

## **Physique-chimie Collège**

---

*Classe de troisième*

# **Ressources en - Physique-chimie -**

***Ce document peut être utilisé librement dans le cadre des enseignements , et de la formation des enseignants.***

***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.***

---

*Août 2008*

# SOMMAIRE

## INTRODUCTION

## LES PRATIQUES PÉDAGOGIQUES

1. [La démarche d'investigation](#)
2. [L'histoire des sciences](#)
3. [Les TIC et le B2i](#)
4. [La liaison collège-lycée](#)
5. [Les liens avec l'enseignement dispensé dans les autres disciplines](#)
6. [L'évaluation](#)
7. [Réflexions autour de l'énergie](#)

## PARTIE THÉMATIQUE : classe de troisième

- A - [La chimie, science de la transformation de la matière](#)**
  - A1 - [Métaux, électrons et ions](#)
    - A1.1 [Des métaux au quotidien](#)
    - A1.2 [Conduction électrique et structure de la matière](#)
    - A1.3 [Quelques tests de reconnaissance d'ions](#)
    - A1.4 [Réaction entre le fer et l'acide chlorhydrique ; interprétation](#)
    - A1.5 [Pile électrochimique et énergie chimique](#)
      - A1.5.1 [Principe](#)
      - A1.5.2 [Entrées historiques](#)
  - A2 - [Synthèse d'espèces chimiques](#)**
- B - [Énergie électrique et circuits électriques en « alternatif »](#)**
  - B1 - [De la centrale électrique à l'utilisateur](#)
    - B1.1 [Des possibilités de production de l'électricité](#)
    - B1.2 [L'alternateur](#)
    - B1.3 [Tension continue et tension alternative périodique](#)
  - B2 - [Puissance et énergie électriques](#)
    - B2.1 [La puissance électrique](#)
    - B2.2 [La mesure de l'énergie électrique](#)
- C - [De la gravitation ... à l'énergie mécanique](#)**
  - C1 - [Interaction gravitationnelle](#)
  - C2 - [Énergie cinétique et sécurité routière](#)

## ANNEXES

### [ANNEXE A' : la démarche d'investigation](#)

Quelques exemples (diaporama)

### [ANNEXE B' : l'histoire des sciences](#)

1. [Ions et électrons](#) (voir ANNEXE B'1)
2. [Brève histoire des phénomènes électromagnétiques](#) (voir ANNEXE B'2)
3. [Utilisation de l'alternateur pour la production industrielle d'électricité](#) (voir ANNEXE B'3)
4. [L'alimentation électrique des trains](#) (voir ANNEXE B'4)

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

1. Contributions de la physique-chimie au B2i – domaine 3 (voir ANNEXE C'1)
2. Recherche documentaire : à propos de Volta (voir ANNEXE C'2)
3. SDTICE : des ressources numériques et des usages des TIC pour l'enseignement des sciences physiques et chimiques fondamentales et appliquées  
(voir ANNEXE C'3)

### ANNEXE D' : la liaison collège-lycée

Continuité des apprentissages en physique-chimie

## INTRODUCTION

**Le présent document est relatif au programme de physique-chimie en vigueur pour la classe de TROISIÈME.**

Ce document permet de mettre en œuvre les programmes selon l'esprit développé dans *l'introduction commune à l'ensemble des disciplines scientifiques*

Il constitue la suite du document rédigé pour le cycle central et disponible sur ÉduSCOL : [http://eduscol.education.fr/D0017/SPC\\_DOC\\_DAC\\_CC.pdf](http://eduscol.education.fr/D0017/SPC_DOC_DAC_CC.pdf)

N'est pas repris, mais s'adresse aussi à la classe de troisième, tout ce qui concerne les pratiques pédagogiques en général (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), et certains thèmes comme l'évaluation et le travail personnel des élèves, les mesures et incertitudes, la sécurité...

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

Un certain nombre d'activités sont proposées, toutefois la liberté pédagogique de l'enseignant reste entière quant à leur choix. 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 y compris à travers les thèmes de convergence.

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

Ce document est complété par des annexes. Les liens pointant vers des pages de sites internet 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

Quelques exemples sont proposés en ANNEXE A'1.

- L'annexe A' propose des adresses de sites Internet où une telle démarche est présentée en classe de troisième.

## 2. L'HISTOIRE DES SCIENCES

- L'annexe B' de ce document complète celle du document du cycle central.

On y trouve des exemples d'activités intitulées :

- ions et électrons (voir ANNEXE B'1) ;
  - brève histoire des phénomènes électromagnétiques (voir ANNEXE B'2) ;
  - l'utilisation de l'alternateur pour la production industrielle d'électricité (voir ANNEXE B'3) ;
  - l'alimentation électrique des trains (voir ANNEXE B'4) ;
- La visite (réelle ou virtuelle) de musées ou de centres de culture scientifique, technique et industrielle (CCSTI) permet de faire prendre conscience des effets de l'évolution des matériels techniques sur les progrès de la science. Le musée des Arts et Métiers de Paris propose de nombreuses pistes (voir le site du musée <http://www.arts-et-metiers.net> ainsi que celui de l'académie de Paris <http://physique.scola.ac-paris.fr/> qui offrent une sélection et une présentation de documents utilisables).

## 3. LES TIC ET LE B2i

L'annexe C' de ce document complète celle du document du cycle central. Elle propose des pistes d'utilisation du tableur-grapheur en cours de formation et des exemples d'évaluation formative ou de validation de compétences du B2i-collège.

### 3.1. CONTRIBUTIONS DE LA PHYSIQUE-CHIMIE AU B2i – DOMAINE 3

Des exemples utilisant un tableur concernent différentes parties du programme : distance de freinage et distance d'arrêt, vitesse d'une goutte, poids et masse, tension aux bornes d'un GBF. Ils peuvent être utilisés en formation ou en évaluation et contribuer à la maîtrise de compétence du B2i-collège (voir ANNEXE C'1).

### 3.2. SDTICE

Des ressources numériques et des usages des TIC pour l'enseignement des sciences physiques et chimiques fondamentales et appliquées sont présentés dans le document d'accompagnement du cycle central (voir ANNEXE C5) et sont complétés par l'ANNEXE C'3.

## 4. LA LIAISON COLLÈGE - LYCÉE

- Un tableau synoptique présentant l'ensemble des entrées des programmes de physique-chimie du collège se trouve dans l'ANNEXE D'.

- De nombreux documents sont disponibles sur le site de l'académie de Versailles ([http://www.phychim.ac-versailles.fr/donnees/college\\_lycee/intro.htm](http://www.phychim.ac-versailles.fr/donnees/college_lycee/intro.htm)). Ils présentent des *outils de réussite au collège et au lycée* sous forme :
  - de pistes d'activités ayant pour objectifs de motiver les élèves ;
  - des supports d'évaluation et de remédiation diversifiées.
  
- Il est conseillé aux enseignants de prendre connaissance des **programmes** de sciences physiques et chimiques du lycée d'enseignement général et technologique :
  - classe de seconde : B.O. hors série n°2 du 30 août 2001 annexe 1  
<http://www.education.gouv.fr/bo/2001/hs2/seconde1.htm#page10>,
  - classe de première S : B.O. hors série n° 7 du 31 août 2000  
<http://www.education.gouv.fr/bo/2000/hs7/vol5phys.htm>,
  - classe de première L : B.O. hors série n° 7 du 31 août 2000  
<http://www.education.gouv.fr/bo/2000/hs7/vol5scientlitt.htm>,
  - classe de terminale S : B.O. hors série n° 4, volume 9 du 30 août 2001  
<http://www.education.gouv.fr/bo/2001/hs4/sciences.htm#physchim>
  
- En ce qui concerne la transformation chimique, la réaction chimique et l'équation de réaction, des informations sont données sur le site de l'académie de Montpellier :  
<http://pedagogie.ac-montpellier.fr:8080/disciplines/scphysiques/academie/college/quatrieme/doc/Transformationchimiquecollege.doc>

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

### 5.1. LIEN AVEC LA TECHNOLOGIE ET L'HISTOIRE-GÉOGRAPHIE

#### ▪ Technologie

La technologie, la physique et la chimie sont des disciplines complémentaires. En technologie, de la sixième à la troisième, les élèves analysent des objets techniques existant dans leur environnement et en réalisent d'autres sous forme de maquettes ou de prototypes destinés à illustrer des principes techniques, des principes physiques ou à répondre à un cahier des charges. Au delà des approches fonctionnelle et historique des objets techniques, l'analyse des matériaux qui les constituent et les énergies qu'ils utilisent, qu'ils produisent ou qu'ils transforment, apporte du sens aux définitions données en physique-chimie et suscite la curiosité sur les notions à venir. Cet aspect constitue un élargissement, un enrichissement et une complémentarité avec les connaissances étudiées en physique-chimie.

Les activités menées dans les deux disciplines doivent montrer que les sciences physiques et la technologie ont évolué en parallèle au cours du temps. Loin d'être uniquement une théorie matérialisée, la technologie a bien souvent précédé la théorisation d'un problème. Ainsi au cours des siècles, on peut relever des exemples qui illustrent l'antériorité d'une innovation technique sur son analyse scientifique :

- les outils primitifs tels que la roue ou le levier ont précédé les lois de la statique ou de la dynamique ;
- inventés vers la fin de la période romane, les arcs-boutant ont été utilisés bien avant que la mécanique des structures ne permette de comprendre leur efficacité ;
- la conception et la construction du premier télescope par Galilée a permis la découverte d'une multitude de lois et de modèles astronomiques ;

Cependant, cet ordre d'apparition historique n'induit aucun lien de subordination d'une discipline sur l'autre. Ainsi, ce n'est pas l'approche empirique qui peut expliquer l'apparition de modèles théoriques et de démonstrations propres aux sciences : on peut donc bien parler de complémentarité. C'est l'évolution des techniques associée au progrès des connaissances scientifiques qui a permis de structurer la technologie.

## ▪ Histoire-géographie- éducation civique

### Du point de vue des enseignants

Au cours de leur formation initiale, les enseignants d'histoire – géographie sont amenés à acquérir une connaissance minimale de l'histoire des sciences et des techniques et approchent ainsi les noms de ceux qui ont marqué l'évolution de ces domaines.

Ainsi, l'Histoire permet de montrer le caractère évolutif des connaissances scientifiques du monde et aide à prendre conscience qu'il a fallu beaucoup de temps et de tâtonnements avant que les hommes ne parviennent à créer des techniques qui nous sont familières aujourd'hui (la roue, le passage de la machine à vapeur au moteur par exemple). Elle permet également de mettre en évidence le lien étroit entre les sciences et les techniques ; le siècle des Lumières, l'Encyclopédie, la révolution industrielle sont notamment l'occasion d'en parler.

La relation entre les sciences et techniques et le contexte socioculturel est également à souligner (culte religieux et astronomie ; frein des religions sur les connaissances : médecine du Moyen-Age ; Galilée ; les savants français et la révolution ; sociétés esclavagistes ; sociétés industrielles et colonialisme).

Comme dans toutes les matières, le professeur pourra corriger à l'occasion les représentations intuitives ou culturelles des élèves.

### Du point de vue des élèves

Les élèves de collège montrent un véritable intérêt pour l'histoire des sciences et des techniques. L'Histoire et la Géographie permettent de les y conduire par le biais de documents iconographiques : photos, textes, biographies, cartes, diagrammes, tableaux étudiés tout au long de la scolarité mais plus spécialement revus en classe de troisième dans le cadre des grands repères historiques.

Ainsi, les grands inventeurs auxquels fait référence le programme de physique-chimie peuvent donner lieu à de nombreuses activités ; parmi eux citons notamment Franklin (associé à l'indépendance américaine et à la révolution française), Bessemer et les hauts fourneaux ; Watt ; Pascal, Volta ou Branly... L'évolution d'un objet ou d'une technique peut également se prêter à une étude diachronique.

Les multiples sources dont dispose l'enseignant lui permettent de contextualiser l'invention et l'inventeur en faisant référence à l'environnement historique, géographique, culturel et social, ou en rapportant les réactions de l'époque à ces découvertes (contre l'automobile ou le train, inventions du « diable » par exemple).

Le travail interdisciplinaire et les thèmes de convergence permettent de donner plus de sens au travail de chacun. Ainsi, les enseignants de chaque discipline se doivent de connaître les programmes des matières avec lesquelles ils comptent travailler.

Rappelons **les programmes d'histoire** du collège :

- classe de 6<sup>ème</sup> : **les mondes anciens** : l'Orient ancien ; la civilisation grecque : dans cette partie, il est proposé de parler des savants grecs qui « déchiffrent le monde en s'appuyant sur la raison » (Hippocrate de Cos ; Aristote ; Archimède de Syracuse ; Eratosthène de Cyrène) ; Rome ; les mondes lointains (au choix la Chine des Han et l'Inde des Gupta) ; les débuts des trois monothéismes.
- classe de 5<sup>ème</sup> : **le Moyen-Âge et l'ouverture au monde** : l'Europe et ses voisins vers 800 ; l'Occident féodal XIe – XIVe siècle ; un autre monde : l'Afrique du Moyen-Âge au XVIIe siècle ; vers la modernité, XVe – XVIe siècle : il est demandé aux enseignants de parler de l'évolution de la pensée scientifique à travers la vie et l'œuvre d'un savant et de raconter un « épisode significatif des progrès ou débats scientifiques des XVIe et XVIIe siècles » ; l'émergence du roi absolu.

- classe de 4<sup>ème</sup> : **du siècle des lumières à l'âge industriel** : l'Europe et le monde au XVIII<sup>e</sup> siècle avec, pour démarche une étude menée à partir de la vie et de l'œuvre d'un philosophe des Lumières ou d'un savant au choix ; la révolution et l'empire ; le XIX<sup>e</sup> siècle avec comme capacité requise de décrire un exemple de mutations liées à l'industrialisation.
- classe de 3<sup>ème</sup> : **le monde depuis 1914** : un siècle de transformations scientifiques, technologiques, économiques et sociales à partir des évolutions scientifiques majeures depuis 1914 et de l'étude de deux exemples : une médecine de plus en plus scientifique et technique et son impact sur la vie humaine et les révolutions de l'information et de la communication ; guerres et totalitarismes (1914-1945) ; une géopolitique mondiale (depuis 1945) ; la vie politique en France.

En ce qui concerne les **programmes de géographie** :

- classe de 6<sup>ème</sup> : **la Terre planète habitée** : mon espace proche : paysages et territoire ; où sont les Hommes sur la Terre ? ; habiter la ville ; habiter le monde rural ; habiter les littoraux ; habiter les espaces à fortes contraintes.
- classe de 5<sup>ème</sup> : **humanité et développement durable** : la question du développement durable ; des sociétés inégalement développées ; des hommes et des ressources.
- classe de 4<sup>ème</sup> : **approches de la mondialisation** : des échanges à la dimension du monde ; les territoires dans la mondialisation.
- classe de 3<sup>ème</sup> : **la France et l'Europe dans le monde d'aujourd'hui** : habiter la France ; aménagement et développement du territoire français ; la France et l'Union européenne ; le rôle mondial de la France et de l'Union européenne.

Tout au long des programmes, mais plus encore en 5<sup>ème</sup> et en 4<sup>ème</sup>, des liens peuvent être établis entre le développement des sociétés et l'augmentation des puissances mises à la disposition des hommes dans ces différentes sociétés, et conduire ainsi à expliquer les grandes disparités économiques et sociales du monde.

De même, les facteurs de puissance et de fragilité des pays du « Nord » ou du « Sud » trouvent en partie une explication dans l'utilisation ou la production de ressources énergétiques, dont l'étude peut être effectuée en comparant des ordres de grandeurs et en utilisant pour ce faire des unités et un vocabulaire appropriés. A cet égard, il est important que les enseignants de physique-chimie et ceux d'histoire-géographie usent de mots identiques pour désigner ou analyser des phénomènes identiques.

Le travail interdisciplinaire peut revêtir des formes diverses : recherches (notamment informatiques) permettant de replacer le chercheur ou le savant dans le contexte de l'époque et de s'interroger sur ce qui est fait sur le même sujet dans les autres pays au même moment ; élaboration de textes ou d'expositions relatifs à l'histoire des sciences à une époque déterminée sur un thème donné...

## 5.2. LIEN AVEC LE FRANÇAIS

Les programmes de français au collège contribuent à l'acquisition de plusieurs grandes compétences définies par le socle commun de connaissances et de compétences, notamment dans le pilier 1 « La maîtrise de la langue française » et le pilier 5 « La culture humaniste », mais aussi dans le pilier 4 « Les technologies de l'information et de la communication pour l'enseignement », le pilier 6 « Les compétences sociales et civiques » et le pilier 7 « L'autonomie et l'initiative ».

L'organisation des programmes de français vise à la fois à satisfaire les exigences du socle, à établir des correspondances avec d'autres disciplines et à articuler les différents domaines de l'enseignement du français que sont l'étude de la langue, la lecture, l'expression écrite et

orale. Cette articulation ou décloisonnement permet aux élèves de percevoir clairement ce qui relie la diversité des exercices qu'ils réalisent.

Les programmes de français traitent explicitement de l'étude de textes documentaires, notamment scientifiques (rubrique I B 2 c - Textes documentaires) : on conduit l'élève à une plus grande autonomie dans le choix et le maniement des documents. On poursuit la pratique des dictionnaires usuels et des ouvrages de référence. On initie les élèves à l'utilisation des manuels d'histoire littéraire ou à des ouvrages de vulgarisation scientifique. On apprend à consulter et on utilise dans toute la mesure du possible les banques de données informatiques et télématiques. Dans l'étude de la presse, on distingue l'information du commentaire et on dégagne les spécificités du discours journalistique, notamment en comparant le traitement d'un même sujet dans plusieurs journaux. La voie d'un travail interdisciplinaire est ici toute tracée.

### 5.3. DANS LE CADRE DES THÈMES DE CONVERGENCE

Les ressources spécifiques à chacun des thèmes de convergence apportent des informations qui enrichissent les entrées strictement disciplinaires. Il convient en particulier de se rapporter à celui qui concerne l'énergie.

■

## 6. L'ÉVALUATION

Différents sites académiques proposent des évaluations

<http://pedagogie.ac-amiens.fr/spc/>

[http://artic.ac-besancon.fr/sciences\\_physiques/ressources/liste\\_ressources.php?tri=themes&chp=theme&ord=id\\_theme#9](http://artic.ac-besancon.fr/sciences_physiques/ressources/liste_ressources.php?tri=themes&chp=theme&ord=id_theme#9)

Évaluation des capacités expérimentales :

- <http://www4b.ac-lille.fr/~physiquechimie/college/capaexp/capaexp.htm>

Évaluation formative :

- <http://www.phychim.ac-versailles.fr/spip.php?article78>

Évaluation sommative :

- <http://pedagogie.ac-montpellier.fr:8080/disciplines/scphysiques/academie/college/evaluation3.php>
- <http://physique.scola.ac-paris.fr/>
- Le socle commun de connaissances et de compétence (Décret du 11 juillet 2006 ; <http://www.education.gouv.fr/cid2770/le-socle-commun-de-connaissances-et-de-competences.html>) permet de renouveler les pratiques et les modes d'évaluation.

L'enseignant doit veiller en particulier à évaluer les capacités qui se rattachent aux activités expérimentales qui constituent le fondement même de la physique et de la chimie (observation des élèves en train de manipuler, sollicitation des élèves pour participer à la conception d'un protocole et/ou à sa mise en œuvre, analyse de comptes rendus d'expériences...).

## 7. RÉFLEXIONS AUTOUR DE L'ÉNERGIE



## 7.1 RESSOURCES POUR LE THÈME DE CONVERGENCE « ÉNERGIE » :

Ce document est disponible sur le site de l'académie de Paris <http://physique.scola.ac-paris.fr/> et sur le site de l'académie de Versailles [http://www.phychim.ac-versailles.fr/IMG/pdf/accompagnement\\_energie\\_.pdf](http://www.phychim.ac-versailles.fr/IMG/pdf/accompagnement_energie_.pdf)

**7.2. D'APRÈS LA COLLECTION LIBRES PARCOURS, ED. HACHETTE (1980),** avec l'aimable autorisation de l'Association Tour 123.

### 7.2.1 Introduction de la notion d'énergie

Dans la vie courante, en l'absence de la lumière du jour, on a souvent besoin d'éclairage adapté à chaque situation. Aussi, utilise-t-on des moyens différents :

- pour aller de nuit en un lieu éloigné de toute installation électrique, on peut employer une lampe de poche composée d'une ampoule reliée à une pile ;
- pour éclairer un bureau, un atelier ou un appartement, on branche des lampes sur une « prise électrique » : cette prise est reliée par des lignes à une centrale électrique composée d'un alternateur solidaire d'une turbine actionnée par exemple par la chute d'eau d'un barrage ;
- pour s'éclairer de nuit lors d'une promenade à vélo, on peut utiliser un petit alternateur dont le galet est entraîné par les roues, lesquelles sont mises en mouvement par les muscles.

Ainsi, dans chaque situation, on peut obtenir le même résultat - allumage d'une lampe - à partir de systèmes de départ très différents : une pile, une chute d'eau, les muscles etc.

En même temps que la lampe brille, une modification se produit dans le système de départ : par exemple, le zinc est transformé en ions zinc (II) dans la pile ordinaire du commerce. On dit que l'état du système est modifié.

Au bout d'un certain temps, on observe aussi que les systèmes de départ deviennent incapables d'allumer une lampe ; dans le langage quotidien, on dit que la pile s'use, le muscle se fatigue, etc.

Pour traduire l'ensemble de ces observations, le physicien a proposé l'idée suivante :

« Quelque chose » est **contenu** dans la pile, l'eau du barrage, le muscle ; ce « quelque chose » est le même dans chacun de ces « réservoirs » ; on ne peut pas le voir, on ne peut pas le toucher, ce n'est pas de la matière, mais on en observe les effets ici, l'allumage d'une lampe. Ce « quelque chose », nous l'appelons ÉNERGIE. Il peut y avoir beaucoup ou peu d'énergie dans les systèmes de départ puisque la lampe peut briller longtemps ou pas, mais elle finit toujours par s'éteindre ; ces « réservoirs » (appelés aussi « sources d'énergie » voire « ressources énergétiques ») donnent (ou transfèrent) donc leur énergie en même temps que la lampe brille. Certains réservoirs sont considérés comme des sources d'énergies renouvelables parce que leur stock d'énergie se renouvelle.

L'énergie est une grandeur physique qui se mesure. On a choisi pour cela une unité : le **joule** (symbole : J).

### 7.2.2 Formes d'énergie - conversion de l'énergie

Les réservoirs d'énergie sont très différents les uns des autres et, pour y puiser de l'énergie, on utilise des techniques très variées, adaptées à chaque situation.

Quels que soient ces réservoirs, il s'agit toujours de cette même grandeur physique « énergie » ; pour bien marquer qu'il s'agit d'un contenu, on parle **d'énergie interne**.

On peut considérer différentes formes d'énergie.

Une pile, siège d'une transformation chimique lors de son fonctionnement, possède une énergie interne dont une partie est utilisable sous forme chimique ; on dit par abus de langage qu'elle contient de **l'énergie chimique**.

De même, de l'uranium possède de l'énergie. Dans un réacteur nucléaire, on recueille l'énergie fournie par la fission des noyaux d'uranium. On dit que l'uranium possède de l'énergie interne (utilisable) sous forme nucléaire ; on dit par abus de langage qu'il contient de **l'énergie nucléaire**.

On peut préciser les formes d'énergie qui varient dans chaque réservoir.

Dans un barrage, le système eau-Terre possède de l'énergie. Lorsque l'eau tombe, elle peut faire tourner l'ensemble turbine-alternateur. On dit que le système eau-Terre possède de l'énergie interne utilisable en faisant varier la hauteur de l'eau par rapport à la Terre ; on dit par abus de langage que le système eau-Terre possède de **l'énergie de position** (ou de niveau).

De même le vent possède de l'énergie parce qu'il est de l'air en mouvement : il peut même en posséder suffisamment pour actionner une turbine ; mais, dans ce cas, sa vitesse diminue en même temps. On dit que l'air possède de l'énergie interne utilisable du fait de son mouvement ; on dit par abus de langage que l'air possède de **l'énergie cinétique**.

De l'eau chaude, par exemple celle d'une installation de chauffage central, possède de l'énergie : elle peut chauffer l'air d'une maison tout en se refroidissant. Il y a variation de température. On dit que l'eau chaude possède de **l'énergie interne** utilisable en faisant varier sa température.

On voit que le vocabulaire utilisé à propos des formes d'énergie peut apporter une information supplémentaire sur les phénomènes mis en œuvre ou sur les grandeurs qui vont varier pendant le transfert d'énergie.

Parfois, le qualificatif associé à l'énergie caractérise *l'objet* qui fournit cette énergie : il en est ainsi pour l'énergie solaire. L'énergie solaire désigne l'énergie contenue dans le Soleil ; en fait, c'est de l'énergie nucléaire qui est transférée en partie à la Terre, principalement sous forme de rayonnement.

### 7.2.3 Modes de transfert d'énergie

De l'énergie peut être transférée d'un système à un autre de trois façons différentes, sous la forme de transfert thermique (chaleur), de travail et de rayonnement.

- Le transfert thermique (ou chaleur) :

Une opération de chauffage par combustion illustre ce mode de transfert par exemple le chauffage de l'eau dans une casserole au moyen d'un réchaud à gaz. Le système air-gaz brûle en se transformant et perd une partie de son énergie interne : il y a eu un transfert d'énergie sous forme de chaleur au système eau-casserole dont l'énergie interne augmente. Ce qui se traduit soit par une élévation de température, soit par l'ébullition de l'eau (changement d'état) à température constante.

Il y a transfert thermique ou transfert d'énergie sous forme de (ou par) chaleur chaque fois qu'il y a contact entre deux corps à des températures différentes.

Un exemple simple de la vie courante peut être donné par le manche métallique chaud d'une cuillère dans un bol contenant un liquide chaud : de l'énergie est transférée sous forme de chaleur du liquide chaud au manche métallique froid de la cuillère.

De même, un radiateur chaud de chauffage central transfère de l'énergie à l'air moins chaud de la pièce sous forme de (ou par) chaleur (contact air-radiateur).

Le transfert d'énergie par chaleur ne peut jamais avoir lieu dans le vide.

#### - Le rayonnement

De l'énergie peut aussi être transférée sous forme de (ou par) rayonnement ; on dit encore : sous forme d'énergie rayonnante.

Chacun sait qu'il fait plus chaud au soleil qu'à l'ombre. Si, par une journée chaude d'été, on laisse une bouteille d'eau fraîche à l'ombre, sa température augmente peu à peu. Son énergie interne croît. Si on laisse la bouteille au soleil, sa température augmente beaucoup plus. Son énergie interne augmente donc beaucoup plus.

Placée au soleil, l'eau reçoit, par rapport à sa place à l'ombre, un supplément d'énergie sous forme de rayonnement.

Ce mode de transfert intervient chaque fois que l'on est en présence de lumière et, plus généralement, d'ondes électromagnétiques : ondes radio et de télévision, ondes radar, rayonnement infrarouge, lumière visible, rayonnement ultraviolet, micro-ondes, rayonnement X, rayonnement  $\gamma$ .

Le transfert d'énergie sous forme de (ou par) rayonnement peut se faire sur de très grandes distances et même dans le vide ; c'est ainsi que nous recevons l'énergie rayonnante du Soleil.

La quantité d'énergie transférée du Soleil à la Terre sous forme de rayonnement est très importante : la puissance correspondante est, au mieux, de  $1 \text{ kW.m}^{-2}$ . Ceci explique l'intérêt des capteurs solaires qui permettent d'obtenir de l'eau chaude et de chauffer, au moins en partie, une maison. De là aussi l'intérêt des cellules solaires : elles transforment directement l'énergie rayonnante en énergie électrique mais leur rendement est faible.

En fait, tous les systèmes perdent de l'énergie par rayonnement, mais plus ou moins : tous les corps rayonnent. Ainsi, le corps humain perd 50% de son énergie par rayonnement : la puissance correspondante est de quelques dizaines de watts par mètre carré.

Il faut souligner que, dans un grand nombre de cas, ce n'est pas la quantité d'énergie transférée par rayonnement qui est intéressante ; le rayonnement, en effet, sert essentiellement à transmettre de l'information : forme et couleur des objets perçus par l'oeil, messages transmis par les ondes radio, de télévision, de téléphone, etc.

#### - Le travail<sup>1</sup>

Par exemple, une grue fonctionne à l'aide d'un moteur à combustion interne. Elle peut lever des charges. Une certaine quantité de mélange gasoil-air brûle pendant le déplacement de la charge. Le mélange est capable de transférer de l'énergie au système charge-Terre dont l'énergie de position augmente.

On dit que le transfert d'énergie du système « gasoil-air, moteur de la grue » au système « charge-Terre » se fait sous forme de travail : c'est le travail de la force exercée par le câble sur la charge, et ce, pendant le déplacement de cette charge.

Les transferts d'énergie se font sous forme de travail, par exemple, lorsqu'une force (ou des forces) agit (agissent) sur un système qui se déplace.

#### - Remarque

Il serait imprudent de vouloir préciser la forme d'un transfert d'énergie en examinant seulement l'effet qu'il produit. L'effet produit peut être le même dans les trois cas de transfert: par chaleur, travail ou rayonnement. Il faut aussi examiner la façon dont l'effet est produit.

L'effet produit peut être, par exemple, une élévation très forte de la température de la

<sup>1</sup> Ce mode de transfert de l'énergie est hors programme.

peau, c'est-à-dire une brûlure. Il peut y avoir eu brûlure :

- par transfert sous forme de chaleur (par exemple par contact de la main avec un morceau de métal chaud) ;
- par transfert sous forme de travail (par exemple, glissade rapide des mains serrées sur une corde) ;
- par transfert sous forme de rayonnement (par exemple, exposition prolongée des mains au rayonnement solaire concentré, à l'aide d'une loupe.

#### 7.2.4 Puissance : débit d'énergie

Un réservoir d'énergie est nécessaire; il peut ne pas être suffisant.

On ne peut pas faire bouillir un litre d'eau en faisant brûler en permanence une seule bougie, même si on en a tout un stock et si on remplace chaque bougie consumée par une neuve.

On ne peut pas, non plus, chauffer convenablement une grande salle, salle de théâtre ou de cinéma par exemple, avec un seul radiateur, même si on le laisse en service en permanence.

Tous ces exemples montrent que les effets produits par une chaîne énergétique ne dépendent pas uniquement de la quantité d'énergie dont on dispose.

La vitesse des transferts d'énergie intervient aussi.

En effet, on pourrait faire bouillir un litre d'eau à l'aide de bougies mais une seule ne suffirait pas, il faudrait en utiliser plusieurs en même temps. De même, avec plusieurs radiateurs fonctionnant en même temps, on pourrait chauffer raisonnablement une grande salle.

Deux voitures, de caractéristiques identiques, peuvent faire un même parcours à des vitesses différentes. On constate que la plus rapide utilise un débit d'essence plus grand.

Pour obtenir des effets instantanés plus importants ou plus rapides, il faut donc que l'énergie soit fournie plus rapidement ou, autrement dit, que le transfert d'énergie se fasse plus vite. On peut encore dire qu'il faut que le débit d'énergie (appelé puissance) soit plus grand.

Le lien mathématique entre la quantité d'énergie transférée  $E$ , la puissance  $P$  et la durée du transfert d'énergie  $t$  est par définition  $E = P \cdot t$ .

La puissance est une grandeur physique que l'on mesure. L'unité de puissance est le **watt** (symbole  $W$ ).

#### 7.2.5 Conservation de l'énergie

On peut faire une maquette d'une centrale hydroélectrique (chute d'eau, turbine, alternateur, alimentant une lampe).

Si l'on calculait<sup>2</sup> d'une part l'énergie de position de l'eau et d'autre part l'énergie électrique transférée de l'alternateur à la lampe, en faisant la comparaison, on s'apercevrait que l'énergie électrique transférée de l'alternateur à la lampe serait nettement inférieure à l'énergie de niveau, stockée par le système eau-Terre.

Il en est ainsi pour toute chaîne d'énergie. La mesure des transferts d'énergie du réservoir initial au système final, pour lequel la chaîne a été construite, fait apparaître un « manque », un « défaut » d'énergie.

Mais l'énergie ne disparaît pas.

En fait, il n'y a pas de « manque » d'énergie. Le physicien affirme que, en cherchant bien, on retrouvera ailleurs toute l'énergie qui était auparavant dans l'eau du barrage.

Dans l'exemple de la centrale hydroélectrique, il y a des frottements dans la turbine, dans l'alternateur, de l'échauffement dans les fils électriques etc. Tous ces transferts d'énergie non souhaités sont souvent appelés pertes d'énergie ; en fait l'énergie est bien conservée.

<sup>2</sup> Tout calcul concernant l'énergie de position est hors programme.

Un énoncé du principe de conservation de l'énergie

Plus généralement, toute chaîne d'énergie comporte :

- un système de départ (c'est le réservoir d'énergie) ;
- un ou plusieurs systèmes d'arrivée en fin de chaîne ;
- des systèmes intermédiaires, mais on peut, en général, les ignorer avant et après les transferts d'énergie, car leur énergie n'a pas varié (ils étaient et sont revenus au repos, par exemple).

Le principe de conservation de l'énergie peut alors s'énoncer ainsi :

La diminution d'énergie contenue dans le système de départ est égale à l'augmentation d'énergie contenue dans le système d'arrivée, quelles que soient les formes d'énergie contenues dans les systèmes.

### 7.2.6 Dégradation de l'énergie

Les machines thermiques<sup>3</sup> (moteurs à explosion, réfrigérateur, pompe à chaleur) sont les seules machines à pouvoir transformer la « chaleur » en travail. L'étude des machines thermiques montre que l'énergie reçue par celles-ci sous forme de (ou par) chaleur (de la part d'un mélange combustible-air, par exemple) ne peut pas être entièrement transférée par travail. Comme dans le cas des centrales électriques, une part importante de l'énergie est transférée sous forme de chaleur à l'air ambiant ou à l'eau des mers et des rivières. L'énergie perd alors sa qualité d'être convertible en une autre forme d'énergie : on dit que l'énergie se dégrade.

## 7.3 UN EXEMPLE RÉCENT DE TRANSFORMATION DE L'ÉNERGIE MÉCANIQUE EN ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

par Philippe ABBO

Un exemple qui illustre assez bien la conversion de l'énergie cinétique en énergie électrique est le fonctionnement des voitures dites hybrides (association de deux sources d'énergie : essence et électrique). Elles présentent des caractéristiques intéressantes :

- au démarrage le véhicule est mû exclusivement par le moteur électrique alimenté par des batteries logées dans la voiture ;
- en conduite normale le moteur à essence fonctionne et sa puissance se divise en deux flux :

- l'un entraîne un générateur (ce générateur est appelé communément *alternateur* ; il s'agit en fait d'une machine synchrone qui fonctionne en générateur de tension alternative) qui fournit de l'électricité au moteur électrique qui participe à la traction du véhicule ;
- l'autre actionne directement les roues par l'intermédiaire du moteur thermique.

La répartition des flux est contrôlée pour assurer les meilleures performances.

- lors d'une décélération ou d'un freinage, l'énergie cinétique liée à la vitesse du véhicule est transformée en énergie électrique par l'intermédiaire du moteur électrique, qui fonctionne alors en générateur. Cette phase permet de recharger les batteries d'alimentation du moteur électrique (au démarrage, les batteries fournissent de l'énergie ; au freinage, elles en reçoivent).

Ce fonctionnement porte la puissance globale du véhicule de 33 kW (sans un tel dispositif) à 50 kW soit un gain de 50%.

Une animation simplifiée des phases de fonctionnement, est disponible à cette adresse:

[http://www.hybridsynergydrive.com/fr/quick\\_guide.html](http://www.hybridsynergydrive.com/fr/quick_guide.html)

<sup>3</sup> Les machines thermiques sont hors programme.

#### 7.4 AUTRES DOCUMENTS

Des articles concernant l'énergie apparaissent à la rubrique « documentation scientifique » sur le site de « **La main à la pâte** » : <http://www.inrp.fr/lamap/>

# PARTIE THÉMATIQUE

## CLASSE DE TROISIÈME

L'une des entrées importantes du programme de troisième est une structuration des notions relatives à l'énergie. Ces sujets apparaissent dans « *approches de l'énergie chimique : une pile électrochimique* » et sont développées dans « *énergie électrique et circuits électriques en « alternatif* » » et dans « *de la gravitation... à l'énergie mécanique* ».

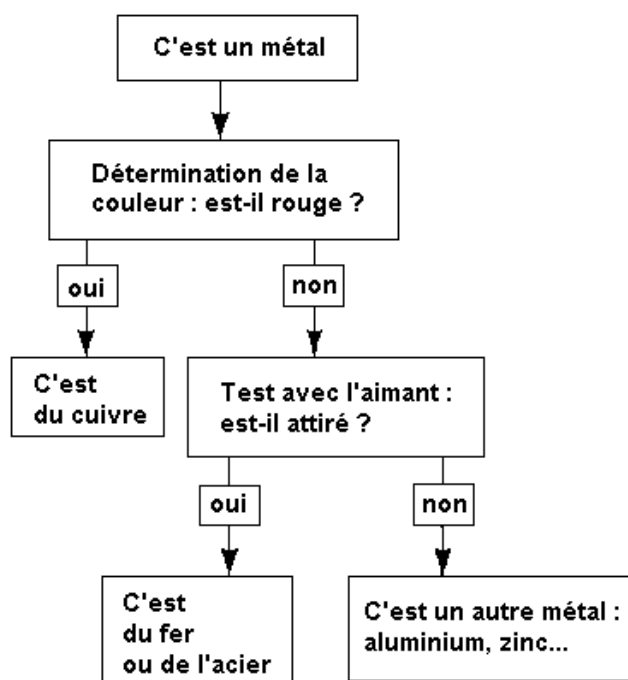
### A. LA CHIMIE, SCIENCE DE LA TRANSFORMATION DE LA MATIÈRE

#### A1. MÉTAUX, ÉLECTRONS ET IONS

##### A1.1 Des métaux au quotidien

- On peut qualitativement différencier certains métaux comme le fer, le cuivre, l'aluminium, le zinc, l'argent et l'or.

L'organigramme (ou clef de détermination) ci-dessous permet une reconnaissance expérimentale méthodique de quelques métaux :



Remarque : il est possible d'enrichir la recherche en ajoutant d'autres tests comparatifs

- dureté relative des métaux
- densité (masse pour un même volume)
- aspect du produit de corrosion

Les matériaux conducteurs et isolants sont utilisés dans les installations électriques domestiques et dans les appareils électriques

- Le cuivre est très utilisé en électricité pour trois propriétés :
  - x excellente conductibilité électrique ;
  - x résistance à la corrosion;
  - x grande ductilité (possibilité d'étirage en fils). Pour des pièces conductrices demandant une résistance mécanique et un usinage, les laitons (alliages de cuivre et de zinc) sont alors préférés ; mais, si la résistance mécanique et la dureté s'améliorent lorsque la teneur en zinc augmente, la température de fusion et la conductibilité électrique diminuent.
- Deux autres métaux sont aussi présents en très faible quantité dans l'appareillage électrique domestique : l'argent, sous forme de pastilles aux points de contact de rupture (interrupteurs) et l'aluminium (petits moteurs électriques). L'amiante est un isolant minéral (silicate de chaux et de magnésie) qui résiste aux hautes températures ; il a été utilisé comme support de résistances chauffantes électriques (anciens fers à repasser) mais a dû être abandonné car l'inhalation régulière de fibres d'amiante présente à long terme un grave danger pour la santé.
- La plupart des matières plastiques utilisées comme isolants en électricité sont des thermoplastiques. Leurs transformations utilisent essentiellement deux procédés :
  - x l'extrusion qui permet le revêtement et le gainage des fils électriques ;
  - x l'injection qui permet la réalisation des pièces dans un moule (boîtiers des interrupteurs, prises de courant, etc.).

<b>Installations électriques fixes</b>	<b>Matériau conducteur</b>	<b>Matériau isolant</b>
Lignes	cuivre	polychlorure de vinyle (PVC) éthylène-propylène polyéthylène réticulé (PE)
Interrupteurs Prises de courant	laiton argent (contacts dans les interrupteurs)	porcelaine (anciens modèles) polycarbonate (PC) polypropylène (PP) polybutylène téréphtalate (PBT) polyéthylène téréphtalate (PET)
Cartouches fusibles	Alliage d'aluminium, cuivre, zinc, argent pour le fil fusible	stéatite pour le tube



Appareillage électrique	Matériau conducteur	Matériau isolant
Cordons	cuivre	polychlorure de vinyle (PVC) caoutchouc polychloroprène (Néoprène®)
Appareils domestiques	laiton aluminium cuivre tungstène (filaments des lampes à incandescence)	acrylonitrile-butadiène-styrène (ABS) polystyrène (PS) polypropylène (PP) phénoplastes (PF ou Bakélite®) verre silicium-sodium-calcium (lampes)

▪ **Des informations sur les métaux** sont accessibles aux adresses suivantes :

- Centre d'informations du **cuivre**, laitons et alliages :

<http://www.cuivre.org/index-3310.htm>

Cuivre : historique

<http://www.cuivre.org/index-3110.htm>

Cuivre : extraction et métallurgie

<http://www.cuivre.org/index-3210.htm>

<http://www.sfc.fr/donnees/mine/nh3/texnh3.htm>

- Une riche documentation sur les métaux et les alliages, notamment sur l'**aluminium**, l'**argent**, le **fer**, le **cuivre**, le **zinc** ([diaporama](#)), l'**or** et l'**acier**, élaborée par Jean-Louis VIGNES du Laboratoire d'Ingénierie des Matériaux et des Hautes Pressions (LIMHP-CNRS (UPR 1311) - Université Paris 13) est accessible sur le site : <http://www.sfc.fr/donnees/acc.htm>
- Les étapes de fabrication d'une canette mettent en évidence des propriétés physiques et chimiques de l'**aluminium** : voir les sites
  - ◇ de l'école nationale supérieure de Grenoble <http://www.presentation.enseeg.inpg.fr/Objets/boiteboisson7.html>
  - ◇ de la Cité des sciences et de l'industrie de Paris : [http://www.cite-sciences.fr/francais/ala\\_cite/expo/tempo/aluminium/histoire/index.html](http://www.cite-sciences.fr/francais/ala_cite/expo/tempo/aluminium/histoire/index.html)
- Des informations sur l'**or** sont disponibles sur le site du CNRS : <http://www2.cnrs.fr/sites/communiqu/fichier/dossier.pdf>
- Des informations peuvent aussi se trouver sur les sites des industries métallurgiques.

▪ **Métaux et environnement**

L'utilisation des métaux dans la vie quotidienne est l'occasion d'aborder les questions de production, de tri et de recyclage en lien avec l'éducation au développement durable et le thème de convergence « environnement et développement durable ».

Dans la vie quotidienne, nombreux sont les objets qui renferment des métaux. Ainsi, le fer, le cuivre, le zinc et l'aluminium se retrouvent-ils dans nos déchets. Il faut savoir, qu'une fois jetés dans la nature, plusieurs d'entre eux, et d'autres bien présents mais moins cités (plomb, mercure...) sont des sources de pollution de la terre, de l'eau et même de l'air (lorsque les objets qui les contiennent sont brûlés et que les gaz d'incinération sont libérés sans être filtrés). La récupération des métaux est pour cela un enjeu important pour le respect de l'environnement et de la santé. Bien sûr, elle présente aussi des avantages économiques étant donné leur valeur marchande. Le tri et le recyclage des métaux, présents par exemple dans les D3E (déchets d'équipement électrique électronique) et dans les piles, sont en lente progression.

## A1.2 Conduction électrique et structure de la matière

### ▪ Conduction dans les métaux

Des animations peuvent être consultées :

#### ▪ Atome, électrons et ions

Cette partie peut donner lieu à des études de documents en lien avec l'histoire des sciences. : voir par exemple le texte de **l'ANNEXE B'1 : Ions et électrons**

L'enseignant peut aussi consulter la partie thématique - classe de quatrième du document d'accompagnement du cycle central (§ A5.1 Les modèles de l'atome).

De plus, les sites suivants proposent des documents intéressants :

- Académie de Rouen : Histoire de l'atome

<http://lycees.ac-rouen.fr/galilee/iesp27/atome/histoire%20de%20l'atome.htm>

- Académie de Nantes : La découverte de l'atome : une vieille histoire

[http://www.pedagogie.ac-nantes.fr/1165240897625/0/fiche\\_\\_ressourcepedagogique/&RH=PHY](http://www.pedagogie.ac-nantes.fr/1165240897625/0/fiche__ressourcepedagogique/&RH=PHY)

#### ▪ Nature du courant électrique

- Une animation, sur le courant électrique dans les métaux et dans un électrolyte, est proposée sur le site de l'académie de Dijon :

[http://sciences-physiques.ac-dijon.fr/documents/Flash/nature\\_courant/nature\\_courant.htm](http://sciences-physiques.ac-dijon.fr/documents/Flash/nature_courant/nature_courant.htm)

- Une démarche d'investigation sur le courant électrique dans les solutions aqueuses est proposée sur le site de l'académie de Clermont-Ferrand :

<http://www3.ac-clermont.fr/pedago/physique/investigation/spip.php?article26>

- Une expérience de migration d'ions, réalisable par les élèves, est proposée sur le site de l'académie d'Orléans-Tours :

<http://www.ac-orleans-tours.fr/physique/phototek/Dossiers/SUREAU/chimie.htm>

Une expérience réalisable par l'enseignant est également proposée sur ce site. Mais, dans les deux cas, l'enseignant **doit être très vigilant** s'il est conduit à manipuler du dichromate de potassium solide pour fabriquer la solution aqueuse correspondante.

- Une vidéo à voir en ligne ou à télécharger est disponible sur le site de l'académie d'Aix-Marseille :

[http://www.spc.ac-aix-marseille.fr/phy\\_chi/menus/pc/video\\_diverses.htm](http://www.spc.ac-aix-marseille.fr/phy_chi/menus/pc/video_diverses.htm)

avec présentation à l'adresse :

<http://www.spc.ac-aix-marseille.fr/labospc/spip.php?article54>

## A1.3 Quelques tests de reconnaissance d'ions

L'activité habituelle consiste à rechercher expérimentalement la présence de différents ions par les tests au nitrate d'argent en solution aqueuse et à la soude.

Cette partie du programme donne l'occasion de présenter les pictogrammes de sécurité qui figurent sur les flacons de produits chimiques.

Académie de Nancy-Metz : Symboles utilisés sur les étiquettes

<http://www.ac-nancy-metz.fr/enseigner/physique/Securite/Symboles.htm>

Pour les risques présentés par les acides et les bases, il convient de consulter les fiches relatives à la sécurité de l'INRS (<http://www.inrs.fr>), l'annexe F « sécurité » du document d'accompagnement du cycle central ainsi que le site de l'académie de Nancy-Metz :

[http://www.ac-nancy-metz.fr/enseigner/physique/sc\\_index.htm](http://www.ac-nancy-metz.fr/enseigner/physique/sc_index.htm)

La question des pluies acides et de leur origine peut être abordée dans le cadre de l'éducation au développement durable.

Une solution aqueuse est acide si son pH est inférieur à 7 mais une pluie est dite acide si son pH est inférieur à 5,6. Certains gaz dissous dans l'eau, tels que le dioxyde de carbone et le dioxyde de soufre, confèrent à la solution un caractère acide.

Toutefois, le dioxyde de carbone n'est pas responsable de l'acidité des pluies : la mesure du pH d'une solution saturée de dioxyde de carbone (par exemple, une eau de Perrier®) donne un pH supérieur à 5,6. Les pluies acides résultent de la dissolution de certains gaz ou de la dilution d'aérosols (un aérosol est au sens strict, une gouttelette en suspension dans l'air ; par extension, il désigne aussi toute suspension de particules colloïdales solides ou liquides). Les principaux gaz responsables des pluies acides sont le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) et les oxydes d'azote (NO et NO<sub>2</sub> notés en résumé NO<sub>x</sub>).

#### **A1.4 Réaction entre le fer et l'acide chlorhydrique ; interprétation**

La colonne « capacités » précise : « écrire, avec le nom des espèces en toutes lettres, le bilan de la réaction chimique entre le fer et l'acide chlorhydrique ». Cette écriture remplace l'équation de la réaction qui n'est pas exigible à ce niveau. En effet, l'équation est une écriture symbolique de la réaction chimique qui utilise les symboles des espèces dont certaines sont ici ioniques, ce qui représente une difficulté supplémentaire. L'enseignant se limite à ce « bilan » qualitatif et n'aborde pas le bilan quantitatif de matière étudié au lycée pour les transformations chimiques.

#### **A1.5 Pile électrochimique et énergie chimique**

##### **A1.5.1 Principe et utilisation**

Une pile électrochimique est constituée de deux demi-piles reliées par un pont salin (ou par l'intermédiaire d'un vase poreux) ;

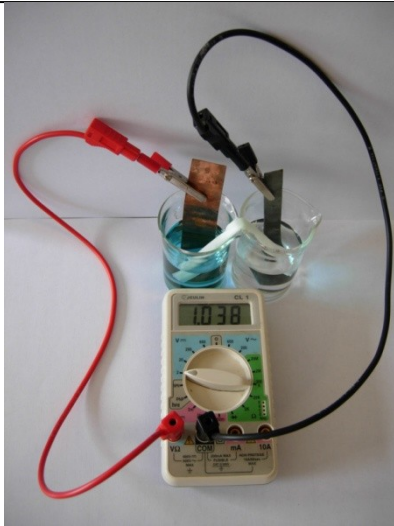
- chaque demi-pile correspond à un couple oxydo-réducteur ; par exemple pour le couple Zn<sup>2+</sup>/Zn, la demi-pile peut-être constituée d'une lame de zinc plongeant dans une

solution contenant des ions zinc.

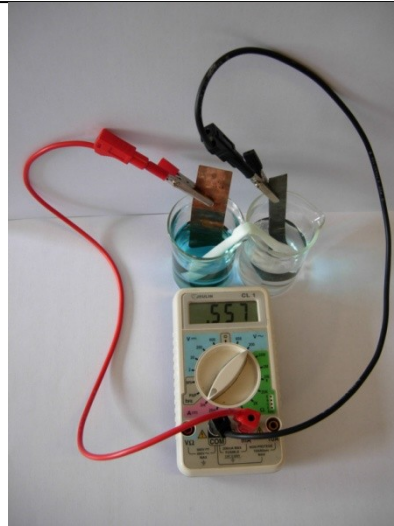
- le pont salin (ou le vase poreux) permet d'assurer la conduction électrique quand la pile débite et de maintenir la neutralité électrique dans chaque demi-pile pendant que disparaissent ou apparaissent des espèces ioniques aux électrodes.

On peut, par exemple, réaliser une pile en plongeant :

- dans un bécher une lame de zinc dans une solution aqueuse contenant les ions zinc ;
- dans un autre bécher une lame de cuivre dans une solution aqueuse contenant les ions cuivre (II) ;
- en reliant les deux béchers par un pont salin contenant une solution concentrée de chlorure de potassium ou de nitrate d'ammonium (de façon élémentaire par un papier filtre imbibé de solution aqueuse d'un de ces électrolytes).



Le voltmètre affiche 1,038 V mais il faut tenir compte des incertitudes de mesures.



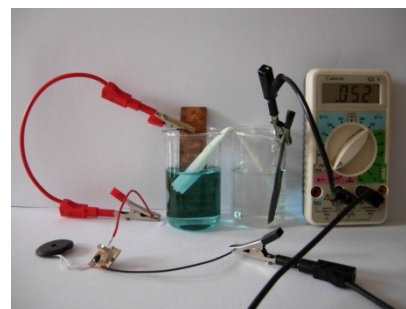
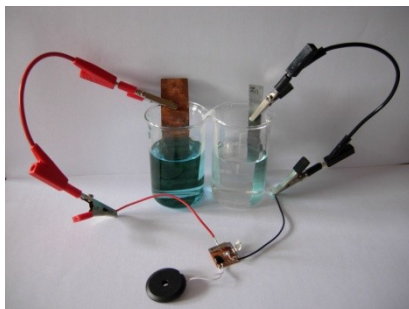
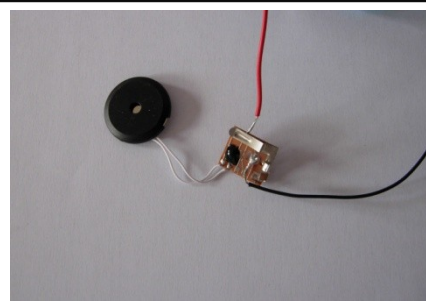
L'ampèremètre affiche 0,557 mA mais il faut tenir compte des incertitudes de mesures.

Chaque lame joue le rôle d'une borne pour la pile (lame de cuivre : pôle + et lame de zinc : pôle -).

Dans le cadre du programme de troisième, on se contente d'introduire une lame de zinc et une lame de cuivre dans une solution conductrice, de sulfate de cuivre par exemple. Grâce à la présence, sous forme d'impuretés dans la solution, de traces d'ions zinc (II), la pile est initialement réalisée. De plus, il se forme des ions zinc par réaction directe entre le zinc et les ions cuivre (II).

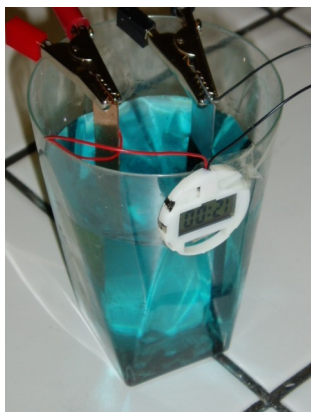
Si on n'utilise pas de solution aqueuse de sulfate de cuivre comme électrolyte, mais une solution acide ou ionique particulière (citron, oignon, pomme de terre, pomme, fromage, acide sulfurique – comme dans la pile de Volta -...) (voir pile historique de Volta)...., les impuretés ioniques, formées ou existantes, assurent la présence de deux couples avec les deux lames métalliques différentes utilisées.

De telles piles peuvent alimenter un circuit électronique comme celui d'une carte musicale par exemple :

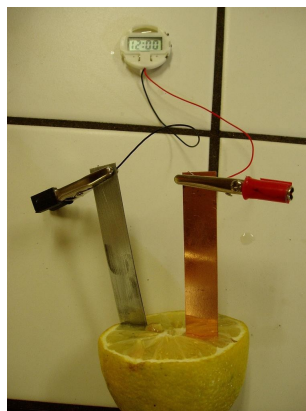


- Ou bien comme une horloge à cristaux liquides (Lcd *Liquid cristal display*)

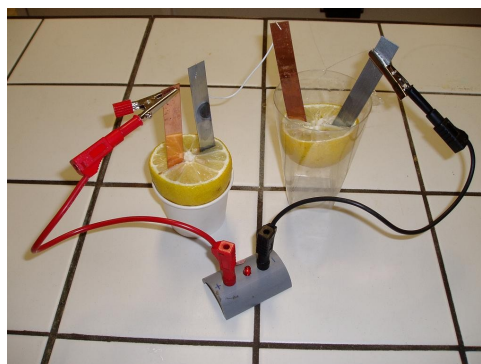
Exemples de piles (constituées les métaux cuivre et zinc) en fonctionnement



Ci-dessus : fonctionnement d'une horloge LCD. Les lames de cuivre et de zinc plongent dans une solution aqueuse de sulfate de cuivre.



Ci-contre : fonctionnement d'une horloge LCD et d'une DEL. Les lames de cuivre et de zinc sont plantées dans un citron. La DEL nécessite deux piles de ce type en série pour briller.



#### A1.5.2 Entrées historiques

- Les travaux de Volta : une entrée historique relative à ces travaux figure dans L'ANNEXE B 5 du document d'accompagnement du cycle central.
- D'autres documents sont disponibles
  - sur le site du CNRS :  
<http://www.ampere.cnrs.fr>  
<http://www.cnrs.fr/cnrs-images/chimieaulyce/THEMES/piles/prezpil.htm>
  - sur le site de l'académie de Bordeaux  
<http://webetab.ac-bordeaux.fr/Pedagogie/Physique/Physico/Electro/e02histo.htm>
  - sur le site de l'Académie des sciences :  
[http://www.academie-sciences.fr/Membres/in\\_memoriam/Volta/Volta\\_oeuvre.htm](http://www.academie-sciences.fr/Membres/in_memoriam/Volta/Volta_oeuvre.htm)
- Le site de l'académie de Paris propose une recherche documentaire à ce sujet <http://physique.scola.ac-paris.fr/>. voir « *Volta et la découverte de la pile* » en ANNEXE C'2. Elle exploite une ressource disponible sur le site : [http://www.academie-sciences.fr/membres/in\\_memoriam/Volta/Volta\\_oeuvre.htm](http://www.academie-sciences.fr/membres/in_memoriam/Volta/Volta_oeuvre.htm)
- La séquence sonore extraite de la chronique « *Bien choisir* » présentée par Fabienne Chauvière et diffusée sur l'antenne de France Info, le samedi 3 mai 2008 à 15h52,

intitulée « choisir ses piles et les recycler », peut constituer une entrée en matière. En fonction de son modèle et de son état d'usure, une pile est capable de fournir plus ou moins d'énergie, ce qui conditionne les appareils qu'elle peut faire fonctionner. L'évocation des matériaux utilisés et la nécessité du recyclage des piles peuvent être un autre sujet de réflexion.

Écouter : en ligne *Émission de France Info du 3 MAI 08*  
ou télécharger<sup>4</sup> : **le fichier piles France Info 3MAI08.mp3**

- Un document concernant « la pile de Bagdad » : une pile électrique il y a deux mille ans ? » rédigé par Marie-Hélène Wronecki, Christine Blondel et Bertrand Wolff, peut servir de support pour développer l'esprit critique des élèves au cours d'une réflexion argumentée (compétence 6 du socle : « les compétences sociales et civiques - faire preuve d'esprit critique) en commun avec l'enseignant de français. Ce document est accessible à l'adresse :

<http://www.ampere.cnrs.fr/parcourspedagogique/zoom/mythesetlegendes/bagdad/index.php>

Une controverse est présentée autour de la découverte d'un objet mystérieux qu'il est possible de faire fonctionner comme une pile. Les auteurs du document exposent habilement à la fois des arguments en faveur et des arguments contre la thèse de l'invention de la pile électrique par le peuple parthe au début du premier millénaire, donc bien avant le XVII<sup>e</sup> siècle et Alessandro Volta notamment.

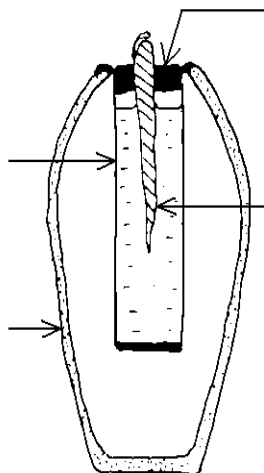
L'enseignant de Sciences Physiques peut mener plusieurs études avec les élèves :

- la comparaison entre la constitution d'une pile et celle de l'objet mystérieux,
- les propriétés de l'or (différence entre les atomes d'or du solide métallique et les ions  $\text{Au}^{3+}$  d'une solution de sels d'or... dorure par dépôt de feuilles métalliques très fines ou par électrolyse).

Par exemple, il peut donner l'exercice suivant :

Légendez le schéma de la figure 1 reproduite d'après le site Internet en vous aidant des informations présentes dans l'extrait :

« Il s'agit d'un petit vase de terre cuite, haut d'une quinzaine de centimètres et fermé d'un bouchon de bitume, contenant un tube de cuivre à l'intérieur duquel se trouvait une tige de fer, l'un et l'autre très corrodés. »



Après la lecture de la partie du document intitulée *Un mystérieux objet archéologique*, l'enseignant de français peut demander aux élèves s'ils pensent personnellement que l'objet est une pile (les arguments pour et contre la thèse dans le document). La partie du document intitulée *Le développement de l'interprétation « électrique »* se prête plutôt à une activité autour de la neutralité des auteurs du texte du site internet (les modalisateurs employés, les implicites, l'ironie dans le document...).

<sup>4</sup>En attente des droits de diffusion

## A2 - SYNTHÈSE D'ESPÈCES CHIMIQUES

- Cette étude est l'occasion de montrer **la réalité de l'industrie chimique de synthèse** en projetant une séquence et/ou en visitant une usine chimique.  
Le site du CNRS propose un dossier sur le thème « chimie et beauté » dans la collection Sagascience à l'adresse <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doschim/accueil.html>

### Les études expérimentales

- Les expériences sont réalisées, chaque fois que possible par les élèves, sur des faibles quantités de réactifs, en respectant les règles de sécurité (petites quantités, fenêtres ouvertes), avec des protocoles simples.

De plus, il est souhaitable que l'enseignant présente au bureau un dispositif élaboré de synthèse utilisant le matériel habituel du laboratoire de chimie.

- Ces synthèses sont l'occasion d'attirer l'attention des élèves sur les règles de sécurité à observer dans la manipulation des réactifs, en respectant les pictogrammes de sécurité : [www.ac-nancy-metz.fr/enseign/physique/sc\\_index.htm](http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/physique/sc_index.htm)  
Ces pictogrammes peuvent être présentés sous forme d'activité comme celle proposée sur le site de l'académie de Lille : [http://www4b.ac-lille.fr/~physiquechimie/lycee/seconde/pci/chimie/obligatoire/la\\_securite\\_en\\_salle\\_de\\_tp/devries/activite\\_pictogramme\\_de\\_securite.pdf](http://www4b.ac-lille.fr/~physiquechimie/lycee/seconde/pci/chimie/obligatoire/la_securite_en_salle_de_tp/devries/activite_pictogramme_de_securite.pdf)

Voir aussi l'ANNEXE F sécurité du document d'accompagnement du cycle central.

- Synthèse d'une espèce chimique existant dans la nature

### EXPÉRIENCE DE SYNTHÈSE D'UN ARÔME DE BANANE\* PROTOCOLE SIMPLIFIÉ

(\*) **acétate d'isoamyle** ou acétate de 3-méthylbutyle

Verser 0,5 mL de 3-méthylbutan-1-ol dans un tube à essai. Ajouter 10 mL d'acide éthanoïque à environ 1 mol/L. Agiter délicatement. Compléter le tube avec 5 mL d'acide sulfurique à environ 1 mol/L. Agiter à nouveau.

Plonger le tube dans un bain-marie d'eau en ébullition pendant 15 min environ (**figures 1 et 2**).

Laisser refroidir le tube hors du bain-marie.

Verser le contenu du tube tiède dans un bécher de 100 mL rempli à moitié d'eau salée saturée. L'odeur de l'arôme de banane est perceptible dès le retrait du tube réfrigérant.

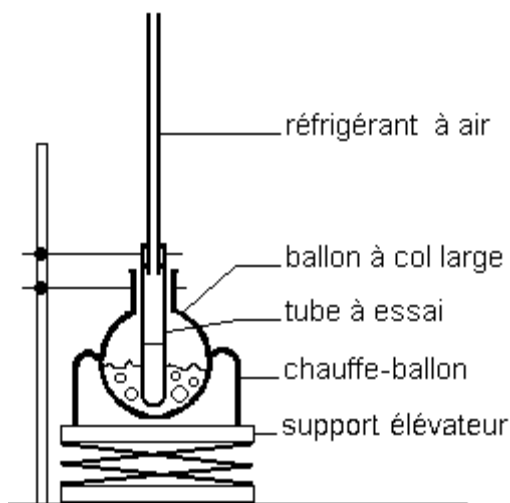


Figure 1



Figure 2



Figure 3

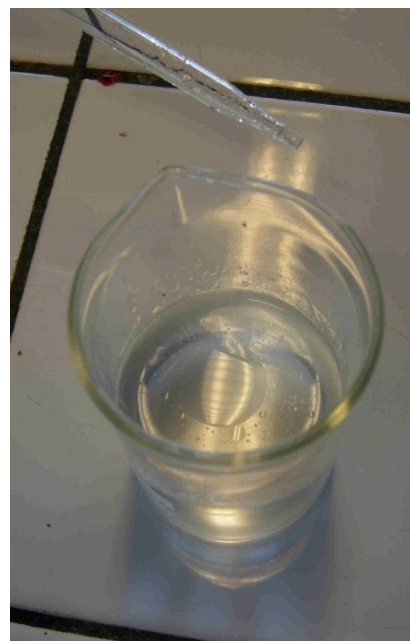


Figure 4

Le protocole précédent est prévu pour être réalisé par les élèves lors d'activités expérimentales. Les produits corrosifs ont volontairement une concentration molaire qui ne dépasse pas 1 mol/L. L'enseignant ne manquera pas de revenir sur les consignes de sécurité qui s'imposent lors de l'utilisation d'un système de chauffage (notamment support élévateur), de la manipulation d'eau très chaude, de liquides inflammables et corrosifs (notamment port de lunettes et de gants).

Le tube à essai choisi est de *grande taille* (40 mL) pour que le mélange ne dépasse pas la moitié de la contenance du tube. Le ballon sert pour le bain-marie. Au moment de son remplissage avec de l'eau, l'enseignant sensibilisera les élèves sur le fait que le niveau d'eau ne doit pas dépasser la moitié du ballon lorsque le tube est plongé à l'intérieur. Il est possible d'utiliser un bain-marie électrique (**figure 3**) mais la température reste voisine de 80°C ce qui peut nécessiter une durée de chauffage plus élevée. Si le nombre de dispositifs de chauffage est limité, il est possible de répartir les élèves, par exemple, sur quatre postes seulement.

Le volume d'ester formé (acétate d'isoamyle) est faible. Pour rassembler les gouttes d'ester, il est possible de tourner doucement un bâton de verre dans le bécher ; l'ester s'agglomère alors en une goutte de 2 cm de diamètre environ (**figure 4**).

Le site de l'académie d'Orléans-Tours propose un autre protocole qui nécessite moins de matériel à l'adresse

<http://www.ac-orleans-tours.fr/physique/phyel/quatr/chimie-4eme/AIR/SYNTH.HTM>

▪ Création d'une espèce chimique n'existant pas dans la nature

◇ Synthèse du **nylon® 6-6**

Dans un verre de montre, verser quelques gouttes d'une solution de chlorure d'hexanedioyle  $\text{ClOC}-(\text{CH}_2)_4-\text{COCl}$  en solution à 5 % en masse dans le dichlorométhane.

Verser très lentement, le long d'un agitateur, quelques gouttes d'une solution aqueuse à 5 % en masse d'hexane-1,6-diamine  $\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}_2$  additionnée de quelques gouttes de phénolphtaléine.

Observer l'interface des deux solutions ; à l'aide d'une pince, tirer un fil de l'interface des deux solutions et l'enrouler sur un agitateur : c'est du nylon® 6-6.

◇ Synthèse du **nylon 11**.



Dans une capsule en porcelaine placer un peu d'acide amino-11-undécanoïque  $\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_{10}\text{CO}_2\text{H}$  et chauffer doucement.

Après fusion du solide, poursuivre le chauffage ; la viscosité du solide croît alors que de la vapeur d'eau se dégage. Tirer un fil avec une pince : c'est du nylon 11 ou rilsan®.

◇ Synthèse du **nylon® 6-10**.

Préparer une tige de fil de fer munie d'une extrémité en forme de crochet.

Déposer 4 à 5 gouttes de chlorure de décanedioyle (appelé aussi *chlorure de sébaçoyle*) au centre d'un verre de montre.

Verser ensuite 4 à 5 gouttes de 1,6-diaminohexane

(appelé aussi *hexaméthylènediamine*) sur le côté du verre du montre.

Pousser le 1,6-diaminohexane vers le

chlorure de sébaçoyle à l'aide de la tige. On aperçoit

la formation d'un film blanc à la limite entre les deux liquides : il s'agit du nylon

6-10 et il est possible de l'étirer à l'aide du crochet de la tige.



Le chlorure de décanedioyle  $\text{ClCO}(\text{CH}_2)_8\text{COCl}$  doit être dilué à 5% en masse dans du cyclohexane. Le 1,6-diaminohexane  $\text{NH}_2(\text{CH}_2)_6\text{NH}_2$  doit être dilué à 5% en masse dans de l'eau distillée.

Plus faciles d'utilisation que les pipettes ordinaires, les bouchons compte-gouttes permettent de respecter les faibles quantités de produits à verser dans le verre de montre.

### ◇ Synthèse d'un **savon**

Avant de se lancer dans la fabrication, **il est impératif que les élèves portent lunettes, gants et blouse.**

Les espèces chimiques : huile d'olive, éthanol à 90°, soude à 3 mol/L, chlorure de sodium.

Le matériel nécessaire : éprouvette à gaz, bécher, agitateur, bec électrique, papier filtre, verre à pied.



✓

- ✓ Dans l'éprouvette à gaz, verser 20 mL d'éthanol, 10 mL d'huile d'olive et 20 mL de soude.
- ✓ Munir l'éprouvette à gaz d'un réfrigérant à air (long tube fin) et la laisser au bain-marie pendant 20 min environ.



- ✓ Durant le chauffage, préparer de l'eau saturée en chlorure de sodium dans un grand bécher (dissoudre 10g de gros sel dans 100 mL d'eau).

- ✓ Laisser refroidir le mélange dans l'éprouvette à gaz quelques instants.

#### Relargage



- ✓ Verser le mélange réactionnel dans le bécher d'eau salée.

#### Filtration



- ✓ Recueillir le précipité formé en réalisant une filtration.
- ✓ Filtrer le mélange tout en rinçant avec de l'eau.
- ✓ Mettre le savon obtenu dans une soucoupe et le laisser sécher.

#### Remarques :

- il ne faut pas utiliser le savon ainsi obtenu car il contient encore beaucoup de soude ;
- il est possible de montrer le caractère moussant de ce savon en l'introduisant dans un tube à essai contenant de l'eau et en agitant.

◇ Des expériences peuvent être réalisées en s'inspirant des fiches disponibles sur les sites d'Hervé This, en lien avec la chimie dans la cuisine :

[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>

Certaines fiches, conçues au niveau école, ont été amendées et complétées

pour être utilisées au collège. Il est possible de les trouver sur le site du CRDP de l'académie de Paris, sur celui de la Délégation Académique aux Arts et à la Culture ainsi que sur celui de physique-chimie de l'académie de Paris (<http://physique.scola.ac-paris.fr/>).

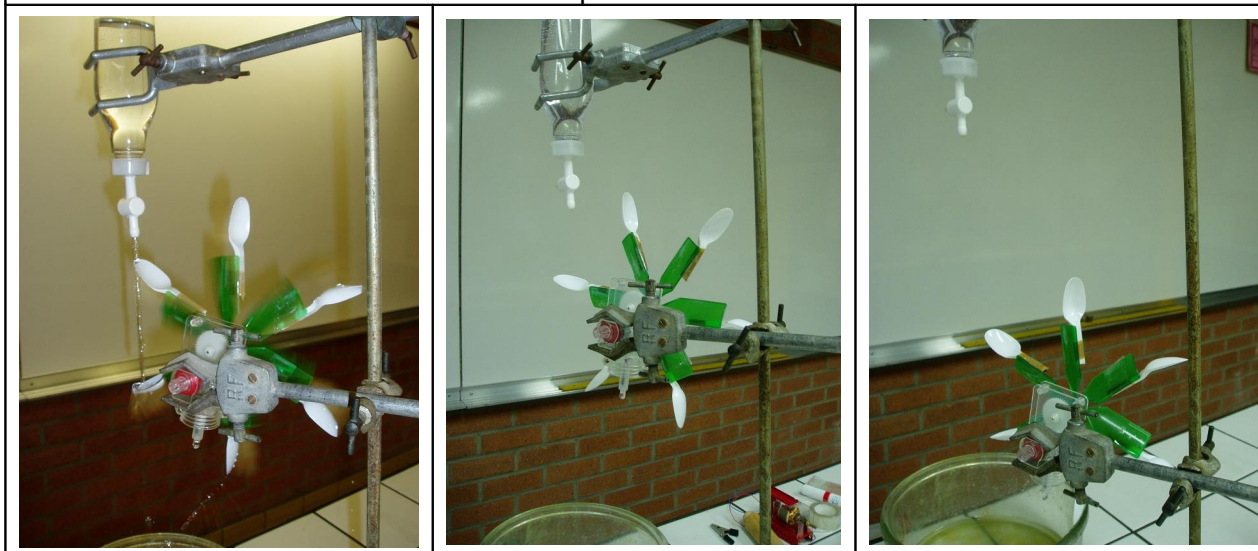
## B. ÉNERGIE ÉLECTRIQUE ET CIRCUITS ÉLECTRIQUES EN « ALTERNATIF »

### B1. DE LA CENTRALE ÉLECTRIQUE À L'UTILISATEUR

#### B1.1 Des possibilités de production de l'électricité

- Activités expérimentales

Exemple de dispositif pour l'observation de la vitesse de rotation d'une turbine animée par une chute d'eau



- Des animations ou des séquences vidéo sur le fonctionnement des **centrales électriques** sont disponibles sur :
  - Le site tv :  
<http://www.lesite.tv/index.cfm?nr=2&f=0435.0098.00&motclef=centrales.électriques>  
[http://www.lesite.tv/index.cfm?nr=2&d=171&n=123&p=507&ne=2&cl=PTCLE\\_NB\\_PTCLE\\_LK](http://www.lesite.tv/index.cfm?nr=2&d=171&n=123&p=507&ne=2&cl=PTCLE_NB_PTCLE_LK)  
(centrales électriques et éoliennes).  
ATTENTION : les consultations nécessitent un abonnement.
  - Le site d'EDF :  
<http://www.edf.com/html/panorama/production/intro.html>  
[http://www.edf.com/html/panorama/transversal/media\\_eol/eol\\_anim\\_01.html#](http://www.edf.com/html/panorama/transversal/media_eol/eol_anim_01.html#) (centrale éolienne)
  - Le site de l'ADEME Pays de la Loire : animation centrale hydro-électrique et éolienne  
<http://www.ademe.fr/paysdelaloire/inf/dis.asp#>
  - Le site de l'académie d'Amiens :  
[http://www.ac-amiens.fr/pedagogie/spc/phydoc/college/document/cd\\_begore/Elec\\_3\\_alternatif.htm](http://www.ac-amiens.fr/pedagogie/spc/phydoc/college/document/cd_begore/Elec_3_alternatif.htm)

Diaporama sur le courant alternatif : [http://www.ac-amiens.fr/pedagogie/spc/phydoc/college/document/cd\\_begore/3%B0%20tension%20alternative/diaporama%20%20alternatif%20version%202.ppt](http://www.ac-amiens.fr/pedagogie/spc/phydoc/college/document/cd_begore/3%B0%20tension%20alternative/diaporama%20%20alternatif%20version%202.ppt)

- Un nouveau type de centrale, l'hydrolienne, exploite les courants marins en Manche depuis avril 2008 (voir <http://generationsfutures.chez-alice.fr/energie/hydrolienne.htm>)
- Un logiciel RIP du MEN est disponible sur un cédérom auprès de la médiathèque de l'ADEME : « Les problématiques de l'énergie et de l'environnement » qui comporte cinq chapitres : différentes sources d'énergie, impacts environnementaux, lois et conventions internationales, politiques énergétiques, prospectives.

## B1.2 L'alternateur

Le principe de l'alternateur s'appuie sur le phénomène d'induction électromagnétique dont l'étude est hors programme. L'élève retient que ce phénomène est obtenu par le mouvement relatif d'un aimant au voisinage d'une bobine.

- Différents documents sont utilisables :
  - L'académie de Dijon propose une animation sur un aimant tournant devant une bobine : [http://sciences-physiques.ac-dijon.fr/documents/Flash/induction/aimant\\_tournant.htm](http://sciences-physiques.ac-dijon.fr/documents/Flash/induction/aimant_tournant.htm)
  - L'académie d'Amiens propose un diaporama sur le courant alternatif : <http://pedagogie.ac-amiens.fr/spc/phydoc/nouveau/nouveautescollege.php>
  - L'utilisation de l'alternateur pour la production industrielle d'électricité peut être étudiée à l'aide d'un document à support historique (voir ANNEXE B'3).
- Exemples de sources documentaires et iconographiques au sujet de **Tesla** :
  - ◇ site du CNRS : [ampere.cnrs.fr](http://ampere.cnrs.fr)
  - ◇ Tesla, la passion d'inventer par Margaret Cheney éditeur Belin 1987

Les sources d'énergie renouvelables ou non sont traitées dans le cadre de l'éducation au développement durable en lien avec les thèmes de convergence « énergie » et « environnement et développement durable ».

- Pour le vocabulaire et les ordres de grandeur, l'enseignant se reporte au document lié à des mises en œuvre du thème de convergence « énergie » (l'ANNEXE 2 : harmonisation du vocabulaire, les unités, ordres de grandeur).
- Cette étude est l'occasion de valider certains items du B2i-collège (voir ANNEXE C'1).

## B1.3 Tension continue et tension alternative périodique

### B1.3.1 Tension alternative très basse fréquence : étude assistée par ordinateur

- Introduction

Ce type d'activité vient compléter celle faisant intervenir le relevé manuel. L'élève doit d'abord être initié à ce dernier et aux tracés graphiques sur papier.

Il faut notamment que ces activités préparatoires aient amené les élèves à comprendre que, sur les graphiques obtenus, l'écoulement du temps est représenté sur l'axe horizontal et une autre grandeur physique sur l'axe vertical.

Quand on utilise l'ordinateur, il est essentiel de 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.

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.

- Objectifs de la manipulation

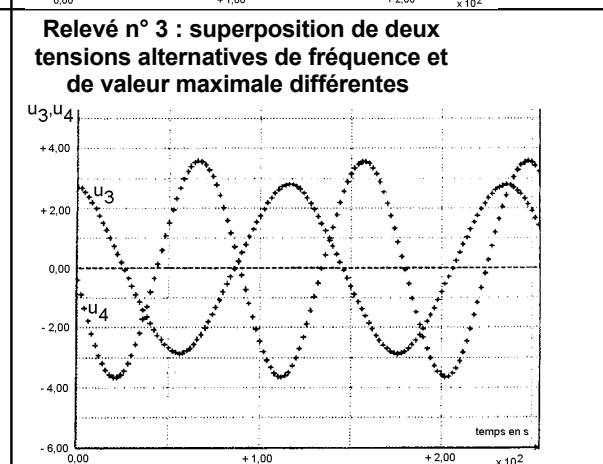
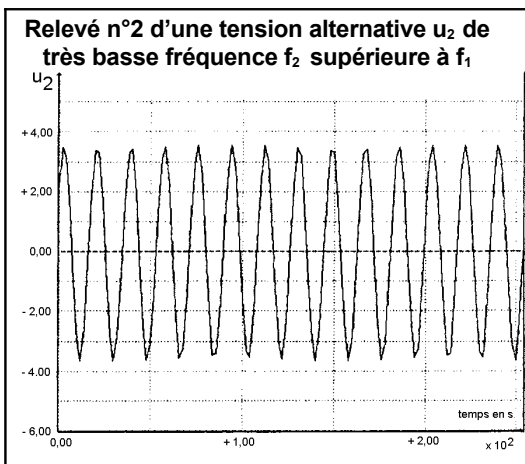
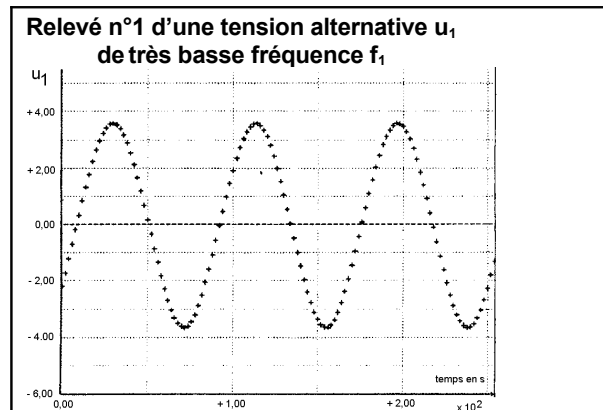
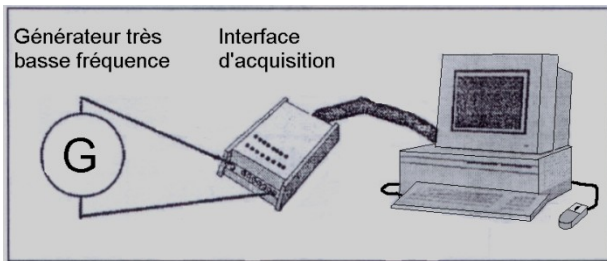
L'emploi de l'ordinateur devient particulièrement intéressant par rapport à deux aspects de la manipulation :

- Un premier est de montrer l'évolution de la tension : en effet, le nombre élevé d'acquisitions permet de faire prendre conscience aux élèves de cet aspect du phénomène (un autre moyen de l'illustrer est de s'aider de l'observation à l'oscilloscope de l'évolution au cours du temps de cette tension très basse fréquence).
- Le deuxième aspect intéressant apparaît quand on est amené à comparer des acquisitions faites dans des conditions différentes (valeur maximale, période, fréquence). Par comparaison de graphiques, ceci permettra de mettre en évidence des propriétés caractéristiques que sont la période et la tension maximale de la tension alternative.

- Schéma du montage pour le relevé d'une tension alternative très basse fréquence

Il n'y a pas de difficulté particulière dans la réalisation de l'expérience, elle dure le temps de l'acquisition, environ deux à trois minutes dans ces conditions.

- Résultats et exploitations



Sur les graphiques ci-dessus, on pourra observer trois enregistrements de signaux différents. Les deux premiers relevés ne comportent chacun qu'un signal noté  $u_1$  pour le premier et  $u_2$  pour le deuxième. Le troisième relevé comporte deux signaux notés  $u_3$  et  $u_4$ , ces derniers ont été enregistrés successivement par le dispositif d'acquisition avec des réglages différents du générateur très basse fréquence. Le système d'exploitation employé permet de visualiser deux signaux sur le même graphique.

On peut faire observer, en comparant aux relevés «manuels», la plus grande souplesse de

l'acquisition informatique, qui va permettre de faire progresser plus loin l'étude d'une tension alternative. En observant les similitudes et les différences entre plusieurs relevés, on pourra dégager quelques caractéristiques supplémentaires de ces tensions.

En modifiant le nombre de points d'acquisition, on fera observer l'évolution des tensions dans les trois relevés (ce qui justifie a posteriori la contrainte de lissage imposée par le professeur lors du tracé du graphique des relevés « manuels »).

En observant les relevés n°1 et 2, on fera noter la différence du nombre de « motifs élémentaires » correspondants à une même durée pour les tensions  $u_1$  et  $u_2$ . Ceci fait apparaître la période comme une caractéristique pouvant différencier deux tensions alternatives.

En observant le relevé n°3, on fera noter non seulement la différence de période de  $u_3$  et  $u_4$ , mais aussi celle de leur tension maximale. Cette grandeur est une deuxième caractéristique pouvant distinguer deux tensions alternatives.

On fera déterminer les valeurs de la tension maximale et celles de la période. Par exemple sur le relevé n°3, on trouvera des valeurs de la période pour  $u_3$  proche de 120 s, et pour  $u_4$  de 90 s. Pour la tension maximale, on aura de même pour  $u_3$  une valeur proche de 2,8 V et pour  $u_4$  de 3,6 V.

On pourra signaler que la « forme » de cette tension alternative est la même sur chacun des trois relevés et donner son nom à titre indicatif : tension sinusoïdale.

### B1.3.2 Animations et simulations sur les tensions alternatives

- Différents sites académiques proposent des ressources :
  - Animation flash avec questions pour l'élève :  
[http://www.spc.ac-aix-marseille.fr/phy\\_chi/Menu/Activites\\_pedagogiques/animations\\_flash/ualternative.swf](http://www.spc.ac-aix-marseille.fr/phy_chi/Menu/Activites_pedagogiques/animations_flash/ualternative.swf)
  - Diaporama sur le courant alternatif (attention, le redressement n'est pas au programme) : [http://www.ac-amiens.fr/pedagogie/spc/phydoc/college/document/cd\\_begore/Elec\\_3\\_alternatif.htm](http://www.ac-amiens.fr/pedagogie/spc/phydoc/college/document/cd_begore/Elec_3_alternatif.htm)
  - Diaporama : [http://www.ac-amiens.fr/pedagogie/spc/phydoc/college/document/cd\\_begore/3%B0%20tension%20alternative/diaporama%20%20alternatif%20version%202.ppt](http://www.ac-amiens.fr/pedagogie/spc/phydoc/college/document/cd_begore/3%B0%20tension%20alternative/diaporama%20%20alternatif%20version%202.ppt)
- Des exercices pour distinguer différents types de tensions sont également proposés sur :  
[http://www.pedagogie.ac-nantes.fr/42217875/0/fiche\\_ressourcepedagogique/&RH=1161013006328](http://www.pedagogie.ac-nantes.fr/42217875/0/fiche_ressourcepedagogique/&RH=1161013006328)  
[http://www.pedagogie.ac-nantes.fr/1165947198046/0/fiche\\_ressourcepedagogique/&RH=1161013006328](http://www.pedagogie.ac-nantes.fr/1165947198046/0/fiche_ressourcepedagogique/&RH=1161013006328)

### B1.3.3 L'oscilloscope, instrument de mesures

- Exercices interactifs portant sur l'analyse d'oscillogrammes variés :

[http://www.discip.crdp.ac-caen.fr/phch/college/troisieme/exos\\_interactifs/C12-Oscillogramme/menuoscillogrammes.htm](http://www.discip.crdp.ac-caen.fr/phch/college/troisieme/exos_interactifs/C12-Oscillogramme/menuoscillogrammes.htm)

## B2. PUISSANCE ET ÉNERGIE ÉLECTRIQUES

### B2.1 La puissance électrique

B2.1.1 Différents documents ont été élaborés par le musée des Arts et Métiers de Paris :

Ils sont disponibles sur les sites du Musée des Arts et Métiers (<http://www.arts-et-metiers.net/>) et sur celui de l'académie de Paris (<http://physique.scola.ac-paris.fr/>).

### B2.1.2 La puissance électrique

- Concernant le **risque électrique domestique lié aux surintensités**, on peut proposer aux élèves un petit exercice de réflexion, un diaporama accompagné d'un texte à

conserver après discussion en classe ou une démarche d'investigation. Un exemple de cette démarche est disponible sur le site de l'académie de Dijon :

<http://sciences-physiques.ac-dijon.fr/documents/college/Prises/fichprof.htm>

Le tableau qui suit présente des cas de surintensités possibles. Ces exemples ne prétendent pas être exhaustifs ni avoir de valeur réglementaire ou juridique.

Situations	Risque	Prévention	Comportement
L'utilisation de récepteurs électriques sur les prises de courant.	-Echauffement des conducteurs traversés par une intensité trop forte. Un conducteur métallique s'échauffe lorsqu'il est traversé par un courant. Cet échauffement augmente avec l'intensité du courant qui le traverse. - L'intensité que peut supporter un conducteur de section donnée ne doit pas dépasser une valeur limite, sinon on risque de détruire les isolants, de provoquer un incendie.	- A partir du circuit principal d'une alimentation, des lignes (neutre + phase) sont montées en dérivation. On obtient ainsi une séparation des circuits. Les sections de conducteurs de chaque ligne sont adaptées à la puissance donc à l'intensité. - Au départ de chaque ligne, un coupe-circuit à maximum d'intensité adapté à la section des conducteurs. - Prises spécifiques selon l'intensité qu'elles peuvent supporter.	N'utiliser que des fusibles adaptés à chaque ligne (coupant si l'intensité maximale que peut supporter la ligne est atteinte).
Branchement d'un grand nombre d'appareils électriques sur des prises.	Coupure de l'alimentation électrique.	Cartouche fusible adaptée à la section des conducteurs de la ligne.	Ne brancher en même temps que les appareils ne faisant pas dépasser l'intensité maximale admissible.
Appareils ménagers anciens, câbles d'alimentation usagés (isolants qui vieillissent et se fendillent, fortes contraintes mécaniques). Contact accidentel entre la phase et le neutre.	- Courts-circuits. - Sans protection de l'installation, les courts-circuits provoqueraient une augmentation brutale de l'intensité dans les conducteurs, leur échauffement, la destruction des isolants et seraient ainsi à l'origine d'incendies.	- L'isolement des câbles doit être vérifié. - Sur chaque ligne, le coupe-circuit (cartouche fusible ou coupure électromagnétique) doit intervenir si l'intensité maximale que peuvent supporter les conducteurs de cette ligne est atteinte.	Il conviendra de ne plus utiliser l'appareil à l'origine du court-circuit (réparation éventuelle par un spécialiste).
Alimentation avec des	Echauffement du		La somme des

boîtiers multiprises.	cordons si l'on branche beaucoup d'appareils.		puissances des différents appareils branchés ne doit pas dépasser la puissance indiquée sur le boîtier.
-----------------------	---	--	---

#### ▪ Coupe-circuit :

Quelques clarifications de vocabulaire concernant le fusible et le coupe circuit :

- La protection de base pour se protéger de l'électricité est l'isolement électrique. On réalise cet isolement par une couche de matériaux isolants sur les fils, câbles... et un confinement de tout circuit électrique ou électronique dans une enveloppe rigide et diélectrique.

- Pour éviter qu'un défaut d'isolation ou un court-circuit dans un appareil ne déclenche un incident grave (électrocution ou un incendie), un circuit électrique est obligatoirement muni d'un coupe-circuit manuel plus un automatique :

- fusible ;
- disjoncteur ;
- sectionneur (manuel).

Un fusible est « un organe de sécurité, utilisé en électricité et électronique. Son rôle est d'interrompre le courant électrique dans le circuit électrique qu'il protège en cas de défaut. Son nom vient du fait qu'il fonctionne par fusion d'un filament ».

Un disjoncteur est « un organe électromécanique, voire électronique, de protection, dont la fonction est d'interrompre le courant électrique en cas d'incident sur un circuit électrique. Il est capable d'interrompre un courant de surcharge ou un courant de court-circuit dans une installation. Suivant sa conception, il peut surveiller un ou plusieurs paramètres d'une ligne électrique. Sa principale caractéristique par rapport au fusible est qu'il est réarmable ».

Un sectionneur est « un appareil électromécanique permettant de séparer un circuit électrique aval de son alimentation et qui assure en position ouverte une distance de sectionnement satisfaisante électriquement, généralement visible par l'intervenant. Il ne figure pas dans les installations domestiques ».



## B2.2 La mesure de l'énergie électrique

- Différents **sites académiques** proposent des ressources :
  - Énergie consommée par une installation électrique :  
[http://www.spc.ac-aix-marseille.fr/phy\\_chi/Menu/Simulation/Tableur\\_consommation\\_electrique/consommation\\_electrique.htm](http://www.spc.ac-aix-marseille.fr/phy_chi/Menu/Simulation/Tableur_consommation_electrique/consommation_electrique.htm)
  - Facture d'énergie électrique interactive :  
[http://www.spc.ac-aix-marseille.fr/phy\\_chi/Menu/Simulation/Facture\\_electricite/Facture.htm](http://www.spc.ac-aix-marseille.fr/phy_chi/Menu/Simulation/Facture_electricite/Facture.htm)  
[http://missiontice.ac-besancon.fr/sciences\\_physiques/ressources/liste\\_ressources.php](http://missiontice.ac-besancon.fr/sciences_physiques/ressources/liste_ressources.php)
  - Formation et validation du B2i : [http://www.ac-strasbourg.fr/sections/enseignements/secondaire/pedagogie/les\\_disciplines/physchim/college/troisieme/tp\\_etude\\_de\\_la\\_puiss/view](http://www.ac-strasbourg.fr/sections/enseignements/secondaire/pedagogie/les_disciplines/physchim/college/troisieme/tp_etude_de_la_puiss/view)
  - Puissance et énergie électrique :  
<http://www.ac-orleans-tours.fr/physique/phyel/trois/pagpui/puiss.htm>
  - Historique de l'éclairage :  
<http://www.ac-orleans-tours.fr/physique/4eme/p2.htm>
  - Éclairage  
<http://www.ac-orleans-tours.fr/physique/docly/curious/c3.htm>
  - présentation animée : <http://webetab.ac-bordeaux.fr/Pedagogie/Physique/telechargement/TZR/Hydrau1.ppt>
  
- Sur le site de l'académie de Paris, un texte sur « l'alimentation électrique des trains » de J. Jandaly propose une étude documentaire à entrée historique. Ce document relie différentes notions étudiées dans cette partie de programme. Il permet également un lien avec l'enseignement d'histoire-géographie et de technologie. (voir ANNEXE B'4)

## C. DE LA GRAVITATION ... À L'ÉNERGIE MÉCANIQUE

### C1. INTERACTION GRAVITATIONNELLE

Dans cette partie de programme, la notion de conservation de l'énergie est abordée lors de l'étude d'une chute. Le principe de conservation de l'énergie n'est pas à étudier en tant que tel mais l'enseignant garde à l'esprit que ce principe est sous-jacent dans toutes les études relatives à l'énergie.

#### C1.1 Une approche expérimentale

- Les questions ***Pourquoi les planètes gravitent-elles autour du Soleil ? et Pourquoi les satellites tournent-ils autour de la Terre ?*** ont pour réponse la gravitation. Une interaction attractive a lieu entre le corps central et celui qui tourne autour. On comprend alors pourquoi les corps en interaction ne peuvent pas s'éloigner l'un de l'autre mais la raison pour laquelle ils ne viennent pas à la rencontre l'un de l'autre est moins évidente.

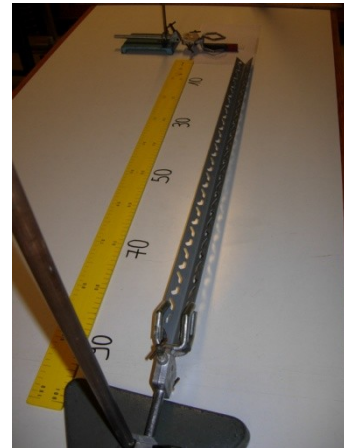
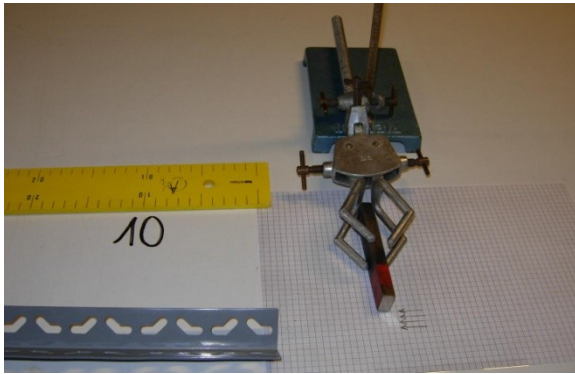
L'enseignant peut utiliser une analogie avec l'interaction magnétique en commençant par considérer l'interaction entre deux aimants car ce sont deux corps qui ont une propriété commune de la même façon que l'interaction gravitationnelle est due à une propriété commune des corps (leur masse).

Comme l'interaction magnétique n'est pas un point du programme à développer, l'enseignant se contente de comparer les deux phénomènes et il est intéressant qu'il évoque les limites de l'analogie.

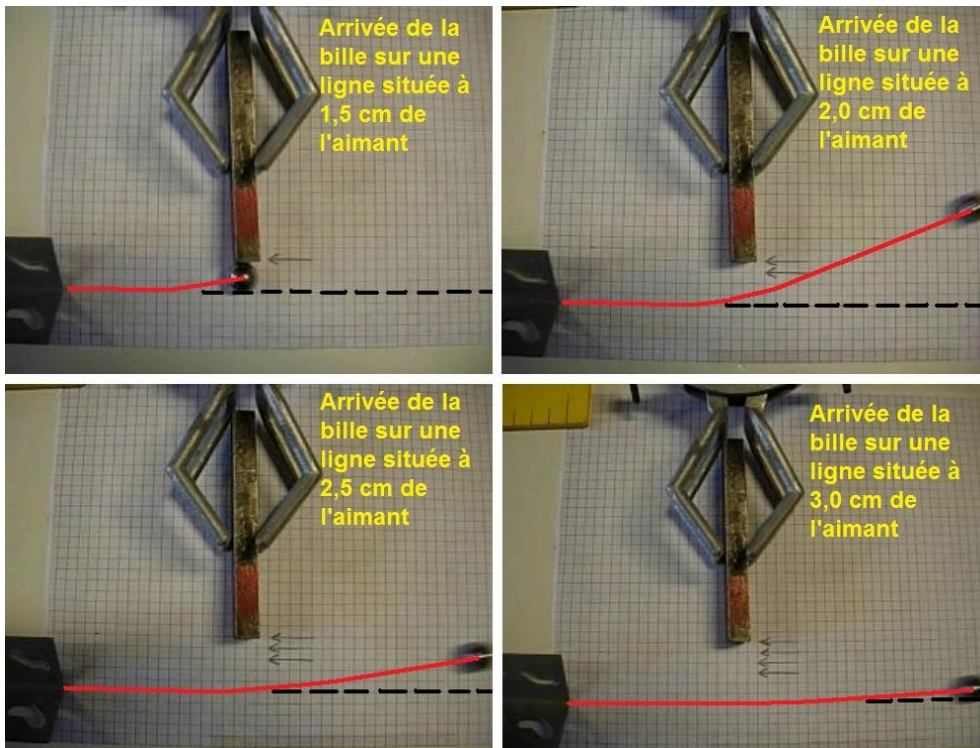
Points communs	Différences
Il y a interaction : les deux corps agissent mutuellement l'un sur l'autre.	Gravitation : uniquement attraction Magnétisme : attraction et répulsion
L'interaction se fait à distance.	
L'interaction diminue lorsque la distance augmente entre les deux corps.	

L'enseignant garde en mémoire que dans le cas du magnétisme, l'interaction se manifeste par l'existence d'un couple.

Pour illustrer l'évolution de l'interaction avec la distance, il est possible de réaliser une série de passages d'une bille en acier devant un aimant en changeant la position de l'aimant. Les séquences filmées correspondantes se trouvent dans le **FICHER COMPLÉMENTAIRE *Bille\_aimant\_distance.swf***. Quelques photographies ci-dessous en sont extraites.



La bille descend une rampe inclinée et arrive à chaque fois avec la même vitesse à proximité de l'aimant. Avec le matériel utilisé ci-dessous (plan incliné de faible pente de l'ordre de 5 %), on constate que lorsque le centre de la bille arrive sur une ligne située à 1,5 cm de l'aimant, elle est attirée au point de venir « se coller » sur lui ; lorsque son centre arrive sur une ligne située à 3,0 cm de l'aimant, elle n'est presque pas déviée.



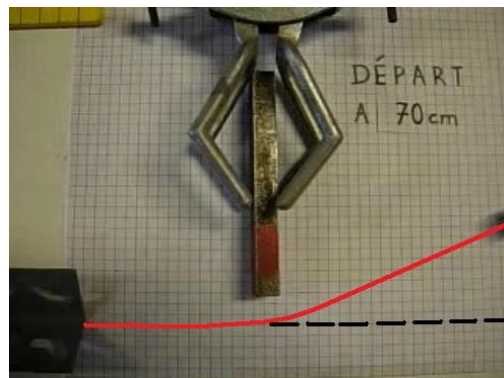
Le dispositif avec la rampe, la bille d'acier et l'aimant permet d'aider les élèves à comprendre pourquoi deux corps qui s'attirent ne se rejoignent pas toujours.

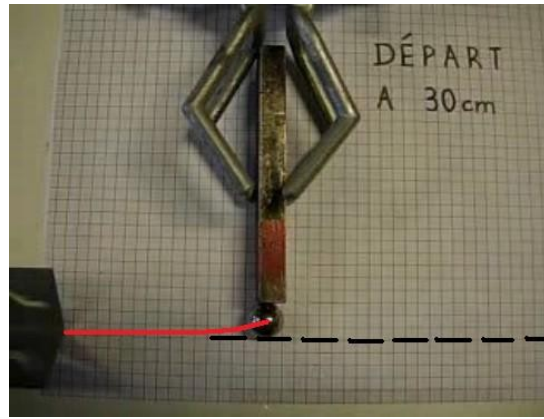
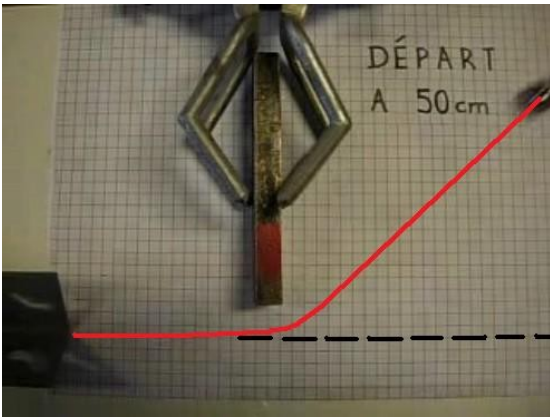
Si la bille va très vite lorsqu'elle passe à proximité de l'aimant, elle est peu déviée sous l'effet de l'attraction. En revanche, elle est d'autant plus déviée que sa vitesse est plus faible. Elle rejoint l'aimant et s'y « colle » lorsqu'elle passe trop lentement. Avec le matériel utilisé, on fait varier la vitesse de la bille en la lâchant depuis une position plus ou moins éloignée sur la rampe (par exemple sur la photographie ci-contre, la bille est lâchée à 70 cm du bord).

Les séquences filmées correspondantes se trouvent dans le **FICHER COMPLÉMENTAIRE** *Bille\_aimant\_vitesse.SWF*.

Les photographies ci-contre et ci-dessous en sont extraites.

La vitesse est donc un facteur à ajuster pour permettre la révolution d'un satellite autour d'une planète sans qu'il ne s'écrase à sa surface.





Le parallèle entre le mouvement d'un satellite et celui d'une fronde peut, lui aussi, aider l'élève à comprendre qu'un lien - certes invisible - existe entre la planète et le satellite car, sans lui, le satellite en mouvement rapide s'éloignerait comme le ferait la fronde si la corde venait à se rompre. La notion de force n'étant pas au programme, il n'est pas utile d'évoquer la force exercée par la corde sur la fronde en mouvement circulaire.

Le fait qu'il faille une vitesse minimale pour obtenir (et maintenir) la révolution de la fronde peut servir à expliquer le domaine spécifique de vitesses d'un satellite pour qu'il se maintienne en orbite autour d'une planète donnée.

On pourra également voir sur le site de l'académie de Nancy-Metz une vidéo sur la trajectoire d'une bille passant devant un aimant :

[http://www.ac-nancy-metz.fr/enseigner/physique/video/exemples/bille\\_aimant.avi](http://www.ac-nancy-metz.fr/enseigner/physique/video/exemples/bille_aimant.avi)

- Pourquoi un corps a-t-il un poids ? Quelle relation y a-t-il entre le poids et la masse ?

Là encore, il n'est pas question de parler de la notion de force : le poids correspond, en première approximation, à l'action attractive de la Terre ; il est une manifestation de la gravitation au voisinage de la surface de la planète. L'enseignant n'aborde pas le fait que le poids est une grandeur vectorielle tandis que la masse est une grandeur scalaire.

Le lien mathématique entre les deux grandeurs *poids* et *masse* est donné. S'agissant d'un simple lien de proportionnalité, l'élève peut se demander alors pourquoi il est nécessaire de faire une distinction entre les deux grandeurs. En plus d'aborder le fait que l'intensité de la pesanteur  $g$  est différente d'un astre à l'autre, il est possible aussi d'évoquer son évolution avec l'altitude du lieu : l'attraction d'un corps par la Terre diminue très légèrement si l'on monte en altitude.

À souligner que la masse affichée par une balance électronique repose sur une déformation associée à une force liée à la pesanteur. Seules les balances fonctionnant sur le principe du levier (type Roberval par exemple) permettent l'accès direct (sans utiliser la relation  $P = m \cdot g$ ) à la mesure de la masse.

### C1.2 Quelques références

- Une séquence audiovisuelle sur **Newton et la gravitation** est disponible sur le site de la **Cité des Sciences** et de l'Industrie de Paris.  
<http://www.cite-sciences.fr/cs/Satellite?c=Page&cid=1195216550963&packedargs=pdpa=2&pagename=Portail/GRU/PortailLayout&pid=1195216502897>
- Le site de l'Agence spatiale européenne, dans sa partie jeunesse, <http://www.esa.int/esaKIDSfr/index.html> propose des documents en anglais et en français, notamment :

Partie «Les planètes et les lunes : le système solaire et ses planètes »

[http://www.esa.int/esaKIDSfr/SEM7ZK0VRHE\\_OurUniverse\\_0.html](http://www.esa.int/esaKIDSfr/SEM7ZK0VRHE_OurUniverse_0.html)

Partie « histoire de l'Univers : une histoire de la science spatiale en Europe »  
[http://www.esa.int/esaKIDSfr/SEMDEH808BE\\_OurUniverse\\_0.html](http://www.esa.int/esaKIDSfr/SEMDEH808BE_OurUniverse_0.html)

Partie « les orbites : vitesse dans l'espace »  
<http://www.esa.int/esaKIDSfr/Orbits.html>

Partie « les lanceurs : propulsion ionique contre propulsion chimique »  
Vitesses : comparaison entre deux propulsions différentes  
[http://www.esa.int/esaKIDSfr/SEMEE00DU8E\\_Liftoff\\_0.html](http://www.esa.int/esaKIDSfr/SEMEE00DU8E_Liftoff_0.html)

- Sur le site educnet on trouvera des informations sur : Apesanteur, impesanteur  
<http://www.educnet.education.fr/orbito/pedago/zerog/zerog1.htm>

mesures de la variation de pesanteur  
<http://www.educnet.education.fr/orbito/pedago/zerog/zerog32.htm>

un élève en impesanteur ; ses impressions  
<http://www.educnet.education.fr/orbito/pedago/zerog/zerog4.htm>

la gravitation  
<http://www.educnet.education.fr/orbito/pedago/inertie/inert2.htm>

notion de référentiel  
<http://www.educnet.education.fr/orbito/pedago/inertie/inert1.htm>

- Certaines brochures de la revue « espace information » éditée par le CNES, notamment le n° 25 avec le dossier intitulé « de la pesanteur à la gravitation » et le n° 26 (octobre 1983) avec « le phénomène d'impesanteur » ont été rééditées en mai 86 et restent utilisables par les enseignants avec l'accord du CNES. Elles sont accessibles sur le site de l'académie de Paris <http://physique.scola.ac-paris.fr/>
- L'ouvrage intitulé *La gravitation* de Madeleine SONNEVILLE et Danielle FAUQUE - CNDP 1997 - ISBN : 2-240-00411-8 réunit des textes variés (extrait de BD page 152, « on a marché sur la Lune », œuvre littéraire page 96 « l'épître de Voltaire à la marquise du Chastelet », etc.) permettant une étude critique avec les élèves. Il réunit également des textes fondateurs.
- On pourra également consulter :
  - le site du CNES (mini encyclopédie spatiale)  
<http://www.cnes.fr/web/107-mini-encyclopedie-spatiale.php>
  - le site de l'ESA : <http://www.esa.int/esaCP/France.html>

## C2. ÉNERGIE CINÉTIQUE ET SÉCURITÉ ROUTIÈRE

- Il est possible d'exploiter des chronotachygraphes, ou des produits équivalents, qui enregistrent les vitesses en temps réel sur les véhicules de transports de personnes et de marchandises « poids lourds ».
- Différents documents sont exploitables sur certains sites :
  - le site de l'académie de Dijon propose une animation téléchargeable sur la distance d'arrêt :

<http://sciences-physiques.ac-dijon.fr/documents/college/SecuriteRoutiere/DistanceArret.swf>

- le site de l'Association pour la prévention routière :

[http://www.preventionroutiere.asso.fr/acteur\\_education\\_interactif\\_lycee.aspx](http://www.preventionroutiere.asso.fr/acteur_education_interactif_lycee.aspx)

Consulter notamment le dossier « modulatoroute ».

- Le dossier « freinage » peut contribuer à la validation de certaines compétences du B2i-collège :

[http://artic.ac-besancon.fr/sciences\\_physiques/physique\\_chimie/college/b2i/index.php](http://artic.ac-besancon.fr/sciences_physiques/physique_chimie/college/b2i/index.php)

---

Fin de la partie thématique

# ANNEXES

## ANNEXE A' : la démarche d'investigation

Différents sites académiques proposent des pistes :

<http://sciences-physiques.ac-dijon.fr/documents/college/Chimie/explosion/fichprof.htm>

[http://artic.ac-besancon.fr/sciences\\_physiques/ressources/fiches\\_college.php?niveau=3&theme=9&cadre=28](http://artic.ac-besancon.fr/sciences_physiques/ressources/fiches_college.php?niveau=3&theme=9&cadre=28)

<http://www3.ac-clermont.fr/pedago/physique/investigation/spip.php?article26>

<http://sciences-physiques.ac-dijon.fr/documents/college/Chimie/PamelaRose/engeleve.htm>

Par ailleurs, l'académie de Paris donne quelques exemples dans le diaporama de cette annexe A'.

## ANNEXE B' : histoire des sciences

### ANNEXE B' 1. Ions et électrons

## DOCUMENT POUR LE PROFESSEUR

### Électron et atome : survol historique

Danièle FAUQUE

Le document qui suit retrace les grandes étapes de la découverte de la structure de l'atome. Il s'appuie uniquement sur l'expérience et n'aborde pas l'aspect théorique. Les informations qu'il propose permettront au professeur de préparer le document proposé aux élèves en leur apportant un certain nombre d'informations sur le contexte des découvertes. Les découvertes se font un peu partout dans le monde occidental, en Allemagne, en France, aux États-Unis, et surtout en Angleterre, au Cavendish Laboratory de Cambridge.

Après les travaux pionniers de William Crookes, J. J. Thomson, et les découvertes de W. C. Roentgen, d'Henri Becquerel et de Marie Curie, une génération de jeunes chercheurs va imaginer des dispositifs performants mettant en application leurs intuitions. Ce sont Ernest Rutherford, Robert Millikan, Frederick Soddy, Francis Aston, sans oublier Jean Perrin en France. Les découvertes expérimentales s'accumulent, les interprétations théoriques suivent. Au début du XX<sup>e</sup> siècle, une nouvelle physique naît, fondée sur les idées de Max Planck (Allemagne), d'Albert Einstein (Suisse), de Niels Bohr (Danemark).

La théorie atomique qui laissait sceptique un grand nombre de chimistes français de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle ne peut être rejetée au prétexte qu'elle était fondée sur une spéculation : l'existence de particules indivisibles ultimes de la matière, organisées en molécules définissant les corps connus. La preuve est apportée par l'expérience, non seulement de la structure discontinue de la matière, mais aussi de la divisibilité de l'atome.

Nous proposons ici quelques extraits d'un ouvrage de diffusion (datant du premier quart du XX<sup>e</sup> siècle) de la nouvelle conception que l'on se fait de la matière, diffusion basée sur les récits des expériences, seuls critères considérés comme objectifs par la communauté internationale, car reproductibles par tous dans les mêmes conditions. Le vocabulaire n'est pas tout à fait le nôtre. Par exemple, lorsque Millikan parle d'*électron positif*, nous devons avoir en tête qu'il s'agit probablement du futur *proton*. Le *neutron* n'est pas encore connu. Lorsque l'*électron* est identifié, et que la structure lacunaire de l'atome ne fait plus de doute, on ne conçoit pas encore l'existence des isotopes. Lorsque ceux-ci entrent dans le champ des connaissances, la notion d'élément doit être redéfinie. La structure lacunaire de l'atome induit un modèle d'atome incompatible avec les théories physiques connues, dont la théorie électromagnétique. Il faut l'intuition de Bohr pour théoriser la stabilité de l'atome. Il s'ensuit une explication très simple des spectres lumineux. Nous arrêterons notre texte à la découverte de la radioactivité artificielle en 1934.

### **L'électron**

Définition : " particule élémentaire, pouvant exister à l'état libre ; elle est liée dans les atomes et les molécules. Sa masse au repos est  $m_e = 9, 109534. 10^{-31}$  kg. Elle porte une charge élémentaire

$e = 1,602\,18 \cdot 10^{-19} \text{C}$  (d'où son nom de négaton, l'antiparticule de charge  $+e$  étant le positon) ”. (J.-P. Mathieu, A. Kastler, P. Fleury, *Dictionnaire de physique* (Paris, Masson, Eyrolles), 3<sup>e</sup> éd., 1991.

### **Le nom de l'électron**

Nous allons trouver dans l'ouvrage, *L'électron*, de Robert Andrews Millikan (1917, revu en 1924, traduction française en 1926), une première information.

*“ En 1891, le Dr G. Johnstone Stoney proposa pour la première fois, le mot “ électron ”, pour désigner l'unité naturelle d'électricité ; c'est-à-dire la quantité d'électricité qu'il faut faire passer dans une solution pour libérer à l'une des électrodes un atome d'hydrogène ou un atome d'un élément monovalent quelconque. ”* (p. 30).

L'auteur rappelle ensuite les travaux quantitatifs de Michaël Faraday sur l'électrolyse. Ce dernier avait montré qu'à un gramme d'hydrogène mis en jeu, il y avait toujours passage de la même quantité d'électricité. Et, en 1874, il avait pu mettre en évidence qu'une charge de  $10^{-19} \text{C}$  était associée à un seul atome. Cette charge était neutralisée par une charge positive équivalente dans l'atome neutre.

Millikan poursuit : *“ Le mot “ électron ” est introduit simplement pour désigner une quantité d'électricité élémentaire bien définie, sans qu'il soit aucunement question de la masse ou inertie qui pourrait y être associée (...). Il y a, en fait, aujourd'hui toute raison de croire que l'atome d'hydrogène contient effectivement un seul électron positif et un seul électron négatif ”* (p. 31).

Le proton n'a pas encore été défini, et l'expression utilisée par Millikan “ électron positif ” doit être entendue comme désignant cette entité.

*“ Il est regrettable que tous les auteurs qui ont écrit sur ce sujet aient attaché si peu de prix à la signification primitive du mot proposé par le professeur Stoney ; il est, en effet, évident que nous avons besoin d'un mot pour désigner l'unité élémentaire d'électricité sans que ce mot doive préciser quelle est l'origine de cette unité, ce à quoi elle est attachée, quelle inertie lui est associée, ni même désigner son signe positif ou négatif ; il apparaît ainsi que le mot “ électron ” est le terme logique qu'on doit associer à cette notion. De plus, il n'y a aucune difficulté à conserver la signification originelle et dérivée du mot “ électron ” et à autoriser en même temps l'usage ordinaire qu'on en fait d'expression abrégée et commode pour désigner “ l'électron négatif libre ”. En d'autres termes, étant donné la présence universelle de l'électron négatif en physique expérimentale et l'extrême rareté de l'électron positif isolé, on peut admettre qu'il s'agit de l'électron négatif, à moins que l'on ne spécifie que c'est du positif dont on parle. Ce cas grammatical est, en tout point, identique à celui de l'usage du mot “ homme ” qui désigne admirablement le genre “ homo ” ainsi que son représentant masculin, le représentant féminin se trouvant alors différencié par l'emploi d'un préfixe (en anglais : man et woman). Les expressions “ électron ” et “ électron positif ” seraient alors employées exactement avec la même précision que les mots ‘man’ et ‘woman’. Les principales autorités en la matière – Thomson, Rutherford, Campbell, Richardson – ont, en fait, conservé au mot “ électron ” son sens originel, au lieu de l'employer pour signifier uniquement l'électron négatif libre, dont la masse est de 1/1845 de celle de l'atome d'hydrogène ”* (p. 30-33).

### **Détermination de $e/m$**

Les expériences de Faraday ne donnent pas de valeur précise de la charge d'un électron.

*“ Mais si les expériences de Faraday ne nous renseignaient pas sur la quantité d'électricité  $e$  que représente un électron, elles nous permettraient de connaître exactement le rapport de la charge ionique  $E$  à la masse de l'atome à laquelle elle se trouve associée dans une solution donnée ”* (p. 35).

*“ Un accord international a défini dans le système électromagnétique des unités, l'unité absolue d'électricité comme la quantité d'électricité nécessaire pour obtenir dans une solution d'argent un dépôt de 0,01118 g de ce métal ”.*

Ainsi pour l'argent :  $e/m = 89,44 \cdot 10^5 \text{ C/kg}$  pour 0,01118 g d'argent (aujourd'hui 89,3). Pour l'hydrogène, cela donne  $e/m = 9,573 \cdot 10^5 \text{ C/kg}$  (aujourd'hui 9,64).

### **Détermination de $Ne$**

*“ Ainsi, dans l'électrolyse, le rapport  $E/m$  varie d'un ion à l'autre ; pour les ions monovalents  $E$  étant égal à un électron  $e$ , ce rapport est inversement proportionnel au poids atomique de l'ion.*



*Pour les ions polyvalents,  $E$  peut être égal à 2, 3, 4, ou 5 électrons ; mais puisque l'hydrogène est au moins sept fois plus léger que tout autre ion qui puisse se rencontrer dans une solution, et que sa charge n'est que d'un électron, nous voyons que la plus grande valeur que puisse prendre  $E/m$  dans l'électrolyse est celle qui correspond à l'hydrogène (...). Quoique  $E/m$  varie avec la nature de l'ion, on en déduit cependant une quantité qui est une constante universelle.*

*L'on représente cette quantité par  $Ne$ ,  $e$  représente toujours l'électron,  $N$  est la constante d'Avogadro ” (p. 35-36).*

*La question de la nature des ions ou particules chargées se pose très tôt au XIX<sup>e</sup> siècle, mais la question de la conductibilité électrique des gaz n'apparaît vraiment qu'à partir de 1895, avec la découverte des rayons X par W. C. Roentgen.*

*“ C'est à J. J. Thomson et à ses élèves du Cavendish Laboratory, de Cambridge, que nous devons les expériences décisives à ce sujet. Le nouveau travail naquit pour ainsi dire et dérivait simplement et naturellement du fait que les rayons X et, un an ou deux plus tard, les rayons du radium, déchargeaient l'électroscope et, par conséquent, rendaient les gaz conducteurs. Jusque-là, on ne possédait aucun moyen pour déceler et contrôler à volonté la conductibilité électrique des gaz (...). La nature électrolytique de la conductibilité gazeuse s'est trouvée ainsi clairement établie vers 1896. Mais quelle était donc la nature des ions ainsi formés ? ” (p. 39-40).*

À cet effet, J. J. Thomson et son équipe définirent de nouvelles grandeurs : la *mobilité* des ions gazeux et le *coefficient de diffusion* des ions, et imaginèrent de nouvelles méthodes pour mesurer ces constantes. Celles-ci furent appliquées ensuite par plusieurs savants à partir de 1897. En 1900, John S. E. Townsend, à Oxford, trouva qu'un ion positif avait un coefficient de diffusion inférieur à un ion négatif, donc il était plus lent dans l'air sec qu'un ion négatif. Il a aussi été établi que les ions se déplaçaient plus lentement que les molécules des gaz dans l'air. D'autres considérations de mobilité conduisirent à supposer que “ *l'ion serait simplement une molécule électrisée* ” (p. 45).

Enfin, on montra au début du XIX<sup>e</sup> siècle, que “*la valeur ne pour les ions négatifs produits dans les gaz par les rayons X, les rayons du radium et la lumière ultraviolette, est la même que pour les ions monovalents dans les solutions* ” (p. 46).

*“ Il apparut clairement, alors, que les constituants d'un atome neutre, même celui d'une substance monoatomique devaient être de minuscules charges électriques. Nous avons ainsi la première preuve directe de la structure complexe de l'atome et du fait que des charges électriques entraînent dans sa constitution. Cette découverte dérivée directement de l'emploi d'un agent nouveau, les rayons X, discréditait à jamais la théorie de l'insécabilité de l'atome, et inaugurait l'ère de l'étude des constituants de l'atome. Ce fut, d'ailleurs, avec une extraordinaire rapidité que les propriétés du monde intra-atomique nous furent révélées au cours des vingt-cinq dernières années ”.* Nous sommes en 1924 (p. 48-49).

Les physiciens formulèrent plusieurs questions portant sur la valeur de la masse et de la charge des constituants arrachés à l'atome, la nature et le nombre des constituants de l'atome, leurs rapports avec l'émission et l'absorption des ondes lumineuses.

Millikan contribua à apporter une réponse partielle à ces questions.

### **Expériences de Millikan**

C'est Townsend qui entreprit le premier la détermination directe de  $e$  à partir de l'étude d'un brouillard chargé, et publia ses résultats en 1897. Dans le même temps, C. T. R. Wilson, toujours au laboratoire Cavendish, travaillait aussi sur les brouillards électrisés. J. J. Thomson mit à profit les découvertes de Wilson, et employa la méthode de Townsend, c'est-à-dire en provoquant la condensation de gouttelettes d'eau sur les ions, et en pesant ensuite le brouillard ainsi formé. Mais les progrès notables sont apportés par Wilson en 1903. Il utilise une chambre à brouillard où les gouttelettes les plus chargées sont entraînées plus rapidement par le champ électrique que les gouttelettes les moins chargées. C'est sur ces dernières qu'il fait toutes ses mesures. Millikan met alors au point une méthode où la goutte chargée atteint un état d'équilibre, dans un champ électrostatique, en 1909, et obtient des valeurs plus précises.

### **La structure de l'atome**

*Ainsi, au cours de la première décennie du XX<sup>e</sup> siècle, on sait que l'atome n'est pas le composant ultime de la matière, mais qu'il se subdivise en particules plus petites chargées électriquement, dont une, l'électron négatif est maintenant bien connu. L'atome étant neutre, il contient*

*nécessairement des “ électrons positifs ”, mais qui diffèrent considérablement de leur complémentaire négatif.*

*“ Nous avons vu que ces électrons, qu’à l’aide des rayons X, on peut extraire de toute espèce d’atomes neutres, doivent être des constituants de tous les atomes. (...). Nous avons étudié ces électrons en eux-mêmes, et nous avons trouvé qu’il en existe de deux sortes : des électrons positifs et des électrons négatifs, dont les charges électriques sont exactement identiques, mais qui diffèrent totalement par leur inertie ou masse, celle de l’électron négatif étant généralement la 1/1845<sup>e</sup> partie de la masse de l’atome d’hydrogène, le plus léger des atomes connus, alors que la masse de l’électron positif n’est jamais inférieure, semble-t-il, à celle de l’atome d’hydrogène ” (p. 217).*

En utilisant les rayons  $\alpha$  et  $\beta$ , William H. Bragg (1904) puis Ernest Rutherford (1911) vont découvrir la structure lacunaire de l’atome.

L’étude des trajectoires de ces particules dans un gaz montre *“que la particule  $\beta$  traverse, en moyenne, 10 000 atomes avant de pouvoir approcher suffisamment près de l’un des constituants électroniques d’un de ces atomes pour le détacher de son propre système et former un ion. Ceci montre clairement que les constituants électroniques et autres des atomes ne peuvent occuper qu’une fraction extrêmement petite de l’espace compris à l’intérieur du système atomique. Pratiquement, tout se passe, pour l’électron de haute vitesse, comme si l’intérieur de l’atome était complètement vide ” (p. 228).* *“ Mais l’étude des trajectoires des particules  $\alpha$  nous renseigne mieux encore sur la structure de l’atome. En effet, un électron négatif dans un atome ne peut pas davantage dévier une particule  $\alpha$ , ou atome d’hélium, mille fois plus gros que lui, qu’un pois pourrait faire dévier un obus. Cependant l’on remarque, vers la fin du parcours de la particule  $\alpha$ , plusieurs coudes brusques qui ne peuvent être dus qu’à la présence, à l’intérieur de l’atome, d’un centre de force extraordinairement puissant, dont la masse est, pour le moins comparable à la masse de l’atome d’hélium. Ces brusques écarts qui, exceptionnellement, atteignent 150° à 180°, constituent une preuve des plus fortes à l’appui de cette hypothèse que l’atome se compose d’un noyau positif fortement chargé, autour duquel se groupent des électrons négatifs en nombre suffisant pour rendre l’atome électriquement neutre dans son ensemble ” (p. 230-231).*

Les savants vont ensuite chercher à découvrir la structure du noyau. Il doit contenir des électrons positifs en nombre suffisant pour assurer la neutralité de l’atome, mais aussi des associations d’électrons négatifs et positifs pour donner l’essentiel de la masse du noyau.

En 1911, les expériences de Charles G. Barkla montrèrent que le nombre d’électrons négatifs était égal à la moitié environ du poids atomique de l’atome. Or ce nombre devait évaluer nécessairement le nombre d’électrons positifs libres dans le noyau.

C’est un jeune et brillant savant anglais, Henry G. J. Moseley, déjà célèbre à vingt-sept ans pour des recherches parmi les plus importantes du demi-siècle écoulé, qui devait apporter une réponse en 1913. Il fut l’une des premières victimes de la Grande Guerre en été 1915. Il étudia les longueurs d’onde des faisceaux d’ondes électromagnétiques X excités par les chocs des rayons cathodiques sur des anticathodes constituées de métaux connus. Il arriva à la conclusion que leurs fréquences étaient liées par une relation simple entre elles, une progression arithmétique simple dont on obtient chaque terme en ajoutant au précédent une quantité constante. Cette relation suggère que la charge du noyau résulte, pour chaque atome, de l’addition d’une certaine charge invariable au noyau de l’atome le précédant dans le tableau dressé par Moseley. La série de Moseley coïncide également avec la suite des masses atomiques croissantes. On en arrive à concevoir que les termes successifs du tableau périodique, allant de un à quatre-vingt-douze, correspondent chacun à l’addition d’une nouvelle charge positive au noyau. Ce qui suggère que l’unité de charge positive est elle-même un élément primordial (p. 248). Cet électron positif se révèle par expérience être identique au noyau de l’atome d’hydrogène.

À la date à laquelle est écrit cet ouvrage de Millikan, 1917, et a fortiori, à la date de sa traduction, 1926, l’atome d’hélium est expliqué ainsi :

*“ Le poids de l’atome d’hélium est quatre, alors que son nombre atomique, c’est-à-dire la charge positive libre de son noyau, n’est que deux. L’atome d’hélium doit, en conséquence, contenir dans son noyau, deux électrons négatifs, qui neutralisent deux des quatre électrons positifs, et servent à maintenir ceux-ci réunis, car, autrement, ils se sépareraient violemment sous l’influence de leurs répulsions mutuelles ” (p. 249).*

Nous n'avons pas ici abordé la question de la stabilité de l'atome. Nous n'avons présenté que quelques notions retraçant la succession des découvertes expérimentales conduisant peu à peu à la connaissance de la constitution de l'atome. En 1913, Rutherford fut en mesure de donner une limite supérieure au rayon d'un noyau, au moins dix mille fois plus petit que l'atome, soit de l'ordre de  $10^{-12}$  cm. Mais il contient 99,95% de la masse de l'atome. En 1911, Frederick Soddy présenta une nouvelle découverte, celle des isotopes du radium, du thorium et du plomb. Après la première Guerre mondiale, Francis Aston construisit un spectromètre de masse qui lui permit de séparer les isotopes. Il publia un ouvrage sur le sujet en 1922.

Le lecteur aura reconnu dans l'électron positif de Millikan, le *proton*. Ce nom a été donné en 1920 par Rutherford, lors d'une réunion de la British Association for the Advancement of Science, à Cardiff (Rutherford avait également proposé *prouton* en l'honneur de William Prout qui, au siècle précédent, était persuadé que chaque élément était fabriqué à partir d'un élément primordial apparenté à l'hydrogène. Mais c'est le mot *proton* qui s'est imposé avec le temps.

Rutherford essayait de comprendre comment des électrons négatifs pouvaient être associés à des électrons positifs dans le noyau. Il postula l'existence d'une particule neutre, qu'il nomma *neutron*, au Conseil Solvay d'avril 1921, à Bruxelles. C'était un objet étrange hautement spéculatif, une sorte d'atome neutre sans électron périphérique et dont l'unique électron serait emprisonné dans le noyau (Fernandez, p. 204).

Il faut attendre 1932 pour que James Chadwick, au Cavendish Laboratory, découvre cette particule imaginée par Rutherford dix ans plus tôt, et que son équipe ne cessait de rechercher. Chadwick découvrit le neutron en refaisant les expériences récemment publiées d'Irène et Frédéric Joliot-Curie (le 17 janvier). Ceux-ci avaient détecté un rayonnement supplémentaire lors d'une étude du bombardement du béryllium par des particules  $\alpha$ . Ils supposèrent que ce rayonnement était constitué d'hydrogène, sans l'analyser. Quand Chadwick lut leur mémoire, il sursauta, et en parla avec Rutherford : " Naturellement, Rutherford pensait qu'il fallait accorder crédit aux observations ; l'interprétation était une tout autre affaire ", écrit-il (Fernandez, p. 272). En effet, pour Chadwick, le rayonnement observé par les Joliot-Curie ne pouvait être constitué que de neutrons, particules tant attendues dans son laboratoire. Chadwick se mit au travail nuit et jour, et refit les expériences. Le 17 février, il envoya à la revue *Nature* une lettre intitulée " Existence possible d'un neutron ". Il y confirme les résultats des Joliot-Curie, mais propose une autre interprétation. Les Joliot-Curie, entre autres, montrèrent que la masse de cette nouvelle particule est peu ou prou égale à la somme des masses d'un électron et d'un proton, confortant l'hypothèse de sa nature.

Après la découverte du neutron, une nouvelle théorie du noyau devenait nécessaire.

Quid de l'électron positif ? Il est découvert par C. D. Anderson, en Californie, au laboratoire de Millikan, le 2 août 1932. et nommé *positon* (en français) ou *positron* (en anglais). Les Joliot-Curie, poursuivant leurs recherches, découvrent la radioactivité artificielle avec émission de positons, le 11 janvier 1934.

Danièle Fauque

### Sources bibliographiques

Millikan, Robert Andrews, *L'électron*, traduction d'Adolphe Lepape (Paris, F. Alcan, 1926).

Fernandez, Bernard, *De l'atome au noyau, une approche historique de la physique atomique et de la physique nucléaire* (Paris, Ellipses, 2006).

Radvanyi, Pierre, et Bordry, Monique, *La radioactivité artificielle et son histoire* (Paris, Seuil, 1984), coll. Points Sciences, n°S42.

## DOCUMENT POUR L'ÉLÈVE

Ce texte est extrait du livre célèbre de Jean Perrin, *Les atomes*, publié la première fois en 1913. Il a été de nombreuses fois réédité depuis. En 1970, dans la présentation de l'ouvrage, son fils, Francis, lui aussi physicien réputé, rappelle le contexte scientifique de cette publication.

Dans ce livre, Jean Perrin, montre l'accord de méthodes profondément différentes développées vers la même époque pour atteindre les grandeurs atomiques absolues. Il apporte ainsi la preuve

de la réalité des atomes et des molécules, réalité qui était alors contestée par d'éminents hommes de science, qui, invoquant un positivisme rigoureux, estimaient qu'il fallait rejeter hors de la science la notion même des structures inaccessibles à notre perception.

### Les ions : hypothèse d'Arrhénius (texte le plus accessible pour les élèves)

Il s'agissait de comprendre pourquoi une solution aqueuse, une eau salée par exemple, conduit le courant (elle est un exemple de solution « anormale\* », puisqu'une eau sucrée ne conduit pas le courant, ou très très faiblement). Il fallait admettre la dissociation totale de NaCl en « atomes libres Na et Cl ». *« Et c'est bien ce qu'osa soutenir avec une hardiesse géniale, un jeune homme de vingt-cinq ans, Arrhénius (1887). Cette idée parut déraisonnable à beaucoup de chimistes, et cela est bien curieux, car, ainsi qu'Oswald le remarqua aussitôt, elle était en réalité profondément conforme aux connaissances qui leur étaient le plus familières, et à la nomenclature binaire employée pour les sels : que tous les chlorures dissous aient en commun certaines réactions quel que soit le métal associé au chlore, cela se comprend très bien si dans toutes les solutions existe une même sorte de "molécules," qui ne peut être que "l'atome" de chlore. (...) Sans se préoccuper de cet argument, les adversaires d'Arrhénius trouvaient absurde qu'on pût supposer des atomes de sodium libres dans l'eau. (...). Arrhénius répondait à ces objections en s'appuyant sur le fait que les solutions "anormales\*" conduisent l'électricité. Cette conductibilité s'explique si les "atomes" Na et Cl que donne par dissociation une "molécule" de sel sont chargées d'électricités contraires. Plus généralement, toute molécule d'un électrolyte peut de même se dissocier en atomes (ou groupes d'atomes) chargés électriquement, que l'on appelle des ions ; On admet que tous les ions d'une même sorte, tous les ions Na par exemple d'une solution de NaCl, portent exactement la même charge (forcément égale à celle que porte l'un des ions Cl de l'autre signe, sans quoi l'eau salée se serait pas dans son ensemble électriquement neutre, comme elle l'est). (...). Si l'on plonge dans l'eau salée une électrode positive et une électrode négative, les ions positifs seront attirés vers l'électrode négative ou cathode, les ions négatifs chemineront de même vers l'électrode positive ou anode. Un double courant de matière en deux sens opposés accompagnera donc le passage de l'électricité. Au contact des électrodes, les ions pourront perdre leur charge, et prendre du même coup d'autres propriétés chimiques. Car un ion qui diffère par sa charge de l'atome (ou du groupe d'atomes) correspondant, peut ne pas avoir du tout les mêmes propriétés chimiques. (p. 73-75).*

\* remarque pour l'enseignant : « anormales » : Il s'agit de solutions qui ont un effet osmotique élevé et sont dans le même temps de bons conducteurs d'électricité (solutions d'électrolytes forts). Or les solutions aqueuses des électrolytes (particulièrement, les électrolytes forts, et nous savons pourquoi aujourd'hui) échappent aux lois de Raoult (abaissement du point de congélation de l'eau beaucoup plus important que pour des solutions de molécules organiques ou d'électrolytes faibles), par exemple, voir à cet effet la différence de comportement entre une eau sucrée et une eau salée). En ce sens elles sont "anormales".

L'observation d'Arrhénius impliquait qu'il y avait plus de particules chargées que de "molécules" de sel en solution. Les "anomalies" s'expliquent par le fait que toutes les particules (molécules et ions) se comportent comme des molécules entières et interviennent dans les lois des solutions (Raoult, 1883-1885). Ces particules ne pouvaient venir que de la dissociation en solution des "molécules" de sel, phénomène existant même hors du circuit électrique d'électrolyse (on pensait généralement que les ions se formaient uniquement au moment de l'électrolyse). Pour les élèves, on peut supprimer le mot "anormales", car je suppose qu'ils ignorent ce qu'est la pression osmotique, ou leur dire que l'on considérerait alors les solutions électrolytiques comme semblables à l'eau sucrée, c'est-à-dire où les molécules ont seulement été séparées par l'action de l'eau. Que justement cette anomalie n'en sera plus une quand on aura compris que le cristal en l'occurrence NaCl ici aura été dissocié dès sa mise dans l'eau. En quelque sorte, la conclusion de l'extrait proposé permet l'explication de ce mot "anormales". On pourrait d'ailleurs en faire l'objet d'une question.

## "Première idée d'une charge élémentaire minimum"

*"Nous venons d'admettre que tous les ions Cl de l'eau salée ont la même charge, et nous avons attribué à l'existence de cette charge la différence des propriétés chimiques entre l'atome et l'ion. Considérons maintenant, au lieu d'une solution de chlorure de sodium, une solution de chlorure de potassium. Les propriétés chimiques dues aux ions chlore (précipitation par le nitrate d'argent...), se retrouvent les mêmes. Les ions chlore du chlorure de potassium sont donc probablement identiques à ceux du chlorure de sodium et ont donc la même charge. Comme les solutions sont neutres, les ions sodium et potassium ont aussi la même charge prise avec un signe contraire. On serait ainsi conduit de proche en proche à penser que tous les atomes ou groupes monovalents d'atomes (...) portent quand ils deviennent libres sous forme d'ions la même charge élémentaire e, positive ou négative. (...) Par là, se trouve mise en évidence une relation importante entre la valence et la charge des ions : chaque valence brisée dans un électrolyte correspond à l'apparition d'une charge toujours la même sur les atomes que reliait cette valence. Du même coup, la charge d'un ion doit toujours être un multiple exact de cette charge élémentaire invariable, véritable **atome d'électricité**.*

*Ces présomptions sont en complet accord avec les connaissances que nous donne l'étude précise de l'électrolyse". (p. 76-77)*

*"Les propriétés des électrolytes suggèrent l'existence d'une charge électrique indivisible, nécessairement portée un nombre entier de fois par chaque ion".*

## Les corpuscules de J. J. Thomson d'après Jean Perrin (1913)

*J.J. Thomson étudie les projectiles électrisés produits dans un tube de Crookes. Il suppose que ces projectiles provenant de la cathode, et dits cathodiques " sont toujours identiques et que chacun d'eux porte un seul atome d'électricité négative, et par suite est environ 1800 fois plus léger que le plus léger de tous les atomes. De plus, puisqu'on peut les produire aux dépens de n'importe quelle matière, c'est-à-dire aux dépens de n'importe quel atome, ces éléments matériels forment un constituant universel commun à tous les atomes ; Thomson a proposé de les appeler corpuscules. On ne peut considérer un corpuscule indépendamment de la charge négative qu'il transporte : il est inséparable de cette charge, il est constitué par cette charge. Incidemment, la haute conductibilité des métaux s'explique bien simplement, si l'on admet que certains au moins des corpuscules présents dans leurs atomes peuvent se déplacer sous l'action du plus faible champ électrique, passant d'un atome à l'autre, ou même s'agitant dans la masse métallique aussi librement que des molécules dans un gaz. Si nous nous rappelons à quel point la matière est vide et caverneuse cette hypothèse ne nous étonnera pas trop. (p. 241-242).*

Extraits de Jean Perrin, *Les atomes*, 1<sup>ère</sup> éd. 1913, rééd. 1970 (Paris, PUF).

### **Préparation du texte**

Le professeur pourra utiliser un des extraits, ou l'ensemble, proposés dans une démarche progressive de découverte de la structure ionique et de l'existence de l'électron. Pour chaque extrait, il faudra expliquer simplement aux élèves le contexte scientifique de l'époque : l'ignorance où l'on était de la véritable structure de la matière, la nécessité d'inventer des procédures et de monter des expériences pour vérifier les hypothèses proposées. En tenant compte des découvertes, faire sentir aux élèves la nécessité d'inventer aussi un vocabulaire adapté qui décrit bien les objets scientifiques étudiés ou découverts. Ici, le mot *électron* n'est pas mis en avant. Perrin préfère l'expression " atome d'électricité " tant que l'on n'a pas mis en évidence l'existence d'abord puis la singularité ensuite de la particule. Il rappelle également la proposition sémantique de Thomson qui parle de *corpuscule*. C'est seulement quelques années après que le mot *électron* tel que le définit Stoney est appliqué au corpuscule de Thomson.

De même l'acceptation de l'existence des particules chargées dans un électrolyte demande plusieurs années. Perrin le montre bien en ne nommant pas a priori les particules libérées lors de la dissociation d'un sel dans l'eau. Ce n'est qu'après avoir expliqué à son lecteur et l'avoir amené à comprendre ce qui se passe dans la solution qu'il propose le mot d'*ion* (Le mot avait été proposé par Faraday pour caractériser les particules chargées qui intervenaient au moment de

l'électrolyse ; il a également proposé les mots : cathode, anode, cation et anion, vers 1833-34). L'écriture ionique avec le signe de la charge en haut à droite est encore loin d'être proposée, d'où l'écriture qui apparaît dérangement ici, mais qui sera l'objet d'une explication, ou d'une proposition du professeur. Ce dernier amènera l'élève à proposer une écriture pour différencier l'atome tout court de l'atome chargé qu'il appellera alors ion.

Danièle Fauque

## ANNEXE B' 2. Brève histoire des phénomènes électromagnétiques (1820-1831)

Sur ce thème, Danièle FAUQUE propose un document destiné aux professeurs. Ce document se trouve sur le site de l'académie de Paris (<http://physique.scola.ac-paris.fr/>).

## ANNEXE B' 3. L'utilisation de l'alternateur pour la production industrielle d'électricité

Étude de document à support historique - J. Jandaly  
**Texte destiné aux professeurs**

En 1831, l'Anglais Michael Faraday découvre le phénomène d'induction en déplaçant un aimant par rapport à un circuit. Dès lors, on sait convertir l'énergie mécanique en énergie électrique. Dès 1832, Ampère fait construire par son compatriote Hippolyte Pixii une machine à manivelle faisant tourner un aimant en U (inducteur) devant deux bobines (induit), produisant ainsi un courant alternatif. Adjoignant ensuite à sa machine un « commutateur d'Ampère », Pixii produit un courant continu.

Différents perfectionnements sont apportés par la suite aux générateurs électriques. Ainsi l'Anglais Edward Clarke construit une machine à induit mobile (l'aimant est fixe). En 1864, l'Italien Antonio Pacinotti conçoit un induit mobile en forme d'anneau doté d'un collecteur. En 1866, L'Allemand Werner von Siemens construit une dynamo dans laquelle les aimants inducteurs sont remplacés par des électroaimants alimentés par la machine elle-même, et l'induit est constitué d'enroulements sur un tambour, disposition toujours adoptée actuellement. En 1871, le Belge Zénobe Gramme fait construire une machine entraînée par un moteur à vapeur, dont on peut dire qu'elle est la première à pouvoir produire industriellement de l'électricité.

On voit que, dès les années 1870, on est capable de **produire** industriellement aussi bien du courant continu que du courant alternatif (à cette époque cependant, la préférence va très nettement au courant continu : la machine de Gramme, par exemple, est à courant continu). Mais la difficulté se situe au niveau du **transport**: la tension chute rapidement à mesure que la longueur de la ligne augmente.

La fin du XIX<sup>e</sup> siècle va voir se livrer une lutte sévère entre tenants du courant continu et tenants du courant alternatif pour la production industrielle.

En 1881, une grande exposition est organisée à Paris pour présenter les différents appareils capables de produire, de transporter et d'utiliser l'électricité. Elle accueille près d'un million de visiteurs.

Le Français Marcel Deprez est un partisan du courant continu. Les expériences qu'il mène successivement (liaison La Chapelle-Le Bourget en 1883, puis La Chapelle-Creil en 1885 par exemple) ne donnent pas les résultats escomptés. Pendant ce temps, son compatriote Lucien Gaulard défend le courant alternatif. En 1883, il dépose avec l'Anglais John Dixon Gibbs le brevet d'un appareil qui sera appelé plus tard « transformateur » ; le rendement annoncé est de 90 %. Face aux critiques des tenants du courant continu, Gaulard installe avec succès en 1884, à l'occasion de l'exposition d'électricité de Turin, une ligne de 80 km entre Turin et Lanzo. Le **courant alternatif** l'emporte, en France du moins, car, aux États-Unis, le courant continu possède un solide défenseur en la personne d'Edison !

En 1885, l'Italien Galileo Ferraris montre que des courants alternatifs polyphasés peuvent créer un champ magnétique tournant. En 1888, le Croate Nikola Tesla construit sur ce principe un moteur triphasé.

Dans toute l'Europe et aux États-Unis, de nombreux constructeurs se livrent une

concurrence sévère dans le domaine de la construction d'appareils électriques, et en particulier de générateurs.

En 1913, le réseau français de distribution est encore très morcelé : la production est faite par un grand nombre de petites usines, et le courant distribué sur des distances assez faibles ; à cette date, seules 6000 communes, sur 36000 environ, sont équipées.

Après la Première Guerre mondiale, commence l'interconnexion des réseaux. En 1920 sont construites les premières lignes reliant la Suisse, l'Italie, l'Allemagne avec la France.

En 1936, la plupart des communes de France reçoivent l'électricité.

En avril 1946, une grande part des usines de production et des réseaux de distribution sont regroupés dans la société nationale électricité de France.

### **Texte destiné aux élèves**

Remarque : en même temps que ce texte, on peut présenter aux élèves différentes illustrations de machines d'époque [voir le site du musée des Arts et métiers de Paris (<http://www.arts-et-metiers.net/>) et le site du musée de l'électricité de Mulhouse (<http://www.electropolis.tm.fr/>)].

En 1831, l'Anglais Michael Faraday découvre le phénomène d'induction, c'est-à-dire la création d'un courant par un aimant mobile. Dès lors on sait convertir l'énergie mécanique en énergie électrique. Dès 1832, Ampère fait construire par son compatriote Hippolyte Pixii une machine à manivelle faisant tourner un aimant en U (inducteur) devant deux bobines (induit), produisant ainsi un courant alternatif. Adjoignant ensuite à sa machine un « commutateur d'Ampère », Pixii produit un courant continu.

Ensuite, les physiciens améliorent la qualité et la puissance des générateurs électriques. Par exemple, ils remplacent les aimants par des électroaimants : ce sont des bobines parcourues par un courant électrique qui se comportent comme des aimants, mais avec un champ magnétique qui peut être très fort si la bobine comporte beaucoup de spires et si l'intensité du courant est élevée.

En 1871, le Belge Zénobe Gramme fait construire une machine entraînée par un moteur à vapeur, dont on peut dire qu'elle est la première à pouvoir produire industriellement de l'électricité.

En 1881, une grande exposition est organisée à Paris pour présenter les différents appareils capables de produire, de transporter et d'utiliser l'électricité. Elle accueille près d'un million de visiteurs. On y voit aussi bien des générateurs de courant alternatif que des générateurs de courant continu, même si ces derniers ont la faveur des utilisateurs de l'époque (la machine de Gramme, par exemple, est à courant continu). Cependant, tous les constructeurs rencontrent des difficultés importantes pour transporter l'énergie électrique : en effet la tension chute rapidement à mesure que la longueur de la ligne augmente, à cause des pertes par effet Joule.

C'est entre les années 1880 et 1890 qu'est découvert un appareil appelé « transformateur ». Cet appareil, qui ne fonctionne qu'en courant alternatif, permet à volonté d'élever ou d'abaisser la tension électrique. Cela est très intéressant car, pour une énergie transportée donnée, plus la tension est élevée, plus les pertes par effet Joule sont réduites. Le transformateur assure le succès du courant alternatif face au courant continu.

Le domaine de la construction d'appareils électriques, et en particulier de générateurs, est devenu un enjeu économique majeur : dans toute l'Europe et aux États-Unis, de nombreux constructeurs se livrent une concurrence sévère. C'est au début du XX<sup>e</sup> siècle qu'apparaissent sur le marché la plupart des appareils électriques ménagers : grille-pain, fer à repasser, machine à coudre, ventilateur, sonnette, etc.

En 1913, le réseau français de distribution est encore très morcelé : la production est faite par un grand nombre de petites usines, et le courant distribué sur des distances assez faibles ; à cette date, seules 6000 communes, sur 36000 environ, sont équipées.

En 1936, la plupart des communes de France reçoivent l'électricité.



En avril 1946, une grande part des usines de production et des réseaux de distribution sont regroupés dans la société nationale électricité de France.

**•Questions niveau 1 (réponses dans le texte)**

–Quel est l'avantage des électroaimants sur les aimants ?

–Pourquoi le transformateur\* assure-t-il le succès du courant alternatif face au courant continu ?

–À l'époque de la Première Guerre mondiale, l'électricité était-elle distribuée dans toute la France ?

**•Questions niveau 2  
(réponses à chercher dans une encyclopédie)**

–Combien de temps s'est-il écoulé entre la découverte de la pile par Volta et la mise au point de la machine de Pixii ? (Réponse : pile de Volta en 1800, donc environ trente ans.)

–On nous dit que les générateurs transforment l'énergie mécanique en énergie électrique. D'où peut provenir cette énergie mécanique ?

(Réponse: des chutes d'eau des barrages, ou de la vapeur d'eau dans les centrales thermiques.)

–Quels sont les appareils cités dans le texte qui transforment l'énergie électrique en énergie mécanique ?

(Réponse: les appareils comportant un moteur, tels les machines à coudre, les ventilateurs.)

–Parmi les appareils électriques ménagers cités dans le texte, quels sont ceux dans lesquels l'effet Joule est mis à profit ?

(Réponse: grille-pain, fer à repasser.)

–Parmi les appareils électriques ménagers cités dans le texte, quels sont ceux dans lesquels l'effet magnétique est mis à profit ?

(Réponse: les appareils à moteur déjà cités, les transformateurs, les sonnettes.)

\* rappel : l'étude du transformateur n'est pas au programme mais ce texte permet de répondre à d'éventuelles questions d'élèves.

## ANNEXE B' 4. L'alimentation électrique des trains

Voir le [site](#) de l'académie de Paris

## ANNEXE C' : les TIC et le B2i

### ANNEXE C'1. Contributions de la physique-chimie au B2i – domaine 3

Des exemples (**voir le fichier « *contributions de la physique-chimie au B2i – domaine 3.xls* »**), élaborés par G. Denis de l'académie de Paris, utilisent le tableur-grapheur. Ils concernent :

- poids et masse d'un objet ;
- vitesse d'une goutte ;
- distance d'arrêt d'un véhicule ;
- tension aux bornes d'un GBF.

### ANNEXE C'2. Recherche documentaire : à propos de Volta

Une recherche documentaire, à propos de Volta et la découverte de la pile, est proposée sur le site de l'académie de Paris (<http://physique.scola.ac-paris.fr/>). Elle exploite une ressource disponible sur le site [http://www.academie-sciences.fr/membres/in\\_memoriam/Volta/Volta\\_oeuvre.htm](http://www.academie-sciences.fr/membres/in_memoriam/Volta/Volta_oeuvre.htm)

## ANNEXE C'3. SDTICE

### Des ressources numériques et des usages des TIC pour l'enseignement des sciences physiques et chimiques fondamentales et appliquées

par Christine TRABADO

Sous - direction des technologies de l'information et de la communication pour l'éducation

On trouvera ci-après :

- des ressources numériques (des produits reconnus d'intérêt pédagogique, des logiciels libres sur le SIALLE, des ressources audiovisuelles) ;
- des usages des TIC (indexés dans la banque de pratiques académiques EDU'Bases physique-chimie) ;
- des pistes d'activités pour le B2i ;
- une lettre d'information professionnelle TIC'Edu.

## I. Des ressources numériques

### 1) La marque "Reconnu d'Intérêt pédagogique" (RIP)



La marque RIP, destinée à guider les enseignants dans le monde du multimédia pédagogique, est présentée sur le site Educnet :

<http://www2.educnet.education.fr/sections/contenus/rip/>

On y trouve aussi la liste des produits RIP en sciences physiques

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

ainsi que des tutoriels permettant une prise en main rapide de quelques logiciels :

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

### 2) **SIALLE** (Service d'Information et d'Analyse des Logiciels Libres Éducatifs)

Le SIALLE propose une sélection de logiciels libres destinés à la communauté éducative, à télécharger et à évaluer.

<http://www.sialle.education.fr/accueil.php>

### 3) **Ressources audiovisuelles**

#### ➤ Quelques adresses

Pour découvrir et suivre l'actualité des ressources audiovisuelles libres de droits pour une utilisation en classe le site Educnet propose l'adresse de quelques sites

<http://www2.educnet.education.fr/contenus/avmm?affdoc=1>

#### ➤ Le site.tv

Le site.tv, réservé aux établissements scolaires, propose aux enseignants, documentalistes et élèves d'accéder à la demande et d'utiliser, en classe ou au CDI, des séquences audiovisuelles éducatives courtes.

Pour être utilisateur du service, un établissement scolaire ou sa collectivité locale de tutelle (ville, département ou région) doit souscrire un abonnement.

L'adresse du site est : <http://www.lesite.tv/>

Des extraits des vidéos sont accessibles hors abonnement.

Par exemple Energie : centrale électrique

<http://www.lesite.tv/index.cfm?nr=2&ne=2&d=171&n=123&p=507&f=0435.0098.00>

- Curiosphere.tv

Curiosphere, TV éducative en libre accès sur le Web, met les ressources vidéos de France 5 et de ses partenaires au centre de son offre.

<http://www.curiosphere.tv/>

## **II. Des usages des TIC**



EDU'bases

Des activités pédagogiques impliquant l'usage des TIC sur différents thèmes du programme ont été conçues, expérimentées en classe, et mises en ligne sur des sites académiques puis indexées dans la banque nationale EDU'bases Physique-Chimie

Comment effectuer une recherche dans EDU'bases Physique-Chimie ?

- Soit par une recherche préformatée en cliquant à partir d'un niveau d'enseignement sur l'un des intitulés des différentes parties du programme :  
<http://www2.educnet.education.fr/sections/phy/pratiques/college/troisieme>
- Soit par une recherche générale. Voir :  
<http://www2.educnet.education.fr/sections/phy/pratiques/edubasepc/>

## **III. Des pistes d'activités pour mettre en œuvre le B2i** ® (Brevet informatique et Internet)



- Un formulaire de recherche permet d'accéder à des fiches d'activités mettant en œuvre des compétences du B2i au cours d'activités pédagogiques en sciences physiques.  
<http://www2.educnet.education.fr/sections/phy/b2i>
- On trouvera aussi des pistes d'activités classées :  
par domaine du B2i  
<http://www2.educnet.education.fr/sections/phy/b2i/pistes-domaine>  
par niveau d'enseignement  
<http://www2.educnet.education.fr/sections/phy/b2i/pistes-niveau>

## **VI. Une lettre d'information professionnelle TIC'Edu**



TIC'Edu

En collaboration avec l'IGEN (Inspection générale de l'éducation nationale), la SDTICE propose une lettre d'information TICE spécifique à chaque discipline.

Les lettres TIC'Edu physique-chimie sont consultables à l'adresse suivante :

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

## ANNEXE D' : la liaison collège-lycée

<b>C h i m i e</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'eau dans notre environnement.</li> <li>- Mélanges aqueux : homogènes et hétérogènes.</li> <li>- Mélanges homogènes et corps purs.</li> <li>- Les états physiques de l'eau.</li> <li>- Propriétés spécifiques de chaque état.</li> <li>- Cycle de l'eau.</li> <li>- Mesures de masse et de volume.</li> <li>- Changements d'état de l'eau.</li> <li>- L'eau est un solvant.</li> <li>- <b>L'augmentation de la température d'un corps pur nécessite un apport d'énergie.</b></li> <li>- <b>La fusion et la vaporisation d'un corps pur nécessitent un apport d'énergie.</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Composition de l'air.</li> <li>- Volume et masse de l'air.</li> <li>- Compressibilité de l'air.</li> <li>- Une description moléculaire pour comprendre.</li> <li>- Combustions du carbone, du méthane ou du butane.</li> <li>- <b>Les combustions du carbone et du méthane (ou du butane) libèrent de l'énergie.</b></li> <li>- Réactifs et produits.</li> <li>- Danger des combustions incomplètes.</li> <li>- Les atomes et la transformation chimique.</li> <li>- Symboles de quelques atomes et formules de quelques molécules.</li> <li>- Ecriture des équations de réaction.</li> <li>- Conservation des atomes et de la masse au cours d'une transformation chimique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilisation des métaux dans la vie quotidienne.</li> <li>- L'électron et la conduction électrique dans les métaux.</li> <li>- L'ion et la conduction électrique dans les solutions aqueuses.</li> <li>- Constituants de l'atome : noyau et électrons.</li> <li>- Test de reconnaissance de quelques ions.</li> <li>- Acidité et pH des solutions aqueuses.</li> <li>- Réaction entre l'acide chlorhydrique et le fer.</li> <li>- Une pile électrochimique : réaction entre les ions cuivre II et le zinc.</li> <li>- <b>les espèces chimiques présentes dans une pile contiennent de l'énergie chimique dont une partie est transférée sous d'autres formes d'énergie lorsqu'elle fonctionne.</b></li> <li>- <b>L'énergie mise en jeu dans une pile provient d'une réaction chimique.</b></li> </ul> <p>- Synthèses de l'arôme de banane (espèce chimique existant dans la nature) et du nylon ou d'un savon (espèce chimique n'existant pas dans la nature).</p>
<b>M é c a n i q u e</b>			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Présentation succincte du système solaire.</li> <li>- Action attractive à distance exercée par le Soleil sur les planètes ...</li> <li>- Notion de gravitation.</li> <li>- Poids et masse d'un corps : unités et relation <math>P = m.g</math></li> <li>- Energies mécanique, de position, de mouvement appelée énergie cinétique.</li> <li>- <b>Un objet possède :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>une énergie de position au voisinage de la Terre ;</b></li> <li>- <b>une énergie de mouvement appelée énergie cinétique.</b></li> </ul> </li> <li>- <b>La somme de ses énergies de position et cinétique constitue son énergie mécanique.</b></li> <li>- <b>La relation donnant l'énergie cinétique d'un solide en translation est : <math>E_c = \frac{1}{2} m.v^2</math></b></li> </ul> <p>- <b>Conservation de l'énergie au cours d'une chute.</b></p> <p>- <b>Energie cinétique et sécurité routière.</b></p>
<b>L u m i è r e</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sources de lumière.</li> <li>- Entrée de la lumière dans l'œil.</li> <li>- Diffusion de la lumière.</li> <li>- Propagation rectiligne.</li> <li>- Modèle du rayon de lumière et du faisceau de lumière.</li> <li>- Ombre propre, ombre portée et cône d'ombre.</li> <li>- Système Soleil – Terre – Lune.</li> <li>- Phases de la Lune, éclipses.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Décomposition de la lumière blanche.</li> <li>- Utilisation de filtres colorés.</li> <li>- Synthèse additive des couleurs.</li> <li>- Couleur des objets en lumières colorées.</li> <li>- Obtention d'une image à l'aide d'une lentille mince convergente.</li> <li>- <b>En absorbant de la lumière, la matière reçoit de l'énergie.</b></li> <li>- <b>Une lentille mince convergente concentre, pour une source éloignée, l'énergie lumineuse en son foyer.</b></li> <li>- Foyer et distance focale.</li> <li>- L'œil : la vision, la correction des défauts de l'œil.</li> <li>- Vitesse de la lumière.</li> <li>- Ordres de grandeur de distances et de durées de propagation de la lumière dans l'Univers.</li> </ul>	
<b>É l e c t r i c i t é</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Circuits électriques simples : réalisation et schématisation.</li> <li>- Sens conventionnel du courant.</li> <li>- Conducteurs et isolants.</li> <li>- Circuit électrique en boucle simple (en série)</li> <li>- Circuit électrique comportant des dérivations. - Court-circuit.</li> <li>- Un générateur transfère de l'énergie électrique à chacun des dipôles placés en série.</li> <li>- Une photopile convertit de l'énergie lumineuse en énergie électrique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intensité et tension : deux grandeurs électriques issues de la mesure.</li> <li>- Unités de mesures de l'intensité et de la tension.</li> <li>- Utilisation d'un ampèremètre et d'un voltmètre.</li> <li>- Lois d'unicité de l'intensité dans un circuit en série et d'additivité de l'intensité dans un circuit comportant des dérivations.</li> <li>- Lois d'additivité des tensions dans un circuit en série et d'égalité des tensions aux bornes de deux dipôles en dérivation.</li> <li>- Influence d'une résistance dans un circuit électrique en série.</li> <li>- <b>Le générateur fournit de l'énergie à une résistance qui la transfère sous forme de chaleur.</b></li> <li>- Loi d'Ohm.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Production d'énergie électrique : l'alternateur.</li> <li>- Tension continue et tension alternative périodique.</li> <li>- Valeur maximale, période et fréquence.</li> <li>- Oscilloscope ou interface d'acquisition : instrument de mesures de tension et de durée.</li> <li>- Voltmètre en tension sinusoïdale : valeur efficace.</li> <li>- Puissance et énergie électriques : unités, relations <math>P = U.I</math> et <math>E = P.t</math></li> <li>- <b>L'énergie reçue par l'alternateur est convertie en énergie électrique.</b></li> <li>- <b>Distinction entre les sources d'énergie renouvelables ou non.</b></li> <li>- <b>L'énergie électrique E transférée pendant une durée t à un appareil de puissance nominale P est donnée par la relation : <math>E = P.t</math></b></li> </ul>
	<b>Classe de cinquième</b>	<b>Classe de quatrième</b>	<b>Classe de troisième</b>

En caractère gras les acquis relatifs à l'énergie