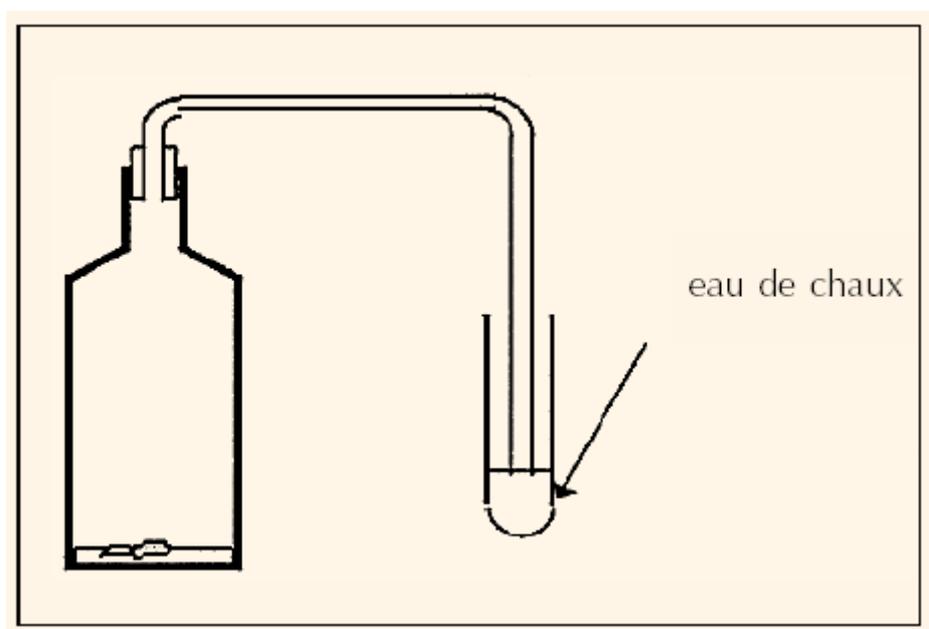


### Durée

Au moins 1/2 h. Toute la craie disparaît au bout de 12 minutes environ.

### Points essentiels

Remarques : Avec un bouchon à vis, une légère fuite se produit ( $\approx 0,1 \text{ g} / 5 \text{ min}$ ), avec le ballon de baudruche ( $\approx 0,4 \text{ g} / 5 \text{ min}$  !). Si au bout de 5 minutes on ouvre le bouchon, on entend des gaz s'échapper et on peut constater une perte de masse d'environ 1 g. En cas d'utilisation d'un bocal, **attention** lors de l'ouverture (yeux, peau).



Expérience complémentaire : mise en évidence du dioxyde de carbone formé au cours de la réaction.

### A5.5 Commentaires sur le vocabulaire

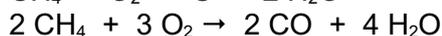
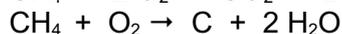
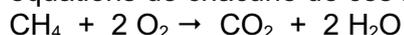
Pour assurer une meilleure continuité des apprentissages, on a recherché la cohérence avec le vocabulaire employé au lycée.

- La **transformation chimique** est le passage du système d'un état initial (le système avant réaction) à un état final (le système après réaction).

La **réaction chimique** est définie par l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée (IUPAC) comme un processus d'interconversion d'espèces chimiques.

**L'équation** est l'écriture symbolique de la réaction chimique. Par convention, les **réactifs** sont placés à gauche, les **produits** à droite d'une flèche orientée de gauche à droite. Cette écriture respecte la conservation des éléments et des charges de sorte qu'à chaque espèce est associée un nombre, appelé **nombre stœchiométrique**.

Ainsi, la combustion du méthane correspond à une transformation chimique au cours de laquelle plusieurs réactions chimiques peuvent avoir lieu : les produits peuvent être, selon les conditions, du dioxyde de carbone, du carbone, du monoxyde de carbone. Les équations de chacune de ces réactions sont les suivantes :



*(Il n'est pas possible pour autant d'écrire :  $4 \text{CH}_4 + 6 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{C} + 2 \text{CO} + 8 \text{H}_2\text{O}$   
En effet la formation d'une même quantité de carbone et de dioxyde de carbone d'une part et, d'une quantité double de monoxyde de carbone d'autre part, n'est pas observée.)*

- On préfère parler de l'**ajustement** des nombres stœchiométriques dans l'écriture d'une réaction chimique, plutôt que « d'équilibrer une équation », afin d'éviter la confusion avec la notion d'équilibre chimique étudiée au lycée.

- On choisit de ne pas parler d'équation-bilan pour éviter la confusion avec la notion de « *bilan de matière* » étudiée au lycée.

## B. LES LOIS DU COURANT CONTINU

### B1. INTENSITÉ ET TENSION : DEUX GRANDEURS ÉLECTRIQUES ISSUES DE LA MESURE

- Quelques exemples de démarche d'investigation sur ce thème :

[http://spcfa.ac-rouen.fr/rectorat\\_physique/article.php3?id\\_article=140](http://spcfa.ac-rouen.fr/rectorat_physique/article.php3?id_article=140)

[http://ww3.ac-poitiers.fr/sc\\_phys/prog/college/tableauQP.htm](http://ww3.ac-poitiers.fr/sc_phys/prog/college/tableauQP.htm)

[http://www.pedagogie.ac-nantes.fr/62798796/0/fiche\\_\\_\\_ressourcepedagogique/&RH=1161018235859](http://www.pedagogie.ac-nantes.fr/62798796/0/fiche___ressourcepedagogique/&RH=1161018235859)

[http://www.pedagogie.ac-nantes.fr/66447125/0/fiche\\_\\_\\_ressourcepedagogique/&RH=1161018235859](http://www.pedagogie.ac-nantes.fr/66447125/0/fiche___ressourcepedagogique/&RH=1161018235859)

- Histoire des sciences :

La pile électrique de Volta peut être une illustration qui sera reprise en 3<sup>ème</sup>. Voir en **ANNEXE B 5 : Les travaux de Volta.**

### B2. UN DIPÔLE : LA « RÉSISTANCE »

La résistance électrique est une grandeur essentielle en tant que critère pour le choix des matériaux utilisés en électricité. La notion de résistance permet également de caractériser un circuit série par une grandeur et permet ainsi, à côté des propriétés de l'intensité et de la tension, d'avoir une vue plus globale de son comportement. Une meilleure compréhension des conditions d'utilisation de certains composants (DEL) est ainsi facilitée.

tée. La mesure de la résistance des fils souples utilisés pour les montages permettra de vérifier leur état et ainsi de détecter certains défauts.

L'étude de la résistance permet le développement de démarches expérimentales nécessitant la mise en œuvre de manipulations à la fois simples et rapides, utilisant toutes les mesures de grandeurs électriques rencontrées au collège, avec des composants familiers déjà utilisés en technologie (résistances, DEL).

L'étude qui suit se situe en courant continu. Certains résultats tels que l'additivité des tensions s'étendent en alternatif aux valeurs efficaces à condition que le circuit ne comporte que des éléments purement résistifs.

Schéma d'une démarche pédagogique expérimentale possible :  
Influence d'une résistance ajoutée en série dans un circuit électrique

Questionnement	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Que modifie une résistance ajoutée en série dans un circuit électrique ?</li> <li>— Pourquoi ce mot « résistance » ?</li> <li>— Pourquoi utiliser une résistance de protection avec une DEL ?</li> </ul>
Formulation d'hypothèses (H)	<p>Le fonctionnement du circuit électrique (intensité-tension) dépend</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— H1 : du sens de branchement de la résistance ;</li> <li>— H2 : de la place de la résistance dans le circuit électrique ;</li> <li>— H3 : de la valeur de la résistance.</li> </ul>
Vérification expérimentale des hypothèses	<p>Dans un circuit simple avec une lampe éclairant normalement (tension d'usage adaptée à celle du générateur) on introduit, en série :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— H1 : une résistance dont on inversera le sens de branchement;</li> <li>— H2 : une résistance que l'on placera soit en « amont » soit en « aval » de la lampe ;</li> <li>— H3 : des résistances différentes.</li> </ul> <p>Dans chaque cas, on mesure l'intensité dans le circuit électrique, la tension aux bornes du générateur, de la lampe et de la résistance.</p>
Analyse des résultats	<p>Une résistance</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— n'a pas de sens de branchement ;</li> <li>— peut être placée en n'importe quel point du circuit série ;</li> <li>— provoque la diminution de l'intensité dans le circuit et un éclairage plus faible de la lampe : l'intensité est d'autant plus faible que la résistance ajoutée est grande .</li> </ul> <p>La tension délivrée par le générateur se répartit entre la lampe et la résistance (additivité des tensions) mais cette répartition varie avec la valeur de la résistance, la tension aux bornes de la résistance augmentant avec la valeur de la résistance, la tension aux bornes de la lampe diminue et ne permet plus une bonne utilisation.</p>
Réponse au problème	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Une résistance ajoutée en série dans un circuit électrique provoque la diminution de l'intensité dans le circuit et la diminution de la tension aux bornes de la lampe.</li> </ul> <p><i>Remarque</i> : il sera possible de mesurer la tension aux bornes</p>

d'une DEL en série avec une résistance ainsi que l'intensité du courant qui la traverse pour vérifier que ce composant est ainsi alimenté correctement.

— La résistance « gêne » le passage du courant électrique. Elle « résiste ». Elle permet de limiter l'intensité du courant électrique dans le circuit.

### B3. LA LOI D'OHM

Un document sur l'histoire de la loi d'Ohm présentant les travaux d'Ohm et d'Ampère est disponible sur le site de l'académie de Paris (il est intitulé « **Brève histoire des phénomènes électromagnétiques** »).

Schéma d'une démarche pédagogique expérimentale possible sur la loi d'Ohm :

	Compétences
Situation problème	Existe-t-il une relation entre la tension aux bornes d'une résistance et l'intensité du courant qui la traverse ?
Formulation d'hypothèses	La tension aux bornes d'une résistance dépend de l'intensité du courant qui la traverse.
Vérification expérimentale des hypothèses	Pour différentes valeurs de l'intensité du courant qui traverse une résistance de valeur connue, mesurer la tension aux bornes de cette résistance.
Analyse des résultats	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ La tension croît si l'intensité augmente.</li> <li>✓ La tension est proportionnelle à l'intensité.</li> <li>✓ Le rapport de proportionnalité <math>U(V) / I(A)</math> a même valeur que la résistance.</li> <li>✓ La caractéristique est une droite passant par l'origine.</li> </ul>
Réponse au problème	La tension (en volt) aux bornes d'une résistance est proportionnelle à l'intensité du courant qui la traverse.

Une exploitation informatisée des résultats est recommandée si les conditions matérielles s'y prêtent :

- exemple 1 : loi d'Ohm, traitement avec un tableur-grapheur

**voir dans le dossier ANNEXE C le fichier *Loi d'Ohm B2i.xls* (la construction de la caractéristique d'un dipôle ohmique).**

- exemple 2 : acquisition et traitement de données (loi d'Ohm)

**voir en ANNEXE C3 : Exao sur la loi d'Ohm au collège.**

Voir également :

<http://www2.educnet.education.fr/sections/phy/pratiques/videos-usages/caracteristique>

## C. LA LUMIÈRE : COULEURS ET IMAGES

### C1. LUMIÈRES COLORÉES ET COULEUR DES OBJETS

**C1.1 Une démarche d'investigation** (« *Je possède un téléviseur couleur. Comment se fait-il que l'écran puisse présenter des parties blanches ?* »)

voir en ANNEXE A3 : un exemple de démarche d'investigation en classe de 4<sup>ème</sup> concernant la synthèse additive des lumières colorées.

### C1.2 Couleur de la lumière ; couleurs des objets

Les couleurs des objets	Animations permettant de choisir la couleur de la source lumineuse et, pour certaines, la couleur de l'objet.	Académie de Lille	<a href="http://www4b.ac-lille.fr/~physiquechimie/espacol/espacol.htm">http://www4b.ac-lille.fr/~physiquechimie/espacol/espacol.htm</a>
Utilisation d'un filtre coloré	Applet permettant de faire varier la couleur du faisceau de lumière incident et la couleur des filtres.	Académie de Nice	<a href="http://www.ac-nice.fr/physique/doc/applets/couleurs/Filtre/filtre.htm">http://www.ac-nice.fr/physique/doc/applets/couleurs/Filtre/filtre.htm</a>
Les couleurs des objets	Animation Flash sur la couleur des objets. On peut choisir les filtres à interposer devant une source de lumière blanche, choisir la couleur qu'aurait l'objet s'il était éclairé en lumière blanche, décomposer la lumière issue de la source primaire et observer la couleur que prend l'objet suivant l'éclairage	Académie de Nantes	<a href="http://www.ac-nantes.fr:8080/peda/disc/scphy/html/charg4e.htm">http://www.ac-nantes.fr:8080/peda/disc/scphy/html/charg4e.htm</a>

### C1.3 Synthèse additive

**Dialogue entre un élève et son père, artiste peintre :**

« – Sais-tu ce que m'a dit mon professeur ? Il paraît qu'en mélangeant trois lumières colorées on obtient du blanc.

– Lesquelles ?

– Verte, rouge et bleue.

– Mais non ! Je sais bien qu'en effectuant ce mélange de peintures, j'obtiens du noir. »

**Qui a raison ?**

(Pré requis : objet coloré, rôle des filtres)

### EXPÉRIENCE 1

#### 1) Manipulation

Les expériences nécessitent de travailler dans une salle obscure (à défaut, protéger le dispositif expérimental des lumières parasites en utilisant une boîte en carton, si possible tapissée de feutre noir à l'intérieur).

Vous disposez :

- d'une lanterne (12 V) qui, grâce aux miroirs latéraux, permet d'obtenir trois faisceaux colorés rouge, vert et bleu ou de trois lampes de poche ;
- d'un écran, blanc d'un côté, noir de l'autre.

**Superposer deux à deux les faisceaux colorés et observer. Recommencer avec trois faisceaux.**

## 2) Questions et réponses attendues de l'élève

(Convenablement guidé)

Pourquoi un écran blanc éclairé avec un faisceau vert paraît-il vert ?

Pourquoi un écran blanc éclairé avec un faisceau rouge paraît-il rouge ?

« Un écran blanc n'absorbe (pratiquement) rien et diffuse (presque) tout ce qu'il reçoit. »

Pourquoi un écran noir éclairé avec un faisceau vert paraît-il noir (en fait très sombre) ?

« Un écran noir absorbe tout (la quasi-totalité de) ce qu'il reçoit, ne diffuse (presque) rien. »

Vous avez obtenu de nouvelles couleurs à partir du rouge, du vert et du bleu. Pourquoi appelle-t-on cette technique « synthèse additive » ?

« On produit de nouvelles lumières en superposant des lumières les unes aux autres » (on dit souvent : « en additionnant »).

### C1.4 Composer des lumières colorées à l'ordinateur

On utilise le compositeur de couleurs intégré dans l'ordinateur. On y a accès par certains logiciels de traitement de texte (couleur de police) ou de retouche d'image : l'élève peut créer des couleurs en jouant sur l'intensité des canaux rouge, vert et bleu. Lorsque le choix sur l'intensité de chaque canal se fait sur 256 valeurs, l'utilisateur a accès à une palette de plus de seize millions de couleurs ( $256^3$ ).

### C1.5 Un exercice de synthèse sur la couleur des objets sous forme d'une démarche d'investigation

[http://www.ac-reims.fr/datice/sc\\_physiques/docs/clg/4/voleur\\_couleurs.pdf](http://www.ac-reims.fr/datice/sc_physiques/docs/clg/4/voleur_couleurs.pdf)

## C2. QUE SE PASSE-T-IL QUAND LA LUMIÈRE TRAVERSE UNE LENTILLE ?

### C2.1 Comment une lentille forme-t-elle une image ?

**Objectifs** : Introduire la notion d'image donnée par une lentille et ses conditions d'obtention.

Faire constater expérimentalement que l'image est observable en vision directe et qu'un écran permet de pointer sa position de façon précise.

Introduire la notion de distance focale, découvrir deux situations où elle intervient qui peuvent constituer des manières d'estimer sa valeur (Bien-sûr, il ne s'agit pas de méthodes focométriques).

Comparer une lentille convergente et une lentille divergente.

Cette activité devra laisser une trace écrite, au moins sous la forme d'un tableau de réponses complété par l'élève.

**Matériel** : (pour chaque groupe).

3 lentilles (2 convergentes, de distances focales 5 cm et 10 cm par exemple, et une divergente) ;

Les loupes habituelles ont une distance focale voisine de 10 cm ;  
 Feuille au centre de laquelle l'élève écrit ses initiales (hauteur 5 mm) ;  
 Lampe à filament quasi ponctuel et son alimentation ;  
 Écran ou feuille blanche.

**Expérience 1** : manipulation de lentilles et observation d'objets proches ou éloignés.

Première étape - Prendre l'une des lentilles en la tenant devant soi à la main. Regarder à travers la lentille divers objets lointains (paysage, camarades) ou proches (page de livre) en faisant varier la distance entre la lentille et l'œil. On observe une reproduction de l'objet que l'on appellera image.

Deuxième étape - Décrire ce qui est observé : sens de l'image, dimension comparée à celle de l'objet, déformation de l'image, perception floue, rien de reconnaissable...

Cette étude doit permettre de distinguer les lentilles convergentes (à bords minces) des lentilles divergentes (à bords épais). L'image d'un objet lointain est droite pour la divergente et renversée pour la convergente.

**Expérience 2** : lentilles convergentes, utilisation en "loupe", et obtention d'images renversées.

Mettre sur la table la feuille sur laquelle l'élève a écrit ses initiales. Poser d'abord la lentille à plat contre la feuille sur la partie écrite. En se tenant debout, regarder à travers la lentille en éloignant progressivement la lentille de la feuille. Décrire ce qui est observé.

L'image des initiales est d'abord à l'endroit et sa taille augmente. L'image disparaît ensuite et l'on ne distingue plus rien de net. Si l'on continue à éloigner la lentille de la feuille, l'image des initiales réapparaît mais elle est renversée et sa taille diminue. Le fonctionnement en loupe de la lentille correspond à une distance feuille-lentille qui est inférieure à la valeur de la distance focale. La configuration où l'image "est perdue" correspond à une distance feuille-lentille qui est égale à la valeur de la distance focale ou très proche d'elle. La reproduction des initiales est fortement déformée au voisinage de cette configuration.

**Expérience 3** : notion d'image d'un point source.

Une lampe allumée (à filament quasi ponctuel) est posée sur la table. Un écran vertical est placé à  $D = 10$  cm de la lampe.

Intercaler une lentille convergente (distance focale voisine de 10 cm) à une distance  $d = 2$  cm de la lampe (figure 1).

On observe une trace lumineuse circulaire. La variation du diamètre de cette tache lorsqu'on éloigne progressivement l'écran de la lentille permet de préciser si le faisceau est divergent ou convergent.

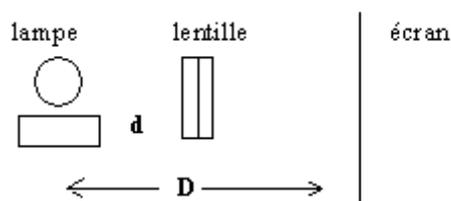


Figure 1

Reprendre l'expérience ci-dessus après avoir augmenté la distance  $d$  entre la lentille et la lampe. Recommencer pour des distances croissantes.

Repérer la distance  $d$  pour laquelle la trace lumineuse circulaire garde un diamètre constant. Cela signifie que le faisceau après la lentille est quasi cylindrique. On retrouve la distance focale mesurée dans l'expérience 2.

Eloigner davantage la lentille du filament. Le faisceau après la lentille converge puis diverge. Au "point" de convergence, on peut voir l'image du filament sur l'écran.

**Conclusion :** si la distance entre un petit objet et une lentille convergente est inférieure à une certaine distance caractéristique de la lentille (la distance focale), le faisceau qui émerge diverge (c'est le cas de l'utilisation en loupe). Si la distance est supérieure à la distance focale, le faisceau émergent de la lentille converge vers un point appelé image du point objet. Au-delà de ce point, le faisceau diverge.

## C2.2 L'œil et la vision

Deux diaporamas concernant la structure de l'œil, la vision de l'œil normal, de l'œil myope et de l'œil hypermétrope (et les corrections de ces deux derniers) figurent sur le site :

<http://www4b.ac-lille.fr/~physiquechimie/espacol/Bouquerel/presenta.htm>

## C2.3 Une ouverture : la lunette astronomique

### Objectif pédagogique :

Utilisation d'un instrument comportant deux lentilles convergentes. La première (l'objectif) donne d'un objet lointain une image réelle, la deuxième joue le rôle de loupe pour regarder l'image formée par la première. L'utilisation de cet instrument peut être une occasion de prolonger les activités d'optique vers des observations astronomiques.

### Préliminaires :

Une lentille convergente forme dans un plan (plan focal) proche de l'observateur une image renversée des objets lumineux éloignés (à l'infini), image que l'on peut observer par visée directe (**SAUF POUR LE SOLEIL**) et dont on peut trouver la position à l'aide d'un écran. Cette image est souvent très petite.

L'observation à travers une seconde lentille convergente (l'oculaire) utilisée comme loupe permet d'observer plus de détails.

### Matériel :

Une petite lunette astronomique, si on en possède une, ou une lunette simplifiée fabriquée à l'aide de deux lentilles. L'objectif doit avoir une longue focale (50 cm à 1 m) et l'oculaire une courte focale (5 cm au plus, par exemple loupe d'horloger).

### Expérience :

Observation d'un objet lointain. Attention à **ne jamais observer directement le Soleil à travers cet instrument**.

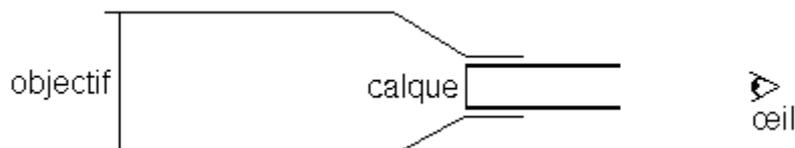


1 - Viser un objet bien contrasté à l'horizon (ou la Lune) avec une lunette. Faire la mise au point en déplaçant l'oculaire. Décrire l'image obtenue en la comparant à ce qui est vu à l'œil nu.

2 - Enlever l'oculaire.

Viser directement à travers l'objectif (il est nécessaire de reculer l'œil d'une vingtaine de centimètres par rapport à sa position avec oculaire).

Pointer la position de l'image en utilisant un papier calque en guise d'écran pour rechercher l'image formée (il est utile de le fixer à l'extrémité d'un petit tube qui va coulisser à la place de l'oculaire). L'image diffusée par l'écran est moins lumineuse qu'en vision directe.



Vérifier que la distance écran objectif est bien égale à la distance focale de l'objectif donnée par le constructeur.

Remettre l'oculaire en place, celui-ci joue le rôle de loupe pour observer l'image précédente.

On repère les détails supplémentaires observés à travers l'instrument complet.

### Remarques :

1- Une lunette ne doit jamais être utilisée directement pour observer le Soleil. Les constructeurs vendent des filtres qui se vissent sur l'oculaire, mais ces filtres, proches du foyer de l'objectif, s'échauffent et peuvent se briser brusquement ; il est donc dangereux et vivement déconseillé de les utiliser. Pour une observation à travers l'instrument, seuls les filtres spéciaux qui recouvrent complètement l'objectif peuvent être utilisés, mais ils coûtent cher. La meilleure façon d'observer le Soleil ou une éclipse de Soleil à l'aide d'une lunette est de projeter l'image du Soleil sur un écran (sol ou mur) derrière l'instrument en effectuant la mise au point en tirant l'oculaire.

2 - L'observation d'un ciel étoilé à travers la lunette permet de mieux voir les couleurs des étoiles et d'en voir un plus grand nombre. Chaque étoile apparaît comme un point (ou une petite tache). Plus le diamètre de l'objectif est grand à distance focale donnée, plus l'œil reçoit de lumière et plus on voit d'étoiles.

3 - Lors de l'observation de la Lune, si le diamètre de l'objectif est grand il est nécessaire d'utiliser un filtre (en général vert) pour ne pas être ébloui.

Bibliographie : Hors série n° 4 (astronomie en 4<sup>ème</sup>) du CLEA (comité de liaison enseignants astronomes)

### C3. VITESSE DE LA LUMIÈRE

- 2005, l'Année Mondiale de la Physique a donné l'occasion à l'Observatoire de Paris d'organiser une exposition avec expériences (tirs laser) : « c » à Paris – vitesse de la lumière : histoires et expériences (voir [www.obspm.fr/expositions/lumiere2005](http://www.obspm.fr/expositions/lumiere2005)).

- Une série de 5 vidéogrammes sur le thème de l'histoire des mesures de la vitesse de la lumière est disponible en streaming et en téléchargement gratuit.

Le ministère de l'Éducation nationale, a assuré la maîtrise d'ouvrage de la réalisation de cette série et les droits ont été acquis pour un usage en classe.

Ces ressources sont utilisables dès la fin du collège jusqu'au premier cycle de l'université.

Les intitulés des 5 séquences de la série sont :

1. Finie ou infinie ?
2. La première mesure sur Terre
3. La recherche de la précision
4. La course à la précision
5. De la vitesse à la célérité

Ces cinq épisodes de "L'histoire des mesures de la vitesse de la lumière " sont accessibles et téléchargeables - sur le site [lesite.tv](http://www.lesite.tv)

<http://www.lesite.tv/index.cfm?nr=6&avc=1&res=collection&fr=0529>

Il suffit de s'identifier comme enseignant pour avoir accès à ces ressources gratuites et libres de droit pour un usage pédagogique.

Ils sont accompagnés de fiches pédagogiques.

- sur le site du Cérimes à l'URL :

<http://www.cerimes.education.fr/index.php?page=fiches.view,20935>

## Fin du document principal

---