

**République du Bénin**

\*\*\*\*

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SECONDAIRE, DE LA FORMATION  
TECHNIQUE ET PROFESSIONNELLE, DE LA RECONVERSION ET DE L'INSERTION DES JEUNES

\*\*\*\*\*

# **GUIDE DU PROGRAMME D'ETUDES PAR COMPÉTENCES**

***PHYSIQUE-CHIMIE-  
TECHNOLOGIE***

**CLASSE DE TERMINALE D  
VERSION REVISEE**

**DIRECTION DE L'INSPECTION PEDAGOGIQUE**

Porto - Novo. Juin 2011

**République du Bénin**

\*\*\*\*

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SECONDAIRE, DE LA FORMATION  
TECHNIQUE ET PROFESSIONNELLE, DE LA RECONVERSION ET DE L'INSERTION DES JEUNES

\*\*\*\*\*

# **GUIDE DU PROGRAMME D'ETUDES PAR COMPETENCES**

***PHYSIQUE-CHIMIE-  
TECHNOLOGIE***

**CLASSE DE TERMINALE D  
VERSION REVISEE**

**DIRECTION DE L'INSPECTION PEDAGOGIQUE**

Porto - Novo. Juin 2011

# **SOMMAIRE**

CONTENUS NOTIONNELS

ORIENTATIONS GENERALES

S.A.1 : CHAMPS DE FORCES ET INTERACTIONS

ANNEXES DE LA S.A.1 :

S.A.2 : CHIMIE DES SOLUTIONS AQUEUSES

ANNEXES DE LA S.A.2

S.A.3 : LES OSCILLATIONS MECANIQUES ET ELECTRIQUES

ANNEXES DE LA S.A.3

S.A.4 : CHIMIE ORGANIQUE

ANNEXES DE LA S.A.4

S.A.5 : OPTIQUE

ANNEXES DE LA S.A.5

S.A.6 : PHYSIQUE ATOMIQUE ET NUCLEAIRE

ANNEXES DE LA S.A.6

# **ORIENTATIONS GENERALES**

Le présent document est la version révisée du guide du programme d'études de SPCT des classes de Terminale D des collèges et lycées en République du Bénin.

C'est un ensemble de conseils, d'informations et d'activités permettant à l'enseignant(e) une mise en œuvre aisée du programme d'études

## I / ORIENTATIONS GENERALES

### A / Première partie

#### ➤ **OBJECTIFS DU GUIDE**

Ce document d'accompagnement du programme d'études de sciences physique chimique et de technologie des classes de Terminales C et E a pour objectifs principaux :

- d'aider l'enseignant(e) à exécuter convenablement le programme d'études desdites classes,
- de fournir une source d'informations scientifiques sur les contenus notionnels relatifs au programme,
- d'aider l'enseignant(e) à bien préparer et exécuter sa classe en lui fournissant des outils utiles et nécessaires,
- de développer chez l'enseignant(e) des innovations pédagogiques,
- d'appuyer les éléments de réflexion sur la pédagogie de l'enseignement des sciences physique chimique et de technologie.

#### ➤ **STRUCTURE ET CONTENU**

Ce guide est structuré de la façon suivante :

## INTRODUCTION

### I / ORIENTATIONS GENERALES :

#### A / Première partie :

- Objectifs du guide
- Structure et contenu
- Démarches d'enseignement/apprentissage
- Mode d'emploi (ou mode d'utilisation)

#### B / Deuxième partie :

- Stratégies d'enseignement/apprentissage
- Méthode et technique
- Compétences
- Généralités sur les situations d'apprentissage

### II / SITUATION D'APPRENTISSAGE N° .....

## ANNEXES

#### ➤ **DEMARCHES D'ENSEIGNEMENT / APPRENTISSAGE :**

De nos jours, la didactique des sciences et celle étudiée en psychologie cognitive recommandent que l'apprentissage soit centré sur l'apprenant et non sur les contenus notionnels

des programmes d'études. L'apprenant doit donc être le principal artisan, voire le responsable de la construction de son savoir.

Les nouveaux programmes d'études, programmes par compétences, visent à développer chez l'apprenant des compétences disciplinaires, transversales et transdisciplinaires. A cet effet, l'apprenant qui a acquis ces compétences à travers des connaissances notionnelles et techniques, des stratégies à la suite d'une démarche active de l'esprit, est supposé capable d'en faire usage dans la vie courante.

Si selon Bachelard “*la connaissance scientifique vient se substituer à une représentation initiale que l'apprenant avait d'un objet*”, c'est dire que cette connaissance scientifique ne vient pas remplir alors un vide dans l'esprit de cet apprenant. Quel que soit donc son niveau, l'apprenant a toujours une représentation initiale d'un objet donné, représentation que l'enseignant(e) doit chercher à faire émerger au début du déroulement de toute situation d'apprentissage.

Aider l'apprenant à construire son savoir, à partir de sa représentation initiale d'un objet pour accéder à une ou des représentation(s) plus rationnelle(s) et plus opérationnelle(s), c'est adopter une démarche enseignement/apprentissage rigoureuse et cohérente.

“*En sciences physique et chimique, l'enseignement ne doit pas se limiter à former des physiciens et des chimistes mais à :*

- développer chez l'apprenant des éléments d'une culture scientifique
- former des esprits à la rigueur, à la méthode scientifique, à la critique, à l'honnêteté intellectuelle à travers la démarche expérimentale
- former le citoyen consommateur au bon usage des produits chimiques qu'il est amené à utiliser dans sa vie quotidienne, ce qui le conduit à l'apprentissage de la sécurité, de la sauvegarde de la santé, au respect de l'environnement”.

Pour bien jouer son rôle, l'enseignant(e) doit :

☞ **préparer convenablement sa classe en :**

- identifiant le sujet objet d'apprentissage
- se documentant sur le sujet objet d'apprentissage (programme d'études officiel, guide, manuels en vigueur, tous autres documents traitant du sujet objet d'apprentissage)
- s'inspirant des activités proposées dans le guide pour en élaborer au besoin d'autres en tenant compte des réalités concrètes des milieux de vie et de travail des apprenants
- apprêtant le matériel ou/et document(s) nécessaire(s). Ces outils de travail devant être en nombre suffisant et sans danger pour les utilisateurs. L'enseignant(e) peut solliciter l'aide des apprenants pour les apprêter.
- testant ce matériel par la réalisation des activités à proposer aux apprenants.

☞ **favoriser la participation effective et active des apprenants pendant l'exécution des activités d'apprentissage en :**

- proposant aux apprenants une situation de départ qui tient compte d'une réalité concrète et/ou d'un vécu quotidien et pour laquelle la tâche et les consignes sont clairement définies, permettant ainsi aux apprenants de :
  - faire part des représentations initiales qu'ils ont d'elle,
  - dégager la situation-problème
- suscitant et facilitant entre les apprenants des échanges sur leurs représentations initiales
- les invitant à travailler dans une franche collaboration et dans un respect mutuel.

☞ **conduire les apprenants individuellement ou / et en groupe à suivre une démarche scientifique dans la phase de la réalisation.**

Par exemple : l'apprenant aura à :

**\* en physique et chimie**

- réaliser et faire fonctionner un montage, observer, collecter des données, analyser ou exploiter des données, tirer une conclusion ou une loi, dégager l'impact de la situation-problème sur l'environnement
- ou exploiter un document, collecter des données, analyser ou exploiter ces données, tirer une conclusion ou une loi, dégager l'impact de la situation-problème sur l'environnement

**\* en technologie**

- observer, concevoir, collecter le matériel nécessaire à la fabrication d'un objet technologique, fabriquer, tester et améliorer au besoin un objet technologique
  - ou observer, exploiter les notices des appareils à utiliser ou / et recueillir des informations sur leur utilisation (caractéristiques, mode d'emploi...), utiliser, ranger
  - ou observer, exploiter la notice de l'appareil à réparer s'il y a lieu, identifier la panne, réparer, tester, améliorer au besoin.

☞ aider les apprenants à exploiter en séance plénière les productions des groupes pour parvenir à une synthèse ;

☞ faire noter, au moment opportun, l'essentiel par les apprenants ;

☞ inciter et encourager les apprenants à objectiver les savoirs acquis et les réinvestir dans d'autres tâches de la vie courante ;

☞ évaluer les apprentissages et procéder à une remédiation si nécessaire.

**➤ MODE D'EMPLOI (ou D'UTILISATION)**

- Lire d'abord attentivement et comprendre les contenus de la rubrique "ORIENTATIONS GENERALES" ;
- Lire attentivement la Situation d'Apprentissage concernée pour s'imprégner de la démarche pédagogique utilisée ;
- Exploiter les activités ou / et expériences proposées pour préparer convenablement la classe en tenant compte du niveau des élèves et de leur milieu de vie.

**B / Deuxième partie**

**➤ STRATEGIES D'ENSEIGNEMENT / APPRENTISSAGE**

La mise en œuvre des différentes démarches constituant des stratégies d'enseignement /apprentissage préconisées par les nouveaux programmes d'études en général et notamment pour ceux des sciences physique et chimique et de technologie en particulier exige que l'apprenant(e) soit soumis à des stratégies privilégiées pour s'instruire, se former et s'éduquer. Au nombre de ces stratégies on peut citer : le travail individuel, le travail en groupe et le travail collectif.

**1. Stratégie de travail individuel**

L'acte d'enseignement / apprentissage étant centré sur l'apprenant, il s'agira de partir de ses interrogations, de ses besoins, de ses intérêts, de ce qu'il sait et de ses préoccupations pour déceler ses capacités mais aussi ses faiblesses afin de l'aider à se développer. Ainsi ce mode de travail permet aux dispositions naturelles de l'apprenant(e) de se réaliser.

**N.B.** Il faut accorder à la stratégie de travail individuel le temps nécessaire compte tenu de son importance dans l'acte d'apprentissage, car elle participe essentiellement à la formation de la personnalité de l'apprenant(e) en développant entre autres qualités le courage, la persévérance et la confiance en soi.

## 2. Travail en groupe

Les élèves d'un même groupe, organisent des échanges pour comparer les résultats obtenus individuellement.

C'est le moment où l'apprenant(e) décèle la pertinence des arguments développés en vue d'améliorer sa propre production.

## 3. Travail collectif

Le travail collectif consiste à partir des productions de tous les groupes de travail afin de procéder à leur comparaison en vue d'un enregistrement et d'une amélioration.

L'enseignant(e) doit jouer le rôle d'animateur au cours de cette phase.

**N.B.** D'autres stratégies comme la recherche documentaire, l'enquête, l'interview...peuvent être utilisées.

## ➤ COMPETENCES

### 1- Définition

Etre compétent c'est être capable de faire appel aux ressources adéquates, de les combiner de manière efficace et de les mobiliser à bon escient. On peut donc définir la compétence comme un savoir-agir fondé sur la mobilisation et l'utilisation efficace d'un ensemble de ressources (capacités, habiletés, attitudes, connaissances...) Ces ressources peuvent être acquises en contexte scolaire ou extrascolaire.

### 2. Les différents types de compétences

#### 2.1. Compétences disciplinaires

Elles concernent les domaines du savoir et visent l'appropriation du programme d'études considéré.

En sciences physique chimique et en technologie, les trois compétences disciplinaires s'énoncent comme suit :

a) *Elaborer une explication d'un fait ou d'un phénomène de son environnement naturel ou construit en mettant en œuvre les modes de raisonnement propres aux sciences physique chimique et à la technologie*

b) *Exploiter les sciences physique chimique et la démarche technologique dans la production, l'utilisation et la réparation d'objets technologiques*

c) *Apprécier l'apport des sciences physique chimique et de la technologie par rapport à la vie de l'homme.*

#### 2.2. Compétences transdisciplinaires

Au nombre de six, les compétences transdisciplinaires couvrent tous les domaines de la vie courante. Toutes les disciplines enseignées au secondaire permettent leur réalisation, leur acquisition et leur développement.

#### 2.3. Compétences transversales

Au nombre de huit, les compétences transversales sont regroupées en trois ordres :

- ordre intellectuel ;
- ordre méthodologique ;
- ordre socio-affectif.

Remarquons que le programme d'études de sciences physique chimique et de technologie est un système, c'est-à-dire que les trois types de compétences forment un ensemble cohérent. Elles sont subdivisées en capacités et habiletés.

## ➤ GENERALITES SUR LES SITUATIONS D'APPRENTISSAGE

Une situation d'apprentissage est une situation-problème ou un ensemble de situations-problèmes. Elle se présente comme une succession d'activités qui doivent être motivantes et planifiées et au cours desquelles l'apprenant est appelé à développer les compétences que l'on souhaite qu'il possède, s'approprie et intègre dans des contextes variés.

### **1. Structure d'une situation d'apprentissage.**

En dehors du titre (de la situation d'apprentissage) qui doit être évocateur, disciplinaire, elle se présente sous la forme d'une activité englobante, donc décomposable en une série de tâches et d'activités réalisables pendant plusieurs séquences.

La situation d'apprentissage comprend essentiellement deux grandes parties : les éléments de planification et le déroulement.

#### **1.1. Eléments de planification**

C'est la partie du programme ayant essentiellement un caractère indicatif. Elle comprend :

- les contenus de formation ;
- les stratégies d'enseignement et d'apprentissage ;
- la durée ;
- le matériel ;
- les items d'évaluation ;
- les documents de référence suggérés.

##### *1.1.1. Contenus de formation*

C'est l'ensemble des éléments devant faire effectivement objets d'apprentissage.

Les contenus de formations sont donc constitués des compétences, des capacités, des habiletés, des attitudes, des connaissances, des techniques et des stratégies que l'apprenant devra construire au cours de la mise en œuvre de la situation d'apprentissage considérée.

##### *1.1.1.1. Les compétences*

On distingue trois types de compétences, à savoir :

- les compétences disciplinaires
- les compétences transdisciplinaires
- les compétences transversales

Compétence disciplinaire N° ....	Capacités	Habiletés
.....	.....	.....
.....	.....	.....

<b>Compétences transversales</b>	<b>Capacités</b>	<b>Habiletés</b>
.....	.....	.....
.....	.....	.....

<b>Compétences transdisciplinaires</b>	<b>Capacités</b>	<b>Habiletés</b>
.....	.....	.....
.....	.....	.....

#### ***1.1.1.2. Stratégies, objets d'apprentissage***

Ce sont les stratégies que les apprenants sont appelés à mettre en œuvre au cours du développement de la situation d'apprentissage et sur lesquelles l'enseignant(e) apporte tous les éléments nécessaires pour leur maîtrise et leur acquisition par ses apprenants.

#### ***1.1.1.3. Connaissances et techniques***

Cette rubrique regroupe toutes les connaissances et techniques que l'apprenant doit développer au cours du déroulement de la situation d'apprentissage. Elles seront mises en œuvre à travers les différentes activités prévues.

#### ***1.1.2. Stratégies d'enseignement/apprentissage***

Toutes les stratégies mises en œuvre dans la construction des compétences : travail individuel, travail en groupe, travail collectif, enquête...

#### ***1.1.3. Durée***

Elle concerne le temps pendant lequel seront abordées les activités développées et les compétences à travers les connaissances et techniques.

#### ***1.1.4. Matériel***

Cette rubrique identifie les objets, les produits ou autres supports utiles susceptibles d'offrir à l'apprenant l'occasion de vivre et de développer les compétences liées à la situation d'apprentissage.

#### ***1.1.5. Documents de référence suggérés***

C'est les documents que l'enseignant (e) et l'apprenant (e) sont invités à consulter pour mieux appréhender la situation d'apprentissage.

### ***2. Les différentes étapes d'une situation d'apprentissage***

Les différentes étapes planifiées d'une situation d'apprentissage sont les suivantes : l'introduction, la réalisation et le retour et projection.

### *2.1. Introduction*

Au cours de cette phase, l'apprenant(e) est invité par l'enseignant(e) à :

- exprimer sa perception initiale de la situation-problème qu'évoque la situation de départ,
- confronter les diverses représentations exprimées.

Pendant cette phase, "INTRODUCTION" l'enseignant(e) engage un entretien avec les apprenants, entretien au cours duquel chaque apprenant(e) est invité à exprimer LIBREMENT ses idées, ses représentations initiales, ses émotions sur le fait , le phénomène, l'objet sous des formes variées ( gestes, dessins, parole ...).

Rappelons qu'au cours de cette étape, l'enseignant prend en compte les idées premières des apprenants sur la situation de départ sans chercher à les apprécier.

### *2.2. Réalisation*

Cette seconde phase de l'acte d'apprentissage est celle au cours de laquelle l'apprenant construit de nouveaux savoirs grâce aux activités qui lui sont proposées. Au cours de cette phase, l'apprenant(e) doit :

- aborder dans l'ordre les activités prévues,
- construire de nouveaux savoirs,
- faire part de ses difficultés à l'enseignant(e)
- discuter de ses productions avec ses camarades,
- corriger au besoin ses productions.

### *2.3. Retour et projection*

Cette phase comprend deux moments essentiels, à savoir :

- le retour qui est l'objectivation, la consolidation ou l'enrichissement,
- la projection constituée d'un réinvestissement des acquis à court, moyen ou long terme dans une situation de vie courante.

## **3. Informations et commentaires**

## **4. préparation**

## **ANNEXES**

## **5. Déroulement**

<b>Indications pédagogiques</b>	<b>Recommandations</b>
<b><u>Introduction :</u></b> ..... ..... .....	..... .....
<b><u>Activité N°1</u></b> ..... ..... .....	..... .....
<b><u>Réalisation :</u></b> ..... ..... .....	..... .....
<b><u>Activité N°2</u></b> ..... ..... .....	..... .....
<b><u>Activité N°3</u></b> ..... ..... .....	..... .....
<b><u>Activité N°n-2</u></b> ..... ..... .....	..... .....
<b><u>Retour et projection :</u></b>  <b><u>Activité N°n-1</u></b> • Objectivation : ..... .....  <b><u>Activité N°n</u></b> • Réinvestissement : ..... ..... .....	..... ..... .....  ..... ..... .....

**PLANIFICATION GENERALE DES SITUATIONS D'APPRENTISSAGE EN  
CLASSE DE TERMINALE D DE L'ENSEIGNEMENT SECONDAIRE GENERAL**

SA N°	TITRE DE LA SITUATION D'APPRENTISSAGE	Semaines d'activités	Durée	Mois d'activités
SA.1	<b>CHAMPS DE FORCES ET INTERACTIONS</b> 1. Cinématique 2. Champ électrostatique 3. Champ magnétique	4	4h x 4	Octobre
SA.2	<b>CHIMIE DES SOLUTIONS AQUEUSES</b> 1. Acides et bases en solution aqueuse 1.1. L'eau 1.2. Les solutions aqueuses d'acide chlorhydrique et d'hydroxyde de sodium.. 1.3. Couples acide – base	4	3h x 4	
SA.1	<b>CHAMPS DE FORCES ET INTERACTIONS</b> 4. Lois de Newton, 5. Mouvement dans le champ de pesanteur terrestre 6. Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme 7. Particule chargée en mouvement dans un champ magnétique uniforme	4	4h x 4	Novembre
SA.2	<b>CHIMIE DES SOLUTIONS AQUEUSES</b> 1.4. Réactions acide-base	4	3 h x 4	
PERIODE D'INTEGRATION				Décembre
SA.1	<b>CHAMPS DE FORCES ET INTERACTIONS</b> 9. Induction électromagnétique et auto-induction	3	4h x 3	Janvier
SA.2	<b>CHIMIE DES SOLUTIONS AQUEUSES</b> 2. Cinétique chimique 2.1. Définition de la vitesse de formation d'un corps 2.2. Étude qualitative de l'influence des concentrations et de la température. 2.3. Catalyse	3	3h x 3	
SA.3	<b>LES OSCILLATIONS MECANIQUES ET ELECTRIQUES</b> 1. Les oscillations mécaniques 1.1. Mouvement d'un oscillateur harmonique non amorti : cas du pendule élastique ; 1.2. Mouvement d'un oscillateur amorti : cas du pendule élastique ;	3	4h x 3	Février
SA.4	<b>CHIMIE ORGANIQUE</b> 1- Notions élémentaires de stéréochimie 2- Les alcools 3- Les amines	3	3h x 3	

PERIODE D'INTEGRATION				Début mars
SA.3	<b>OSCILLATIONS MECANIQUES ET ELECTRIQUES</b> 2. Les oscillations électriques 2.1- Circuits oscillants : circuit LC 2.2-Circuits en régime sinusoïdal forcé : circuit RLC série.	3	4h x 3	Fin mars
SA.4	<b>CHIMIE ORGANIQUE</b> 4- Les acides carboxyliques. 5- Les acides $\alpha$ - aminés	3	3h x 3	
SA.5	<b>OPTIQUE</b>	3	7h x 3	Avril
SA.6	<b>PHYSIQUE ATOMIQUE ET NUCLEAIRE</b>	3	7h x 3	Mai
PERIODE D'INTEGRATION				Juin

N.B. La phase d'intégration est normalement une période d'activités formatives pluridisciplinaires. Mais, en attendant que cette période se meuble convenablement, il pourra s'agir d'une intégration disciplinaire incluant toutes les activités formatives et sommatives en SPCT : recherche sur des thèmes spécifiques en relation avec les compétences transdisciplinaires, remédiation, renforcement et révision (activités documentaires et expérimentales) et devoirs. Le principe régissant ce choix de période d'intégration est de permettre à l'apprenant :

- de restructurer ses nouveaux acquis ;
- d'être suffisamment préparé pour l'évaluation sommative ;
- d'être capable de mobiliser ses nouveaux savoirs pour des situations de vie courante.

Thèmes	Contenus notionnels	SA	CD
Mécanique et Electricité	<p><b>1. Cinématique</b></p> <p>1.1. Vecteur position et vecteur vitesse d'un point dans un repère donné</p> <p>1.2. Vecteur accélération <math>\ddot{\mathbf{a}}</math> ; accélération tangentielle et accélération normale.</p> <p>1.3. Quelques mouvements particuliers</p> <p>1.1.1. Mouvements rectilignes (uniforme ; uniformément varié sinusoïdal).</p> <p>1.1.2. Mouvement circulaire uniforme.</p> <p><b>2. Champ électrostatique</b></p> <p>2.1. Relation entre force électrique, charge ponctuelle et champ électrique</p> <p>2.2. Champ électrique créé par un condensateur plan</p> <p><b>3. Champ magnétique</b></p> <p>3.1. Mise en évidence expérimentale ;</p> <p>3.2. Pôles d'un aimant, faces d'une bobine</p> <p>3.3. Vecteur champ magnétique</p> <p>3.4. Spectres magnétiques</p> <p>3.5. Mesure du champ magnétique</p> <p>3.6. Champ magnétique terrestre</p> <p>3.7. Réalisation d'un champ magnétique uniforme</p> <p><b>4. Lois de Newton,</b></p> <p>4.1. Théorème de l'énergie cinétique</p> <p>4.2. Principe de l'inertie (1<sup>ère</sup> loi de Newton)</p> <p>4.3. Théorème du centre d'inertie (2<sup>ème</sup> loi de Newton)</p> <p>4.4. Principe d'interaction (3<sup>ème</sup> loi de Newton)</p> <p>4.5. Théorème de l'énergie cinétique appliqué à un solide en translation</p> <p><b>5. Mouvement dans le champ de pesanteur terrestre</b></p> <p><b>6. Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme</b></p> <p>6.1. Etude dynamique du mouvement</p> <p>6.2. Etude énergétique</p> <p>6.3. Déflexion électrique d'une particule chargée</p> <p><b>7. Particule chargée en mouvement dans un champ magnétique uniforme</b></p> <p>7.1. Caractéristiques de la force magnétique</p> <p>7.2. Puissance de la force magnétique</p> <p>7.3. Etude théorique du mouvement</p> <p>7.4. Quelques applications : Déflexion magnétique dans le fonctionnement d'un poste téléviseur ; Spectrographe de masse et cyclotron</p> <p><b>8. Phénomène d'induction et d'auto-induction</b></p> <p>8.1. Induction électromagnétique :</p> <p>8.1.1. Mise en évidence expérimentale ; loi de Lenz ;</p> <p>8.1.2. Formule de Laplace (force électromotrice d'induction) : <math>e = -\frac{d\Phi}{dt}</math></p> <p>8.1.3. fém. <math>e</math> et ddp <math>u = ri - e</math></p> <p>8.2. Auto – induction :</p>	SA1	CD 1 et CD 3

	<p>8.2.1. Mise en évidence expérimentale ;</p> <p>8.2.2. Force électromotrice d'auto-induction :</p> $e = - L \frac{di}{dt}$ <p>8.2.3. Les applications</p>		
Chimie des solutions aqueuses	<p><b>A - Acides et bases en solution aqueuse</b></p> <p><b>I - L'eau</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. L'eau, solvant ionisant</li> <li>2. Produit ionique ; pH d'une solution aqueuse</li> </ol> <p><b>II - Les solutions aqueuses d'acide chlorhydrique et d'hydroxyde de sodium.</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Solution aqueuse d'acide chlorhydrique</li> <li>2. Solution aqueuse d'hydroxyde de sodium.</li> <li>3. pH des solutions aqueuses.</li> </ol> <p><b>III - Couples acide/base</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Définition des couples acide base ; exemples.</li> <li>2. Définition de la constante d'acidité <math>K_a</math> ; applications : classification des couples acide/base, domaines de prédominance de la forme acide et de la forme basique</li> <li>3. Cas particulier des acides forts et des bases fortes</li> </ol> <p><b>IV - Réactions acide-base</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Acide fort, base forte</li> <li>2. Acide fort, base faible</li> <li>3. Acide faible, base forte</li> </ol> <p><b>B - Cinétique chimique</b></p> <p><b>I - Définition de la vitesse de formation et de disparition d'un corps</b></p> <p><b>II - Étude qualitative de l'influence des concentrations et de la température.</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 - Influence des concentrations</li> <li>2- Influence de la température.</li> </ol> <p><b>III – Catalyse</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 - Définition</li> <li>2 - Exemples</li> </ol>	SA 2	CD1 et CD 3
Les oscillations mécaniques et électriques	<p><b>1. Les oscillations mécaniques</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1. Mouvement d'un oscillateur harmonique non amorti : cas du pendule élastique ; équation différentielle; fréquence propre ; conservation de l'énergie</li> <li>1.2. Mouvement d'un oscillateur amorti : cas du pendule élastique ; équation différentielle ; régime pseudo – périodique ; régime apériodique ; régime critique.</li> </ol> <p><b>2. Les oscillations électriques</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1- Circuits oscillants : circuit LC.</li> <li>2.1.1. Équation différentielle ; fréquence propre ; conservation de l'énergie totale du circuit.</li> <li>2.1.2. Entretien des oscillations à l'aide d'un circuit intégré linéaire.</li> <li>2.2. - Circuits en régime sinusoïdal forcé : circuit RLC série.</li> <li>2.2.1. Oscillations forcées en régime sinusoïdal d'un circuit RLC série ; impédance ;</li> <li>2.2.2. Phénomène de résonance d'intensité : bande passante ; facteur de qualité ; intensité et tension électriques efficaces.</li> <li>2.2.3. Puissance en alternatif, facteur de puissance.</li> </ol>	SA3	CD1
Chimie	<b>1. Notions élémentaires de stéréochimie</b>	SA 4	CD1

<b>organique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Possibilité de rotation autour d'une liaison C-C et notion de conformation : cas de l'éthane et du cyclohexane.</li> <li>Configuration :diastéréoisomérie Z-E et énantiométrie</li> </ul> <p><b>2. Les alcools.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Existence des trois classes d'alcools; nomenclature.</li> <li>Préparation par hydratation d'un alcène ; obtention de l'éthanol par fermentation</li> <li>Quelques propriétés des alcools:</li> <li>- Réaction avec le sodium.</li> <li>- Déshydratation des alcools ; cas de l'éthanol</li> <li>- Oxydation des alcools primaires et secondaires; groupe carbonyle C = O des aldéhydes et des cétones ; caractère réducteur des aldéhydes ; passage aux acides.</li> <li>- Passage aux phosphates d'alkyle.</li> <li>- Polyalcools ; exemples : <ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Glycol : formule, principe de sa préparation.</li> <li>✗ Gycérol : formule.</li> </ul> </li> </ul> <p><b>3. Les amines</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Existence des trois classes d'amines ; nomenclature.</li> <li>Quelques propriétés des amines :</li> <li>- caractère basique</li> <li>- caractère nucléophile</li> </ul> <p><b>4. Les acides carboxyliques.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Formule des acides carboxyliques, exemples.</li> <li>Réactions d'estérification et d'hydrolyse. Saponification des esters.</li> <li>Passage aux fonctions dérivées : anhydride d'acide et chlorure d'acyle.</li> <li>Intérêt en ce qui concerne la synthèse des esters. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Passage aux amides</li> </ul> </li> </ul> <p><b>5. Les acides <math>\alpha</math> - aminés</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Formule générale et exemples ; représentation de Fischer et nomenclature des configuration D et L; chiralité et activité optique.</li> <li>Existence de plusieurs formes : non ionique et ioniques ; amphion.</li> <li>Liaison peptidique : passage aux protéines ;</li> <li>Importance des protéines en biochimie : cas des enzymes.</li> </ul>		et CD 2
<b>Optique</b>	<p><b>I. Les lentilles minces:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Généralités sur les lentilles minces convergentes et divergentes <ol style="list-style-type: none"> <li>Définition de foyers et de distances focales</li> <li>Marche des rayons lumineux</li> </ol> </li> <li>Formation des images d'objets <ol style="list-style-type: none"> <li>Conditions de Gauss et stigmatisme</li> <li>Formule de conjugaison de Descartes</li> </ol> </li> </ol>	SA 5	CD1 et CD 2

	<p>2.3. Formule de conjugaison de Newton      2.4. Construction d'image d'un objet par une lentille      2.5. Caractéristiques d'une image      2.6. Système de deux lentilles minces</p> <p>3. Détermination expérimentale de la distance focale d'une lentille</p> <p>3.1. Méthode de l'objet à l'infini      3.2. Méthodes de Bessel et de Silbermann</p> <p>4. Applications des lentilles minces : l'œil et ses défauts, l'appareil photographique, le microscope.</p> <p><b>II. Décomposition de la lumière.</b></p> <p>1. Le prisme et le réseau</p> <p>1.1. Lumière monochromatique      1.2. Lumière polychromatique      1.3. Les formules du prisme      1.4. Dispersion de la lumière par un prisme</p> <p>2. Diffraction de la lumière par un réseau</p> <p>4.1. Lumière en incidence normale      4.2. Lumière en incidence quelconque</p> <p><b>III. Polarisation rectiligne de la lumière</b></p> <p>1. Nature électromagnétique de la lumière      2. Obtention d'une lumière polarisée      3. Loi de Malus</p>		
Physique atomique et nucléaire	<p>1. <b>Niveaux d'énergie atomiques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Spectres d'émission et d'absorption</li> <li>• Existence de niveaux d'énergie dans un atome</li> <li>• Transition électronique: relation <math>E_2 - E_1 = h\nu</math></li> <li>• Cas de l'atome d'hydrogène</li> </ul> <p>2. <b>Noyau atomique</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Composition du noyau : nucléons</li> <li>• Energie de liaison d'un noyau</li> </ul> <p>3. <b>Réactions nucléaires spontanées</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Radioactivités <math>\alpha</math> , <math>\beta^-</math> , <math>\beta^+</math> , émission <math>\gamma</math> , lois de conservation</li> <li>• Loi de décroissance d'un nucléide radioactif</li> <li>• Absorption de rayonnements.</li> </ul> <p>4. <b>Réactions nucléaires provoquées :</b>      Fission, fusion et applications.</p>	SA 6	CD1 et CD 3

**Situation d'apprentissage n°1**  
**Titre : CHAMPS ET INTERACTIONS**

1- Eléments de planification

1.1- Contenus de formation

1.2- Durée

1.2.1-Les compétences disciplinaires visées

1.2.1.1- Compétence disciplinaire n°1

1.2.1.2- Compétence disciplinaire n°3

1.2.3- Connaissances et techniques

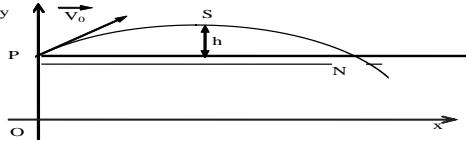
<b>DOMAINE : MECANIQUE ET MAGNETISME</b>		
Connaissances et techniques	Indications pédagogiques et commentaires	Connaissances et techniques exigibles (évaluation)
<b>Cinématique</b>  - Vecteur position et vecteur vitesse d'un point dans un repère donné	<p>Le professeur s'appuiera sur les acquis des apprenants en classe de 2<sup>nde</sup> et de 1<sup>ère</sup> pour les amener à approfondir les notions de vecteur position et de vecteur vitesse.</p> <p>Le professeur précisera les notions et techniques de dérivation.</p> <p>Il insistera sur le fait que si une grandeur est représentée par le vecteur <math>\vec{w}</math>, sa valeur, notée <math>w</math>, est une grandeur <i>strictement positive</i> qui sera affectée d'une unité qu'il convient systématiquement de préciser ; le passage de la valeur <math>w</math> de cette grandeur à la norme <math>\ \vec{w}\ </math> de son vecteur représentatif et vice versa se fait par l'intermédiaire d'une échelle de représentation. De plus, dans un repère <math>(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})</math> déterminé par les axes <math>\vec{Ox}, \vec{Oy}, \vec{Oz}</math> les coordonnées du vecteur <math>\vec{w}</math> sont notées <math>w_x, w_y</math>, et <math>w_z</math>. qui sont les valeurs algébriques des projections de <math>\vec{w}</math> sur chaque axe.</p>	- Détermination des composantes du vecteur position et du vecteur vitesse d'un point dans un repère donné.
- Vecteur accélération $\vec{a}$ ; accélération tangentielle et accélération normale.	<p>Le professeur s'abstiendra d'établir les expressions des accélérations tangentielle et normale qui seront données mais il devra préciser que ces formules ne sont valables que dans le cas des mouvements plans ; il amènera les apprenants à s'approprier la définition du rayon de courbure.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Définition du vecteur accélération <math>\vec{a}</math> et détermination de ses coordonnées dans un repère cartésien.</li> <li>- Utilisation des expressions des accélérations</li> </ul> <p>✓ tangentielle <math>\vec{a}_t = \frac{d\vec{v}}{dt} \tau</math></p>

	<p style="text-align: right;">✓ et normale <math>\vec{a}_n = \frac{v^2}{\rho} \vec{\eta}</math></p> <p>- Exploitation des expressions</p> <p><math>v_\tau = R \dot{\theta}</math>, <math>a_\tau = 0</math> et</p> <p><math>a_n = \frac{v^2}{R} = R \dot{\theta}^2</math>, dans le cas du mouvement circulaire uniforme ;</p> <p>- Détermination des caractéristiques des vecteurs vitesse et accélération à partir de l'enregistrement du mouvement d'un solide ponctuel.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Quelques mouvements particuliers :           <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Mouvement rectiligne uniforme ;</li> <li>✓ Mouvement rectiligne uniformément varié ;</li> <li>✓ Mouvement rectiligne sinusoïdal ;</li> <li>✓ Mouvement circulaire uniforme.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identification des mouvements rectilignes           <ul style="list-style-type: none"> <li>• uniforme ;</li> <li>• uniformément varié ;</li> <li>• sinusoïdal.</li> </ul> </li> <li>et circulaire uniforme.</li> <li>- Etablissement des équations horaires correspondantes :           <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ mouvement rectiligne uniforme</li> <li><math>x = v_x t + x_0</math></li> <li>✓ mouvement rectiligne uniformément varié</li> </ul> </li> <li><math>x = \frac{1}{2} a_x t^2 + v_{0x} t + x_0</math></li> <li><math>v_x = a_x t + v_{0x}</math> ;</li> <li><math>v_x^2 - v_{0x}^2 = 2a_x(x - x_0)</math></li> <li>✓ mouvement rectiligne sinusoïdal</li> <li><math>x = x_m \sin(\omega t + \varphi)</math>;</li> <li><math>v_x = \omega x_m \cos(\omega t + \varphi)</math></li> <li><math>a_x = -\omega^2 x</math></li> <li>✓ mouvement circulaire uniforme</li> <li><math>s = v_s t + s_0</math>;</li> <li><math>\theta = \dot{\theta} t + \theta_0</math></li> </ul>

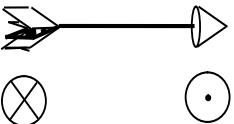
<p><b>Champ électrostatique</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Interaction électrique entre deux corps chargés et loi de Coulomb</li> <li>- Champ électrique créé par une charge ponctuelle</li> <li>- Champ électrique créé à l'intérieur d'un condensateur plan</li> </ul>	<p>Le professeur amènera les apprenants à consolider leurs acquis de la classe de 1<sup>ère</sup>.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Définition du champ électrique ;</li> <li>- détermination des caractéristiques du vecteur champ électrique <math>\vec{E}</math> en un point de l'espace ;</li> <li>- Définition du champ électrique uniforme et ligne de champ ;</li> <li>- Description du dispositif (condensateur plan) permettant d'obtenir un champ électrique uniforme ;</li> <li>- Détermination des caractéristiques du champ électrique dans un condensateur plan.</li> </ul>
<p><b>Champ magnétique</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mise en évidence expérimentale ;</li> <li>- Pôles d'un aimant, faces d'une bobine</li> <li>- Vecteur champ magnétique</li> <li>- Spectres magnétiques</li> </ul>	<p>Le professeur privilégiera ici l'aspect expérimental dans la mise en place des notions de champ magnétique, de spectres magnétiques et de champ magnétique créé par un solénoïde. La mise en évidence des différents champs magnétiques (champ magnétique terrestre, champ magnétique uniforme, champ créé par un aimant en U, champ créé par un barreau aimanté, champ créé par un fil parcouru par un courant etc.) se fera grâce à des aiguilles aimantées, ce qui facilitera, chez les apprenants, l'appropriation de la définition de l'espace champ magnétique. L'utilisation de la limaille de fer pour mettre expérimentalement en évidence les spectres magnétiques est un procédé très fructueux. Le sens du vecteur champ et donc celui des lignes de champ sera repéré grâce à une aiguille aimantée. Dans tous les cas, le professeur veillera à ce que les apprenants s'approprient de façon précise les définitions des termes comme espace champ magnétique, lignes de champ, spectres</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Définition d'un espace champ magnétique.</li> <li>- Identification des pôles d'un aimant</li> <li>- Détermination des caractéristiques du vecteur champ magnétique <math>\vec{B}</math> en un point M de l'espace.</li> <li>- Orientation d'une aiguille aimantée dans un champ magnétique <math>\vec{B}</math>.</li> <li>- Détermination des caractéristiques du champ magnétique uniforme : <ul style="list-style-type: none"> <li>• entre les branches d'un aimant en U ;</li> <li>• à l'intérieur d'un solénoïde parcouru par un courant constant ;</li> <li>• entre deux bobines de Helmholtz parcourues par un courant constant)</li> </ul> </li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mesure du champ magnétique</li>   <li>- Champ magnétique terrestre</li>   <li>- Réalisation d'un champ magnétique uniforme</li> </ul>	<p>magnétiques, champ magnétique uniforme. Il sera intéressant d'insister sur la composante horizontale du vecteur champ magnétique terrestre. Enfin, le professeur amènera les apprenants à faire expérimentalement l'analogie entre un aimant droit et un solénoïde parcouru par un courant (faces et pôles); puis entre le champ magnétique créé par un solénoïde et celui d'un aimant en U, du point de vue de leur caractère uniforme. A l'aide d'un teslamètre, on mettra en évidence la proportionnalité de l'intensité du vecteur champ <math>\vec{B}</math> à l'intensité du courant parcourant le solénoïde. La mesure du champ magnétique se limitera à celui du solénoïde.</p> <p>La règle d'orientation appropriée (bonhomme d'Ampère, tire bouchon, etc.) sera donnée pour déterminer le sens du vecteur champ <math>\vec{B}</math> créé par un courant dans une bobine.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilisation de l'expression de la valeur du champ magnétique uniforme dans la région centrale d'un solénoïde</li> <math display="block">B = \mu_0 n I</math> <p>avec <math>\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ SI}</math></p>   <li>- Utilisation correcte de la règle de la main droite.</li>   <li>- Détermination des caractéristiques du champ résultant de deux champs magnétiques superposés.</li> </ul>
--	--	---

<p><b>Lois de Newton, Théorème de l'énergie cinétique</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Principe de l'inertie (1<sup>ère</sup> loi de Newton)</li> <li>-Théorème du centre d'inertie ( 2<sup>ème</sup> loi de Newton)</li> <li>- Principe d'interaction (3<sup>ème</sup> loi de Newton)</li> <li>-Théorème de l'énergie cinétique appliquée à un solide en translation</li> </ul>	<p>Le professeur conduira les apprenants à s'approprier de façon précise la définition de référentiel (galiléen ou non). Il a été question en classe de seconde du centre d'inertie ; après avoir rappelé sa définition en montrant sa propriété barycentrique, on reviendra sur le principe d'inertie et on débouchera sur la quantité de mouvement <math>\vec{p} = m \vec{v}</math>. On sait que la relation <math>\sum \vec{F} = \frac{d \vec{p}}{dt}</math> précise comment varie, quantitativement, la quantité de mouvement <math>\vec{p}</math> du solide sous l'action de forces auxquelles il est soumis. L'illustration expérimentale de la dite relation se fera avec quelques exemples comme la chute libre, le plan incliné, le pendule conique.</p> <p>Le cas particulier de la conservation de la quantité de mouvement au cours d'un choc sera examiné. Le professeur amènera les apprenants à mettre en évidence le lien entre le théorème de l'énergie cinétique (que l'on démontrera dans le cas de la translation rectiligne) et la relation</p> $\sum \vec{F} = \frac{d \vec{p}}{dt}$ <p>Le professeur veillera à ce que les apprenants maîtrisent la méthode d'application du théorème de l'énergie cinétique.(système étudié ; référentiel d'étude ; bilan des forces appliquées au système ;application du théorème)</p>	<p>-Définition et exemples d'un référentiel galiléen et d'un référentiel non galiléen.</p> <p>- Définition du centre d'inertie G d'un système de masse m :</p> $\sum_{i=1}^{i=n} m_i \overrightarrow{OG_i} = m \overrightarrow{OG}$ <p>- Utilisation de l'expression du vecteur quantité de mouvement <math>\vec{p} = m \vec{v}</math> et de sa dérivée par rapport au temps : <math>\frac{d \vec{p}}{dt}</math></p> <p>- Application des relations <math>\sum \vec{F} = \frac{d \vec{p}}{dt}</math> et <math>\sum \vec{F} = m \vec{a}</math> pour un solide dans un référentiel galiléen ;</p> <p>- Application de la relation <math>\sum \vec{F} + \vec{F}_i = 0</math> pour un solide en équilibre relatif dans un référentiel non galiléen.</p> <p>- Application du théorème du centre d'inertie :</p> $\sum \vec{F} = m \vec{a}_G$ <p>- Application du théorème de l'énergie cinétique <math>\Delta E_c = \Sigma W</math></p> <p>- Démonstration du théorème de l'énergie cinétique <math>\Delta E_c = \Sigma W</math> dans le cas d'un mouvement de translation.</p>
--	--	--

<b>Mouvement dans le champ de pesanteur terrestre</b>	<p>Il donne l'occasion de mettre l'accent sur les valeurs algébriques des grandeurs cinématiques et de revoir le savoir-faire des élèves en matière de projection de certaines grandeurs vectorielles (vitesse, accélération) sur des axes. Dans le cas du champ de pesanteur terrestre, Le professeur amènera les apprenants à s'approprier de façon précise les définitions claires de la portée et de la flèche :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- la portée est la distance <math>d(P, N)</math> entre le point de lancement P et le point de chute N dans le plan horizontal passant par P. Le point N d'abscisse <math>x_N</math> a la même ordonnée que le point de lancement P : <math>y_N = y_P</math>.</li> <li>- la flèche est l'altitude maximale h atteinte, par le projectile en S, sommet de la parabole. Cette altitude est mesurée par rapport à celle du point de lancement.</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Établissement des équations horaires du mouvement d'un projectile ;</li> <li>- Etablissement de l'équation cartésienne de la trajectoire du projectile et déduction de la nature du mouvement.</li> <li>- Définition et détermination la portée et de la flèche d'un projectile ;</li> <li>Identification de la nature de la trajectoire dans les cas suivants :</li> <li>- la force de pesanteur et la vitesse initiale sont colinéaires : trajectoire rectiligne ;</li> <li>- la force et la vitesse initiale sont non colinéaires : trajectoire parabolique ;</li> <li>- Démonstration du fait que le projectile en mouvement dans le champ de pesanteur uniforme est un système conservatif ;</li> <li>- Exploitation des expressions des énergies <ul style="list-style-type: none"> <li>• cinétique,</li> <li>• potentielle de pesanteur,</li> <li>• mécanique.</li> </ul> </li> </ul>
<b>Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Etude dynamique du mouvement</li> <li>- Etude énergétique</li> </ul>	<p>Dans le cas du champ électrique, l'accent sera mis sur le signe de la charge de la particule électrique. Un petit arrêt sur le principe de l'oscilloscope sera utile.</p> <p>Ici encore, le professeur amènera les apprenants à consolider leurs acquis en cinématique.</p> <p>Il amènera les apprenants à maîtriser davantage les étapes de l'étude du mouvement de la particule chargée</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Établissement des équations horaires du mouvement.</li> <li>- Etablissement de l'équation de la trajectoire du mobile et déduction de sa nature.</li> <li>- Démonstration du fait qu'une particule chargée en mouvement dans un champ électrostatique uniforme est un système conservatif ;</li> <li>- Calcul d'une vitesse à partir de la conservation de l'énergie ;</li> <li>- Etablissement de l'expression</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Déflexion électrique de la particule chargée</li> </ul>	<p>dans le champ <math>\vec{E}</math> uniforme. Il est souhaitable que l'étude de la déviation électrique d'un faisceau d'électrons se fasse expérimentalement.</p>	<p>entre vitesse acquise et tension accélératrice, pour une particule chargée ;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Définition de l'électron-volt.</li> <li>- Définition de la déflexion électrostatique angulaire et linéaire,</li> <li>- Etablissement et exploitation de l'expression de la déflexion électrostatique angulaire et linéaire.</li> </ul>
<p><b>Particule chargée en mouvement dans un champ magnétique uniforme</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Force magnétique et ses caractéristiques</li> <li>- Puissance de la force magnétique</li> <li>- Etude théorique du mouvement</li> <li>- Quelques applications :</li> <li>✓ Déflexion magnétique dans le fonctionnement d'un poste téléviseur</li> <li>✓ Spectrographe de masse et cyclotron, piégeage des particules cosmiques en physique des particules</li> </ul>	<p>Il est fort souhaitable que ce chapitre commence par une introduction au produit vectoriel (symbole <math>\wedge</math>). Les notions de trièdre et de trièdre direct seront données. Ces notions sont importantes car, une fois qu'elles sont maîtrisées, l'étude de la force magnétique s'en trouve aisée. Le professeur amènera les apprenants à mettre qualitativement en évidence, l'existence de la force magnétique en utilisant le dispositif des bobines de Helmholtz. A défaut de ce dispositif peu courant chez nous, on pourra utiliser la déviation du spot d'un oscilloscope ou la déformation de l'image d'un poste téléviseur. Une fois la mise en évidence faite, le professeur donnera l'expression de la force de Lorentz <math>\vec{F} = q \vec{v} \wedge \vec{B}</math></p> <p>Le professeur entraînera les apprenants à l'utilisation d'une des règles d'orientation vectorielle (main droite, trois doigts de la main droite, bonhomme d'Ampère, tire-bouchon, etc.) pour préciser le sens de <math>\vec{F}, \vec{v}</math> ou <math>\vec{B}</math> en fonction du signe de la charge <math>q</math> et des sens des deux autres vecteurs. Une précision sera apportée sur les symboles <math>\otimes</math> et <math>\odot</math>.</p> <p><math>\otimes</math>: <math>\vec{B}</math> perpendiculaire au plan de la feuille et fuyant l'observateur.</p> <p><math>\odot</math>: <math>\vec{B}</math> perpendiculaire au plan de la feuille et venant vers l'observateur.</p> <p><i>Remarque : moyen mnémotechnique pour retenir ce</i></p>	<p>-Utilisation de l'expression vectorielle de la force électromagnétique</p> $\vec{F} = q \vec{v} \wedge \vec{B}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>- Détermination des caractéristiques de chacun des vecteurs</li> </ul> <p><math>\vec{F}, \vec{v}</math> ou <math>\vec{B}</math> suivant le signe de <math>q</math>.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Démonstration : le mouvement d'une particule chargée entrant avec une vitesse <math>\vec{v}_0</math> dans un champ magnétique <math>\vec{B}</math> uniforme est plan, circulaire et uniforme si et seulement si <math>\vec{v}_0</math> est perpendiculaire à <math>\vec{B}</math>.</li> </ul> <p>Établissement de la relation <math>p =  q  \cdot B \cdot R</math>.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Calcul de la déviation angulaire et de la déflexion magnétique d'une particule chargée</li> </ul>

	<p style="text-align: center;"><i>symbolisme</i></p>  <p>On négligera le poids <math>\vec{P}</math> de la particule devant la force magnétique <math>\vec{F}</math>. On pourra à l'occasion d'un exercice, montrer que <math>\vec{P}</math> est effectivement négligeable devant <math>\vec{F}</math>. L'étude du mouvement de la particule électrique dans le champ magnétique ne prendra en compte que le cas où la vitesse <math>\vec{v}_o</math> de la particule est perpendiculaire au vecteur induction magnétique <math>\vec{B}</math>. Le professeur mettra un soin particulier dans la conduite des apprenants à l'appropriation de la démarche permettant de montrer que le mouvement de la particule s'effectue dans un plan et est circulaire et uniforme ; il veillera à ce que les élèves la maîtrisent bien. Les applications de la force magnétique seront données : spectrographe de masse, cyclotron (accélérateur de particules), la déflexion magnétique dans un téléviseur. Le problème des filtres de vitesses (superposition de <math>\vec{E}</math> et de <math>\vec{B}</math>) sera réglé par des exercices.</p>	
<b>Induction électromagnétique et auto-induction</b>  -Induction électromagnétique : mise en évidence expérimentale ; loi de Lenz ; force électromotrice d'induction :	<p>Le phénomène se manifeste à chaque fois qu'il y a variation du flux d'un champ magnétique à travers un circuit.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réalisation d'une expérience de mise en évidence du phénomène d'induction électromagnétique.</li> <li>- Énoncé de la loi de Lenz et son application pour déterminer le sens du courant induit.</li> <li>- Utilisation de l'expression de la f. é. m d'induction :</li> <math display="block">e = - \frac{d\Phi}{dt}</math> <li>- Calcul de la f. é. m.</li> </ul>

$e = -\frac{d\Phi}{dt}$ <p>-Auto- induction : mise en évidence expérimentale ; force électromotrice d'auto-induction ; auto-inductance.</p>		<p>d'induction dans le cas d'un barreau se déplaçant sur deux rails parallèles dans un champ magnétique uniforme.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Exemples d'applications du phénomène d'induction <ul style="list-style-type: none"> <li>• alternateur,</li> <li>• transformateur</li> <li>• freinage par induction...</li> </ul> </li> <li>- Définition du phénomène d'auto-induction avec une bobine <ul style="list-style-type: none"> <li>- Définition de l'auto-inductance</li> <li>- Exploitation des expressions du flux d'auto-induction</li> </ul> <math display="block">\phi = Li</math> et de la f. é. m d'auto-induction <math>e = \frac{-Ldi}{dt}</math> - </li> <li>Écriture de la d.d.p. aux bornes d'une bobine de résistance R et d'inductance L. <ul style="list-style-type: none"> <li>- Réalisation d'un circuit électrique d'après son schéma et inversement.</li> <li>- Lecture et exploitation des courbes de grandeurs physiques visualisées ou enregistrées simultanément sur un oscilloscope.</li> <li>- Expression de l'énergie magnétique emmagasinée par une bobine</li> </ul> <math display="block">E = \frac{1}{2} L i^2</math>. </li> <li>- Expression de la puissance électrique échangée par une bobine : <math>P = Ri^2 + Li \frac{di}{dt}</math></li> </ul>
---	--	---

### 1.2.3-Stratégies objet-d'apprentissage

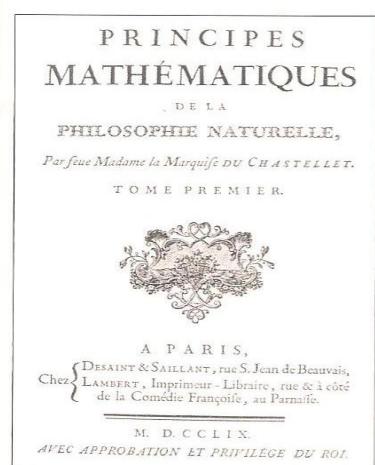
### 1.3- Stratégie d'enseignement/apprentissage

### 1.4-Documents de référence suggérés :

- Physique terminale C et E. 1989. A. TOMASINO et al.
- Sciences physiques. Rappels de Cours et exercices corrigés. Collection Union Bac Terminales D, C et E.
- Physique Terminale S Collection DURANDEAU 1995. Edition Hachette
- Sciences physiques. Rappels de cours et. exercices corrigés. Collection GADO Terminales D, C et E
- Tous autres documents traitant de « Champs et interactions »

## LES ANNEXES DE LA SA1

### LES LOIS DE NEWTON



**1) La première loi est énoncée aujourd'hui sous forme d'un principe.**

**De quel principe s'agit-il ? Reformuler ce principe en langage actuel.**

**2) a) Comment pourrait-on énoncer la deuxième loi aujourd'hui ?**

**b) Expliquer la phrase de Newton :**  
**« Si une force produit un mouvement quelconque, une force double produira un mouvement double. »**

**3) Rechercher dans le cours une autre formulation de la troisième loi.**



### HISTOIRE DES SCIENCES

## ACTIVITÉS DOCUMENTAIRES

**V**OICI UN EXTRAIT du célèbre ouvrage de Newton, *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*, dont la première édition date de 1686 ; il a été traduit par la Marquise du Châtelet et publié en France en 1749.

DE LA PHILOSOPHIE NATURELLE. 17

### AXIOMES, OU LOIX DU MOUVEMENT.

#### P R E M I E R E   L O I .

Tout corps persévére dans l'état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite dans lequel il se trouve , à moins que quelque force n'agisse sur lui , & ne le contraine à changer d'état.

**L**es projectiles par eux-mêmes persévérent dans leurs mouvements, mais la résistance de l'air les retarde , & la force de la gravité les porte vers la terre. Une toupie, dont les parties se détournent continuellement les unes les autres de la ligne droite par leur cohérence réciproque, ne cesse de tourner, que parce que la résistance de l'air la retarde peu à peu. Les planètes & les comètes qui sont de plus grandes masses , & qui se meuvent dans des espaces moins résistans, conservent plus long-temps leurs mouvements progrèsifs & circulaires.

AXIOMES.  
OU LOIX  
DU  
MOUVEMENT.

#### I I .   L O I .

Les changemens qui arrivent dans le mouvement sont proportionnels à la force motrice , & se font dans la ligne droite dans laquelle cette force a été imprimée.

Si une force produit un mouvement quelconque, une force double de cette première produira un mouvement double, & une force triple un mouvement triple, soit qu'elle ait été imprimée en un seul coup , soit qu'elle l'ait été peu à peu & successivement , & ce mouvement , étant toujours déterminé du même côté que la force génératrice, sera ajouté au mouvement que le corps est supposé avoir déjà, s'il conspire avec lui ; ou en sera retranché, s'il lui est contraire, ou bien sera retranché ou ajouté en partie , s'il lui est oblique ; & [de ces deux mouvements il s'en formera un seul , dont la détermination sera composée des deux premières.

#### I I I .   L O I .

L'action est toujours égale & opposée à la réaction ; c'est-à-dire , que les actions de deux corps l'un sur l'autre sont toujours égales , & dans des directions contraires.

Tout corps qui presse ou tire un autre corps est en même-temps tiré ou pressé lui-même par cet autre corps. Si on presse une pierre avec le doigt , le doigt est pressé en même-temps par la pierre. Si un cheval tire une pierre par le moyen d'une corde , il est également tiré par la pierre : car la corde qui les joint & qui est tendue des deux côtés , fait un effort égal pour tirer la pierre vers le cheval , & le cheval vers la pierre ; & cet effort s'oppose autant au mouvement de l'un , qu'il excite le mouvement de l'autre.

ACTIVITÉS DOCUMENTAIRES

# Fiche expérimentale

## ILLUSTRATION EXPÉRIMENTALE DE $\sum \vec{f} = \frac{d\vec{p}}{dt}$

La relation  $\sum \vec{f} = \frac{d\vec{p}}{dt}$  peut être vérifiée au cours d'une séance de travaux pratiques.

Un solide de masse  $m = 0,620 \text{ kg}$  et de centre d'inertie  $G$ , est placé sur une table à coussin d'air horizontale. Il est retenu par un ressort tendu parallèlement à la table. L'autre extrémité du ressort est fixé en un point  $O$  (fig. 12 a).

Le solide est lancé et glisse. Son centre d'inertie décrit une trajectoire curviligne plane et sa position est repérée tous les  $\tau = 20 \text{ ms}$ .

A la date  $t$ , le solide est soumis à trois forces (fig. 12 b) : son poids  $\vec{P}$ , la réaction  $\vec{R}$  du support et la tension  $\vec{T}$  du ressort.

Leur somme vectorielle est  $\sum \vec{f} = \vec{P} + \vec{R} + \vec{T}$ .

Or la réaction de l'aérotable compense le poids :

$$\vec{P} + \vec{R} = \vec{0},$$

d'où :

$$\sum \vec{f} = \vec{T}.$$

Il s'agit donc de vérifier expérimentalement que :

$$\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \vec{T}.$$

### a) Mesure de $\vec{T}$

Les caractéristiques de cette force  $\vec{T}$  sont :

- direction et sens : ceux de  $\overrightarrow{GO}$  ;
- valeur :  $T = k \cdot (\ell - \ell_0)$ , où  $\ell_0$  est la longueur initiale du ressort non-tendu et  $\ell$  la longueur du ressort tendu.

La **raideur** du ressort choisi est  $k = 4,2 \text{ N.m}^{-1}$  et sa longueur initiale est  $\ell_0 = 10,5 \text{ cm}$ . A la date  $t$ , le ressort est tendu et sa longueur est  $\ell = 39,4 \text{ cm}$ . Par suite, la valeur de la tension est :

$$T = 4,2 \times (0,394 - 0,105), \quad \text{soit : } T = 1,21 \text{ N.}$$

### b) Valeur de $\Delta t$

Pendant une durée très brève, la tension  $\vec{T}$  peut être considérée comme constante en direction et en valeur. En choisissant  $\Delta t = 2\tau$ , lorsque le centre d'inertie du solide passe de  $G_1$  en  $G_2$ , cette condition est remplie.

### c) Mesure de $\Delta \vec{p}$

Les vecteurs-vitesse correspondant à ces deux points  $G_1$  et  $G_2$ , (fig. 12 c), ont les caractéristiques respectives :

$$\vec{v}_1 \begin{cases} \text{direction et sens : ceux de } \overrightarrow{G_0G} \\ \text{valeur } v_1 = \frac{G_0G}{2\tau} = 0,90 \text{ m.s}^{-1} \end{cases}$$

$$\vec{v}_2 \begin{cases} \text{direction et sens : ceux de } \overrightarrow{GG_3} \\ \text{valeur } v_2 = \frac{GG_3}{2\tau} = 0,94 \text{ m.s}^{-1}. \end{cases}$$

La variation de la quantité de mouvement du solide :

$$\Delta \vec{p} = m \cdot \Delta \vec{v}$$

pendant la durée  $\Delta t$ , se déduit de la construction de  $\Delta \vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$ .

- La construction de  $\Delta \vec{p}$  montre que sa direction et celle de  $\vec{T}$  sont confondues à  $1^\circ$  près.

- Avec la mesure  $\Delta v = 0,08 \text{ m.s}^{-1}$ , il vient :

$$\Delta p = m \cdot \Delta v = 0,05 \text{ kg.m.s}^{-1} \text{ et } \frac{\Delta p}{\Delta t} = 1,24 \text{ N.}$$

### d) Résultats

Le vecteur  $\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$ , aux incertitudes près, est égal au vecteur  $\vec{T}$  (ici à 3 % près environ).

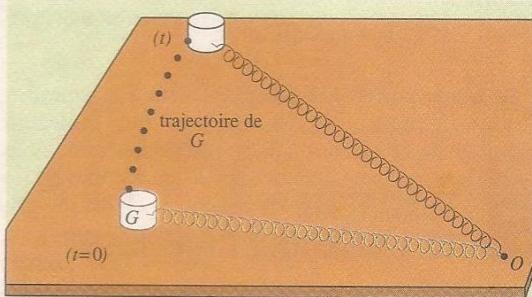


Fig. 12 a. A la date  $t=0$ , le solide a été lancé sur la table dans une direction différente de celle de l'axe du ressort tendu.

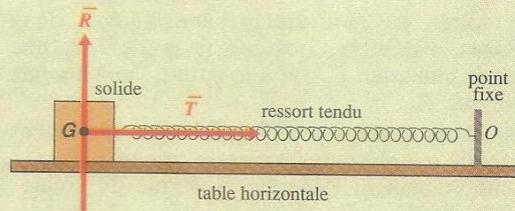


Fig. 12 b

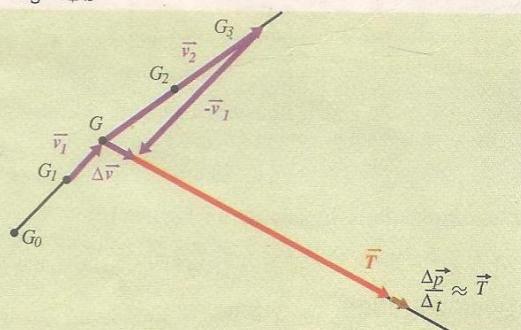


Fig. 12 c.  $\overrightarrow{GG_3} = \vec{v}_2$  est un représentant du vecteur-vitesse  $\vec{v}_2$  de  $G_2$  et  $\overrightarrow{G_0G} = \vec{v}_1$  est un représentant de  $\vec{v}_1$  de  $G_1$ .  $\vec{v}_2 - \vec{v}_1 = \Delta \vec{v}$  est tracé à partir de  $G$ .

## UNE DEMARCHE DE RESOLUTION DES PROBLEMES DE MECANIQUE

- Résoudre un problème de mécanique par la méthode suivante :

- préciser le système considéré;
- choisir le référentiel galiléen et le munir d'un repère ( $O, \hat{i}, \hat{j}, \hat{k}$ );
- rechercher toutes les forces appliquées au système;
- puis :

*Soit :*

- appliquer la relation  $\sum \vec{f} = m \cdot \vec{a}_G$  et en déduire l'accélération du centre d'inertie;
- préciser les conditions initiales;
- calculer par deux intégrations successives à partir de  $\vec{a}_G$ , la vitesse  $\vec{v}_G$  puis les relations  $x(t)$ ,  $y(t)$  et  $z(t)$  permettant de déterminer le mouvement du centre d'inertie.

*Soit :*

- appliquer le théorème de l'énergie cinétique pour calculer directement la vitesse du centre d'inertie.

**SOURCE :** J. BOURDAIS, PHYSIQUE TCE, Ed BORDAS 1989, p 33

### EXERCICE 1

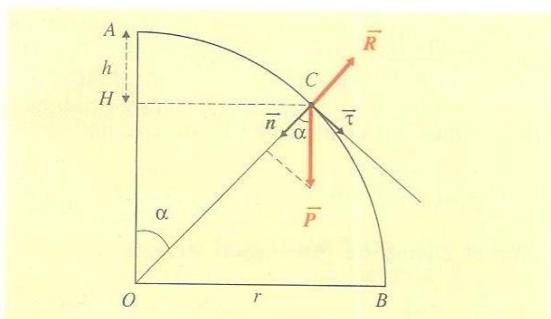
Un skieur, supposé ponctuel, aborde en  $A$  une piste circulaire  $AB$  avec une vitesse négligeable.  $AB$  est dans un plan vertical et représente un quart de circonference de centre  $O$  et de rayon  $r = 15 \text{ m}$ . La piste est verglacée et les frottements sont négligeables.

Le skieur perd le contact avec la piste en un point  $C$ , tel que l'angle  $(\overrightarrow{OA}, \overrightarrow{OC}) = \alpha$ .

1) Exprimer sa vitesse  $v_c$ , au point  $C$ , en fonction de  $\alpha$ ,  $r$  et  $g$ .

2) Calculer numériquement l'angle  $\alpha$ .

3) Déterminer le vecteur-vitesse  $\vec{v}_c$  du skieur en  $C$ .



### SOLUTION

#### 1) Expression de la vitesse du skieur au point $C$

Le système est le skieur supposé ici ponctuel. Le référentiel galiléen est la piste.

Les forces appliquées au skieur en contact avec la piste sont : son poids  $\vec{P}$  et la réaction  $\vec{R}$  du support. La direction de  $\vec{R}$  est perpendiculaire à la piste, puisqu'il n'y a pas de frottement.

En appliquant le théorème de l'énergie cinétique entre les points  $A$  et  $C$ , il vient :

$$E_c(C) - E_c(A) = W_{\vec{P}(A, C)} + W_{\vec{R}(A, C)},$$

$$\text{soit : } \frac{1}{2} m \cdot v_c^2 - 0 = m \cdot g \cdot h + 0,$$

$h$  étant la dénivellation entre les niveaux de  $A$  et de  $C$ . On en déduit :

$$h = AO - HO = r - r \cdot \cos \alpha = r \cdot (1 - \cos \alpha),$$

$$\text{d'où : } \frac{1}{2} m \cdot v_c^2 = m \cdot g \cdot r \cdot (1 - \cos \alpha)$$

$$\text{et } v_c^2 = 2g \cdot r \cdot (1 - \cos \alpha).$$

#### 2) Valeur de l'angle $\alpha$

Si le skieur est encore en contact avec la piste en  $C$ , il est soumis aux deux forces  $\vec{P}$  et  $\vec{R}$ . Leur somme est  $\vec{P} + \vec{R} = \Sigma \vec{f} = m \cdot \vec{a}_G = \vec{f}$ . Leurs coordonnées dans la base de Frenet ( $\vec{\tau}$ ,  $\vec{n}$ ), au point  $C$ , sont :

$$\begin{aligned} \vec{P} &\left\{ \begin{aligned} P_\tau &= m \cdot g \cdot \sin \alpha \\ P_n &= m \cdot g \cdot \cos \alpha \end{aligned} \right. & \vec{R} &\left\{ \begin{aligned} R_\tau &= 0 \\ R_n &= -R \end{aligned} \right. \end{aligned}$$

$$\text{et } \begin{cases} F_\tau = m \cdot \frac{dv}{dt} \\ F_n = m \cdot \frac{v_c^2}{r}. \end{cases}$$

La relation permettant de déterminer  $v_c$  est :

$$P_n + R_n = F_n,$$

$$\text{soit : } m \cdot g \cdot \cos \alpha - R = m \cdot \frac{v_c^2}{r}.$$

$$\text{Or, } v_c^2 = 2g \cdot r \cdot (1 - \cos \alpha),$$

$$\text{d'où : } m \cdot g \cdot \cos \alpha - R = 2m \cdot g \cdot (1 - \cos \alpha)$$

$$\text{et } 3m \cdot g \cdot \cos \alpha - R = 2m \cdot g.$$

Si le skieur perd le contact avec la piste, la réaction n'existe plus ( $R = 0$ ), et :  $3m \cdot g \cdot \cos \alpha = 2m \cdot g$ ,

$$\text{d'où : } \cos \alpha = \frac{2}{3}.$$

En  $C$ , l'angle  $(\overrightarrow{OA}, \overrightarrow{OC})$  vaut :

$$\alpha = 48^\circ.$$

Remarquons que cet angle est indépendant de la masse du skieur.

#### 3) Vecteur-vitesse du skieur en $C$

Sa direction est celle du vecteur unitaire  $\vec{\tau}$ , de la tangente en  $C$  à la piste, qui fait donc l'angle

$$90^\circ - 48^\circ = 42^\circ,$$

avec la verticale  $OA$ .

Son sens est toujours celui du mouvement (donc aussi celui de  $\vec{\tau}$ ).

Sa valeur est :

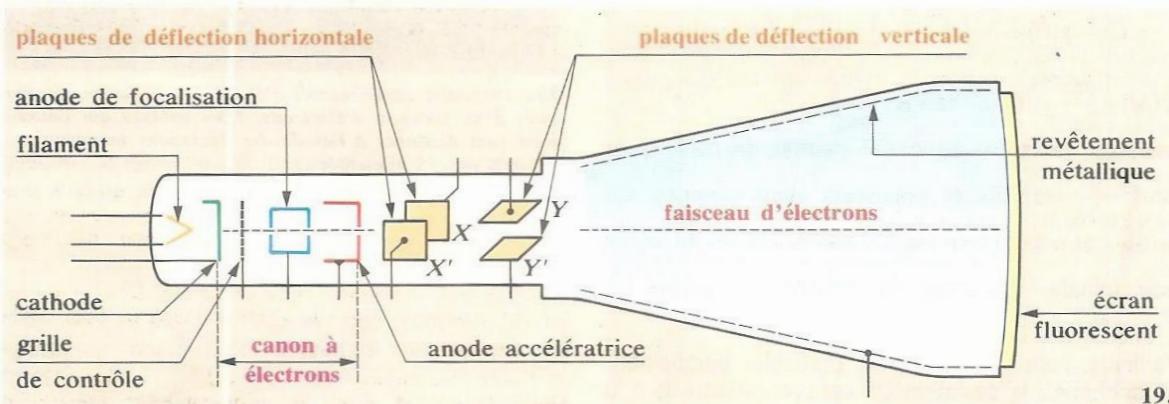
$$v_c = \sqrt{2 \times 9,8 \times 15 \times (1 - \cos 48)} \approx 10 \text{ m.s}^{-1}.$$

Ensuite, le skieur quitte la piste en  $C$  et décrit une parabole qui sera étudiée au chapitre suivant.

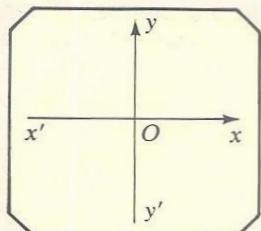


**SOURCE :** J. BOURDAIS, PHYSIQUE TCE, Ed BORDAS 1989, p 54

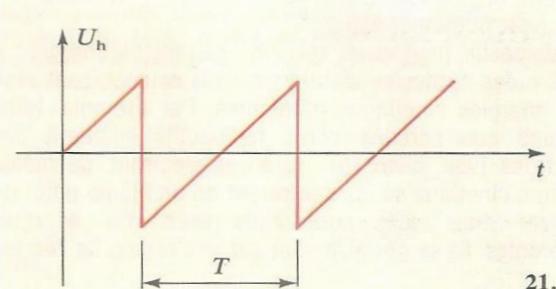
PRINCIPE DE L'OSCILLOGRAPHE



19.



20.



21.

Les électrons émis par la cathode sont accélérés par un champ électrique élevé. Un trou dans l'anode accélératrice leur permet de s'échapper du canon et de passer entre les plaques de déflection horizontale et verticale (fig. 19).

Toute tension appliquée entre les plaques  $X$  et  $X'$  provoque une déviation verticale; le spot se déplace sur  $y'y$  (fig. 20) d'une quantité  $y$  proportionnelle à la tension appliquée (cf. application 5) :

$$y = kU_v$$

La mesure de  $y$  permet donc une mesure de  $U_v$  lorsque l'appareil a été étalonné; l'oscilloscophe est un voltmètre.

Un système incorporé à l'oscilloscophe peut produire une tension périodique en dents de scie  $U_h$ , de période  $T$ , entre les plaques  $Y$  et  $Y'$  (balayage).

Sur une période, la tension  $U_h$  est donc proportionnelle au temps  $t$  (fig. 21) :

$$t \in [nT, (n+1)T], \quad U_h = at.$$

Le déplacement du spot sur l'axe horizontal  $x'x$  étant proportionnel à  $U_h$ , on a donc :

$$x = k't.$$

En l'absence de tension entre les plaques  $X$  et  $X'$ , le spot est animé d'un mouvement rectiligne uniforme horizontal suivant  $x'x$  pendant la montée de la tension, de gauche à droite, puis il revient brusquement vers la gauche, pour repartir à la période suivante. Lorsqu'on applique les deux tensions  $U_v$  et  $U_h$ , et si  $U_v$  dépend du temps, on obtiendra, sur une période  $T$ , la variation de  $U_v$  en fonction du temps.

La période  $T$  constitue la *base de temps* de l'oscilloscophe, que l'on peut régler.

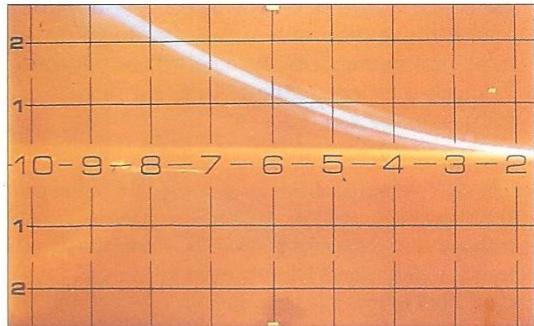
# VÉRIFICATION DE LA DÉFLEXION ÉLECTRIQUE

## 1. OBJECTIF

Vérifier que la défexion électrique est proportionnelle à la tension  $U_{PP'}$  appliquée entre les plaques.

## 2. MATÉRIEL

- Un tube à vide comportant un canon à électrons et un dispositif de défexion électrique. La fluorescence d'un écran longitudinal permet la mesure de la défexion (doc. 1).
- Une alimentation électrique adaptée avec :
  - une sortie 6,3 V pour le chauffage du filament ;
  - des sorties (-2 500 V, 0 V, +2 500 V) pour l'accélération et la défexion des électrons.



$$1. U_{PP'} = U_{AC} .$$

## 3. PRINCIPE

Dans le champ électrique uniforme et constant qui règne entre les plaques déflectrices  $P$  et  $P'$ , l'équation de la trajectoire des électrons est :

$$y = \frac{e \cdot E}{2m \cdot v_0^2} \cdot x^2 .$$

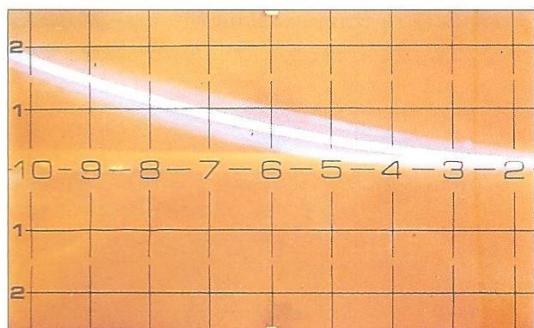
$U_{PP'}$  étant la tension appliquée entre les plaques horizontales (doc. 9, p. 127), alors  $U_{PP'} = E \cdot d$ , avec  $d$  : distance entre celles-ci.

$U_{AC}$  étant la tension accélératrice du canon à électrons, l'énergie cinétique à la sortie du canon est :

$$\mathcal{E}_K = \frac{1}{2} m \cdot v_0^2 = e \cdot U_{AC}, \text{ d'où } v_0^2 = \frac{2e \cdot U_{AC}}{m} .$$

$$\text{La défexion est alors donnée par } y = \frac{1}{4} \frac{U_{PP'}}{U_{AC} \cdot d} \cdot x^2 .$$

$U_{AC}$  et  $d$  étant fixés, nous vérifions que, pour une valeur choisie de  $x$ , la défexion  $y$  est proportionnelle à  $U_{PP'}$ .



$$2. U_{PP'} = \frac{1}{2} U_{AC} .$$

## 4. PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

Pour une valeur fixe de  $U_{AC}$ , donner à  $U_{PP'}$  les valeurs suivantes :

$$U_{PP'} = U_{AC} ; U_{PP'} = \frac{1}{2} U_{AC} ; U_{PP'} = 2 U_{AC} .$$

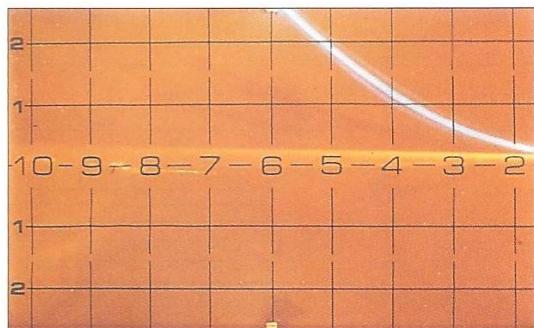
Pour  $x = 5$  div sur l'écran, mesurer les valeurs de la déviation  $y$ .

## 5. RÉSULTATS ET CONCLUSION

Pour  $x = 5$  div.

$\frac{U_{PP'}}{U_{AC}}$	1	0,5	2
$y(\text{div})$	0,9	0,5	1,9

Avec  $U_{AC}$  constant, la défexion  $y$  est pratiquement proportionnelle à la tension  $U_{PP'}$  appliquée entre les plaques déflectrices. L'écart constaté (environ 10 %) est sans doute dû au manque de précision de la mesure de la défexion  $y$ .



$$3. U_{PP'} = 2 U_{AC} .$$

# ACTIVITÉS DOCUMENTAIRES

## UN DÉTECTEUR DE PARTICULES : LA CHAMBRE À FILS

**G**EORGES CHARPAK a reçu le prix Nobel de Physique en 1992 pour « l'invention et le développement de détecteurs de particules, notamment de la chambre proportionnelle multifils ». Voici, de manière schématique, le principe d'une chambre à fils utilisée au C.E.R.N.

« Entre deux plaques parallèles, est disposée une nappe de fils parallèles et équidistants (doc. 2). Les fils sont portés à un potentiel  $V$  de quelques kilovolts et les plaques sont reliées à la terre dont le potentiel sert de référence.

Ordres de grandeurs :

- distance fil-fil : d'une fraction de mm à quelques mm ;
- distance fil-plaque : de l'ordre du mm ;
- diamètre du fil : 30 µm.

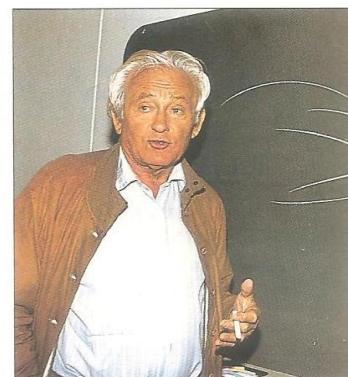
Si on considère un fil, on peut tracer les lignes de champ entre le fil et les plaques (doc. 3). Ce champ électrique à proximité

du fil est important et quasi radial. Si une particule ionisante traverse la chambre, elle crée, dans le gaz, des ions et des électrons.

Ces électrons se dirigent vers le fil sous l'effet du fort champ électrique ( $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$ ) qui règne à son voisinage.

Les électrons ionisent à leur tour les atomes du gaz : il se produit alors un phénomène d'avalanche d'électrons.

Un amplificateur branché sur chaque fil, permet d'enregistrer ces impulsions. L'impulsion a lieu à une date  $t_1$ , à une cote  $z_1$  et à une abscisse  $x_1$  (doc. 4) qui est l'abscisse du fil.



1. Georges Charpak.

Si ensuite on considère un réseau de fils parallèles à  $Ox$ , de la même manière, on détermine l'ordonnée  $y_1$ .

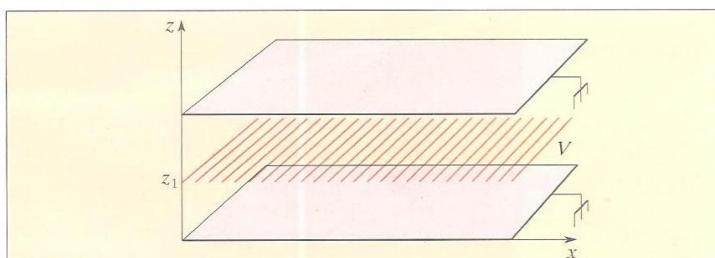
Globalement, on a donc  $t(z)$ ,  $x(z)$  et  $y(z)$ . Toutes ces données sont entrées sur ordinateur.

Imaginons enfin qu'on superpose un très grand nombre de ces réseaux de fils (ce qui est fait au C.E.R.N.). On obtient alors une gigantesque chambre où se déroulent les collisions des particules étudiées.

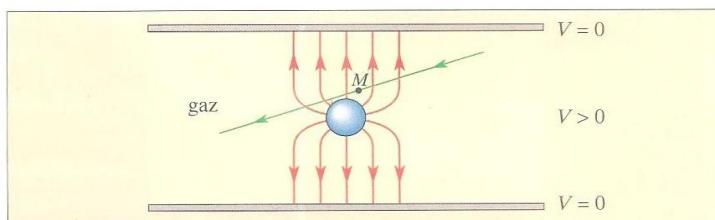
Si on se souvient que chaque fil est relié à un amplificateur et que toutes les données sont ensuite traitées sur ordinateur (il y a donc une batterie d'ordinateurs le long de la chambre), on imagine aisément qu'il s'agit d'un matériel lourd (plusieurs tonnes) et coûteux (mise en œuvre de circuits intégrés spécifiques...). Mais cela permet d'obtenir les trajectoires des particules bien plus rapidement qu'avec les chambres à bulles. En effet, on a pour chaque réseau les coordonnées et l'instant  $t$ , donc en définitive on peut retracer les trajectoires, connaître les vitesses des particules et les identifier. »

(Source : Feuille de liaison de l'École de Physique-Chimie de Paris, où enseigne Georges Charpak).

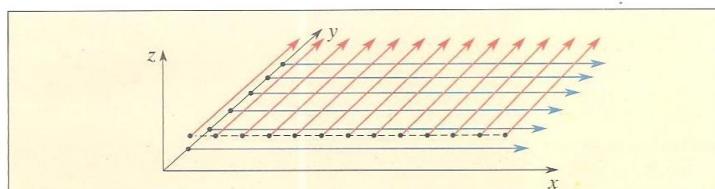
# ACTIVITÉS DOCUMENTAIRES



2. Nappe de fils disposés entre les plaques.



3. Lignes de champ électrique issues d'un fil.



4. Nappes croisées de fils.

1) Sur le document 3, justifier l'orientation des lignes de champ.

2) Représenter la force  $\vec{F}$  qui s'exerce sur un électron placé en  $M$ .

3) Définir un champ radial.

4) Sur le document 3, dans quelle région de l'espace le champ peut-il être considéré comme uniforme ?

## CHAMP MAGNETIQUE

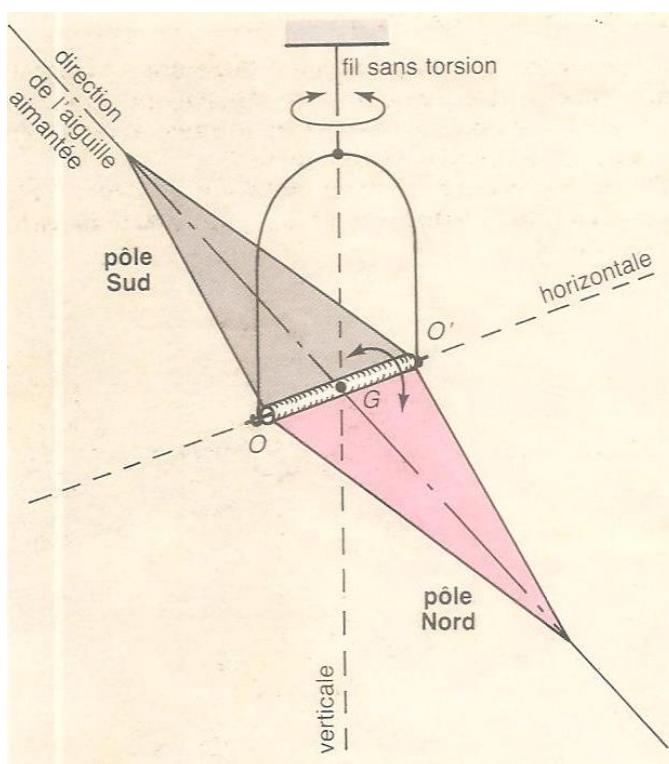


Fig. 1. L'aiguille aimantée peut tourner autour de la verticale grâce au fil sans torsion. Puisque son centre d'inertie  $G$  se situe sur le second axe de rotation  $OO'$ , son poids n'intervient pas.

Finalement, c'est le **champ magnétique**  $\vec{B}$  régnant autour de  $G$  qui oriente l'aiguille.

L'aiguille a un axe de symétrie, c'est celui-ci qui porte le nom de *direction de l'aiguille aimantée*.

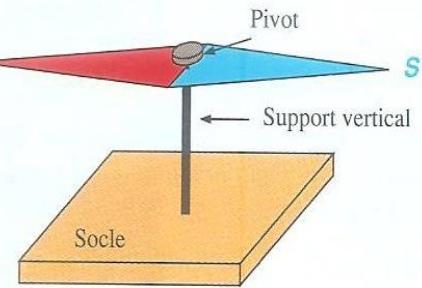
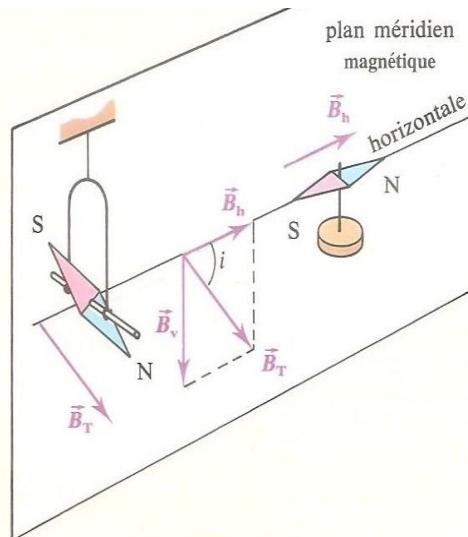


Fig. 2. Aiguille aimantée.



23. L'inclinaison  $i$  est l'angle défini par le vecteur champ magnétique terrestre  $\vec{B}_T$  et sa composante horizontale  $\vec{B}_h$ .

**SOURCES :** TOMASINO, PHYSIQUE TCE, Ed NATHAN 1989, p 112  
J. BOURDAIS, PHYSIQUE TCE, Ed BORDAS 1989, p 106

les lignes de champ magnétique sortent des régions nord et pénètrent dans les régions sud.

Ce résultat est général.

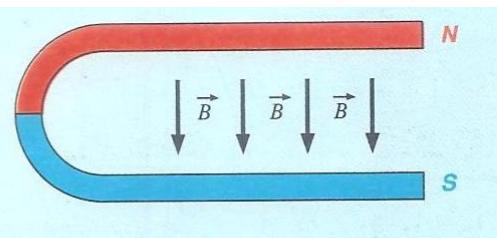
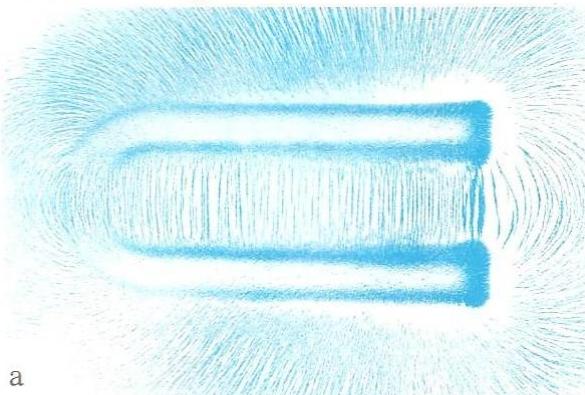


Fig. 13. Spectre magnétique d'un aimant en U.  
a) Photographie du spectre.  
b) Champ uniforme entre les branches.

**SOURCE :** J. BOURDAIS, PHYSIQUE TCE, Ed BORDAS 1989, p 106

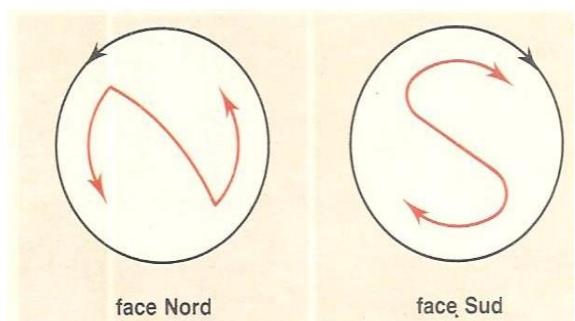
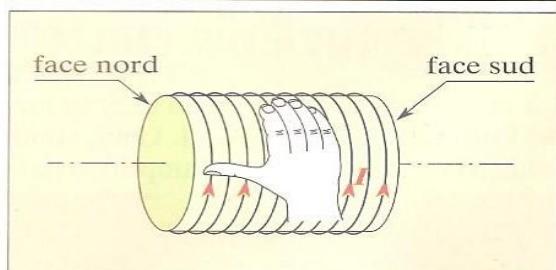
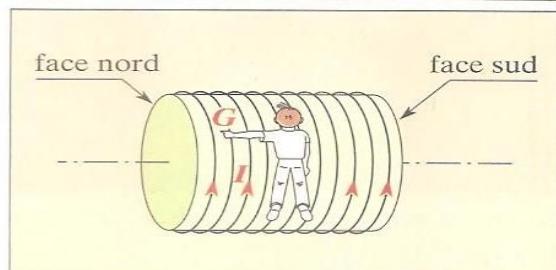
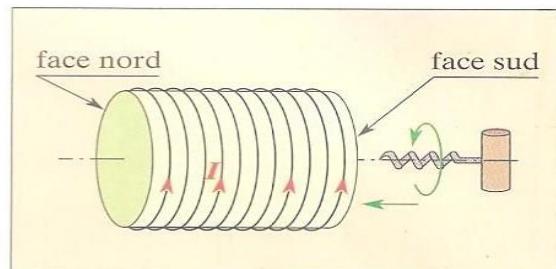
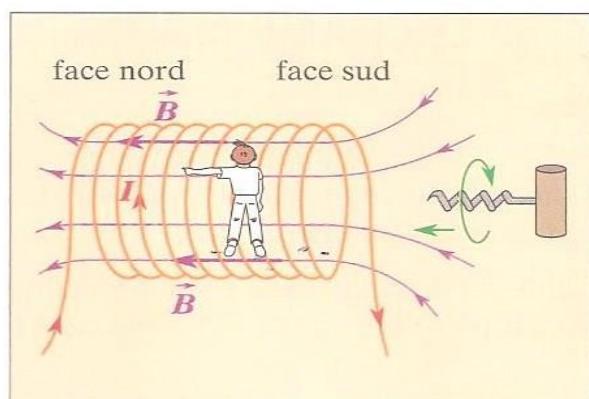
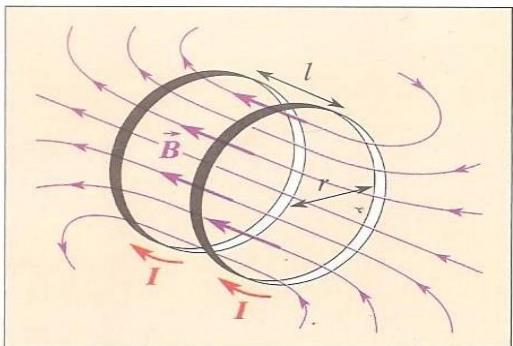


Fig. 10. Détermination des faces Nord et Sud d'une bobine.



3. Règles pour déterminer les faces nord et sud d'une bobine.

10. Lignes de champ à l'intérieur d'un solénoïde long (bobine dont la longueur est au moins 10 fois supérieure à son rayon)



11. Bobines de Helmholtz. La distance  $l$  entre les deux bobines est égale à leur rayon.

**SOURCE :** DURANDEAU, PHYSIQUE TS,

Ed HACHETTE 1995, p 48 ET 48

**SOURCE :** J. BOURDAIS, PHYSIQUE TCE, Ed BORDAS 1989, p 106

## RÉSOLUTION D'UN PROBLÈME

# MESURE DE LA COMPOSANTE HORIZONTALE DU CHAMP MAGNÉTIQUE TERRESTRE

### ÉNONCÉ

Afin de mesurer la composante horizontale du champ magnétique terrestre, on utilise un solénoïde à spires non jointives permettant de voir l'aiguille aimantée placée au centre d'une boussole. Le champ magnétique à l'intérieur du solénoïde a une valeur de  $5 \cdot 10^{-5}$  T.

1) On dispose l'axe du solénoïde horizontalement dans le plan du méridien magnétique. Le circuit dans lequel est inséré le solénoïde comporte un interrupteur. On ferme l'interrupteur.

a) On constate que l'aiguille aimantée tourne de  $180^\circ$ . Interpréter.

b) Que se passe-t-il lorsque l'on inverse le sens du courant dans le solénoïde ?

2) L'axe du solénoïde est maintenant placé perpendiculairement au plan du méridien magnétique. Lorsque l'on ferme l'interrupteur, l'aiguille aimantée tourne d'un angle de  $68^\circ$ . Calculer la valeur de la composante horizontale du champ magnétique terrestre.

### CONSEILS

Il faut savoir que :

- l'aiguille aimantée d'une boussole est sensible à la composante horizontale  $\vec{B}_h$  du champ magnétique terrestre ;
- cette aiguille prend la direction du champ résultant  $\vec{B} = \vec{B}_S + \vec{B}_h$  ;
- $\vec{B}_S$  dépend du sens du courant.

Faire un schéma de la situation physique décrite, avant et après le passage du courant.

Représenter les deux vecteurs  $\vec{B}_S$  et  $\vec{B}_h$  et construire le vecteur  $\vec{B}$ , champ résultant.

Identifier la position initiale et la position finale de l'aiguille pour déduire l'angle dont elle a tourné.

Calculer  $\alpha$  par la trigonométrie.

### SOLUTION

1) a) En notant  $\vec{B}_S$  le champ magnétique créé par le solénoïde et  $\vec{B}_h$  la composante horizontale du champ magnétique terrestre, l'aiguille prend la direction du champ résultant :

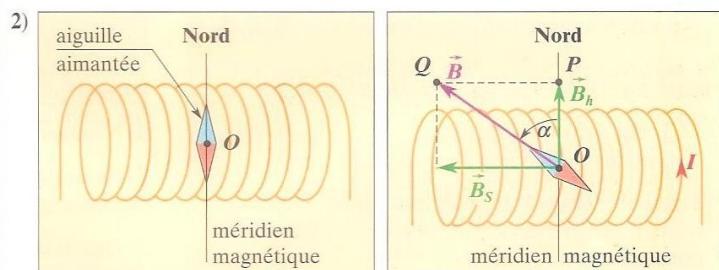
$$\vec{B} = \vec{B}_S + \vec{B}_h.$$

Dans cette expérience, les champs  $\vec{B}_S$  et  $\vec{B}_h$  ont la même direction :  $\vec{B}$  a le sens du champ le plus intense.

L'aiguille tournant de  $180^\circ$ ,  $\vec{B}_S$  est en sens inverse de  $\vec{B}_h$  et la valeur de  $\vec{B}_h$  est inférieure à celle de  $\vec{B}_S$  :

$$B_h < 5 \cdot 10^{-5}$$
 T.

b) En inversant le sens du courant, on inverse celui de  $\vec{B}_S$  ;  $\vec{B}$ ,  $\vec{B}_S$  et  $\vec{B}_h$  ont le même sens : l'aiguille reprend sa position initiale.



Le champ magnétique  $\vec{B}_S$  créé par le solénoïde est ici perpendiculaire à la composante horizontale  $\vec{B}_h$  du champ terrestre :  $\vec{B} = \vec{B}_h + \vec{B}_S$ .

Au départ, l'aiguille est parallèle à  $\vec{B}_h$  ; lorsque le courant passe, l'aiguille est parallèle à  $\vec{B}$  : l'aiguille tourne donc de l'angle  $\alpha = (\vec{B}_h, \vec{B})$ .

Dans le triangle rectangle  $OPQ$  :

$$\tan \alpha = \frac{PQ}{PO} = \frac{B_S}{B_h}, \text{ d'où } B_h = \frac{B_S}{\tan \alpha}.$$

$$\text{A.N. : } B_h = \frac{5 \cdot 10^{-5}}{\tan 68^\circ} \approx 2 \cdot 10^{-5} \text{ T, soit } B_h = 2 \cdot 10^{-5} \text{ T.}$$

Commenter le résultat.

Ce résultat est conforme à celui trouvé à la question 1) a), ainsi qu'à la valeur réelle :  $B_h = 2 \cdot 10^{-5}$  T.

# MESURE DE LA VALEUR DU CHAMP MAGNÉTIQUE DANS UNE BOBINE

## 1. OBJECTIFS

Savoir utiliser une sonde de Hall pour mesurer la valeur  $B$  d'un champ magnétique.

Vérifier la proportionnalité de  $B$  à l'intensité  $I$  du courant et à  $n = \frac{N}{l}$  (nombre de spires par unité de longueur).

Étudier la valeur de  $B$  en divers points de l'axe d'un solénoïde.

## 2. MATÉRIEL

- Un teslamètre à sonde de Hall.
- Un voltmètre et un ampèremètre.
- Un solénoïde à 1 ou 2 enroulements, possédant des sorties intermédiaires.
- Un générateur de tension continue (6 V ; 5 A) et un rhéostat.

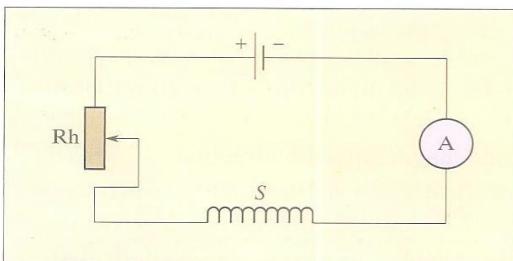
## 3. PRINCIPE DE LA SONDE DE HALL

Une sonde de Hall, parcourue par un courant d'intensité constante et convenablement placée dans un champ magnétique, délivre une tension  $U_S$  proportionnelle à la valeur  $B$  du champ :

$$U_S = k \cdot B.$$

## 4. PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

- 1) Réaliser le circuit d'alimentation de la bobine comprenant un rhéostat et un ampèremètre (doc. 1).



1. Montage du circuit d'alimentation du solénoïde.

- 2) Mettre le teslamètre sous tension. Brancher le voltmètre à la sortie du teslamètre.
- 3) Éloigner la sonde de toute source de champ magnétique. Régler le teslamètre de façon que le voltmètre indique zéro.
- 4) Placer la sonde pour mesurer la valeur de  $B$  :
  - au centre du solénoïde pour étudier l'influence de l'intensité  $I$  du courant dans le solénoïde ;
  - en divers points de l'axe, avec une valeur de  $I$  donnée, pour contrôler l'uniformité du champ.

## 5. RÉSULTATS ET EXPLOITATION DES MESURES

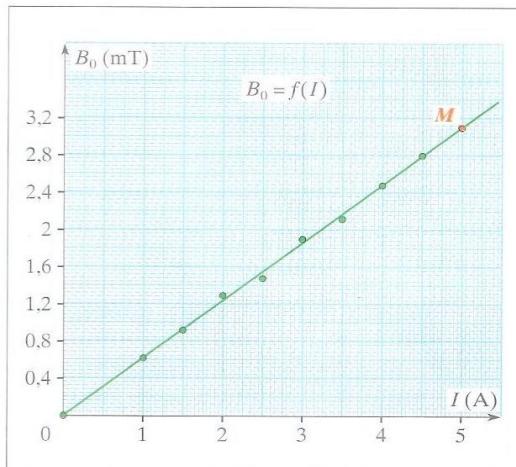
### 1. Étude de $B_0 = f(I)$ au centre du solénoïde

Solénoïde :  $N = 200$  spires,  $l = 40$  cm et  $\varnothing = 50$  mm. Teslamètre :  $k = 0,2 \text{ V} \cdot \text{T}^{-1}$  (soit 1 mV pour 5 mT).

### ■ Résultats

$I(\text{A})$	0	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
$U_S(\text{mV})$	0	12,6	18,8	25,9	30,7	37,8	43	49,7	56	62
$B_0(\text{mT})$	0	0,63	0,94	1,29	1,53	1,89	2,15	2,48	2,8	3,1

### ■ Tracé du graphique $B_0 = f(I)$ (doc. 2).



2. Courbe  $B_0 = f(I)$ .

### ■ Exploitation

Le graphe est une droite d'équation  $B_0 = a \cdot I$ . Sur la droite, nous repérons le point  $M$  de coordonnées  $(I = 5 \text{ A}, B_0 = 3,1 \text{ mT})$ . Nous en déduisons  $a$  :

$$a = \frac{3,1 \cdot 10^{-3}}{5} = 0,62 \cdot 10^{-3} \text{ T} \cdot \text{A}^{-1}.$$

Comparons avec la valeur théorique déduite de la formule :

$$B_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{N}{l} \cdot I,$$

$$\text{soit } a = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{N}{l} = 4\pi \cdot 10^{-7} \times \frac{200}{0,4};$$

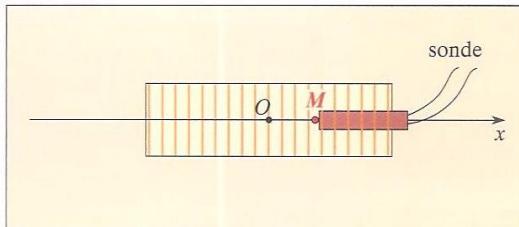
$$a = 0,63 \cdot 10^{-3} \text{ T} \cdot \text{A}^{-1}.$$

Les deux valeurs de  $a$  diffèrent de moins de 2 %. La proportionnalité entre la valeur du champ magnétique  $B$  dans une bobine et la valeur de l'intensité qui le crée est vérifiée.

**SOURCE :** DURANDEAU, PHYSIQUE TS, Ed HACHETTE 1995, p 50

## 2. Étude de la valeur du champ le long de l'axe ( $Ox$ ) d'un solénoïde

- Maintenir  $I = 4 \text{ A}$  dans le même solénoïde. Mesurer  $B$  en divers points  $M$  d'abscisse  $x = \overline{OM}$  (doc. 3).



### 3. Mesure de $B$ au point $M$ .

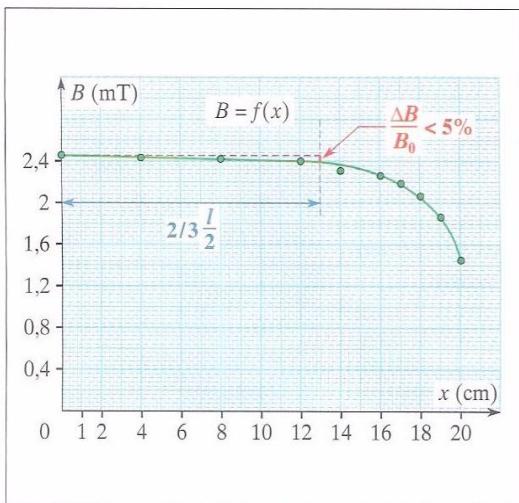
#### Résultats

$I = 4 \text{ A}$ .

$x (\text{cm})$	0	4	8	12	14
$U_S (\text{mV})$	49,0	48,6	48,4	48,0	46,5
$B (\text{mT})$	2,45	2,43	2,42	2,40	2,32

$x (\text{cm})$	16	17	18	19	20
$U_S (\text{mV})$	45,5	43,8	41,5	37,4	29,0
$B (\text{mT})$	2,27	2,19	2,07	1,87	1,45

#### Tracé du graphique $B = f(x)$ (doc. 4).



### 4. Courbe $B = f(x)$ .

#### Exploitation

Nous observons que la variation de  $B$  est inférieure à 5 % sur les deux tiers de la demi-longueur étudiée, dans la partie centrale.

Le champ magnétique, à l'intérieur d'un solénoïde, a une valeur sensiblement constante, sauf pour des points proches des extrémités.

## 3. Influence de la longueur du solénoïde sur la valeur $B_0$ au centre

- En utilisant les bornes intermédiaires, réaliser des bobines de même rapport  $\frac{N}{l}$ , mais de longueurs différentes. Mesurer la valeur  $B_0$  du champ magnétique au centre, l'intensité  $I$  étant fixée dans les bobines.

#### Résultats

$$I = 4 \text{ A}, \frac{N}{l} = 500 \text{ et } \emptyset = 5 \text{ cm}.$$

$l (\text{cm})$	40	20	12	8	4
$U_S (\text{mV})$	49,5	49,2	47,7	44,0	30,0
$B_0 (\text{mT})$	2,47	2,46	2,38	2,20	1,50

#### Exploitation

Comparons le résultat à la valeur calculée par la relation :

$$B_{0,\text{th}} = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{N}{l} \cdot I,$$

soit  $B_{0,\text{th}} = 2,5 \text{ mT}$ .

Pour une longueur  $l$  supérieure à 12 cm, la valeur du champ diffère de moins de 5 % de la valeur  $B_{0,\text{th}}$ .

On montre que la relation  $B_{0,\text{th}}$  convient, avec une précision supérieure à 2 %, lorsque la longueur du solénoïde est supérieure à cinq fois le diamètre.

## 6. CONSEILS TECHNIQUES

#### Fluctuation de l'intensité dans la bobine

Pendant toutes les mesures à  $I = \text{cte}$ , veiller à ajuster la valeur de l'intensité à l'aide du rhéostat.

#### Choix des points de mesure (seconde étude) lorsque la loi n'est pas linéaire

Rapprocher les points de mesure lorsque la loi n'est pas linéaire pour tracer avec plus de précision la partie courbe du graphe.

#### Intensité trop faible dans la bobine

(par exemple, 0,1 A dans ce T.P.)

La sensibilité de la sonde n'est pas suffisante pour obtenir des valeurs précises de  $B$ . Choisir une intensité acceptable par la bobine et qui permette d'obtenir une tension d'au moins 2 mV.

#### Le graphe $B_0 = f(I)$ ne passe pas par l'origine

Le zéro du teslamètre a été mal réglé ou il y a eu des fluctuations nécessitant un nouveau réglage.

#### Le graphe $B_0 = f(I)$ n'est pas une droite

L'intensité du courant dans le solénoïde fluctue et la valeur relevée ne correspond pas à la valeur de  $B$  mesurée, ou le teslamètre a dérivé (sans champ magnétique, le voltmètre n'indique plus zéro).

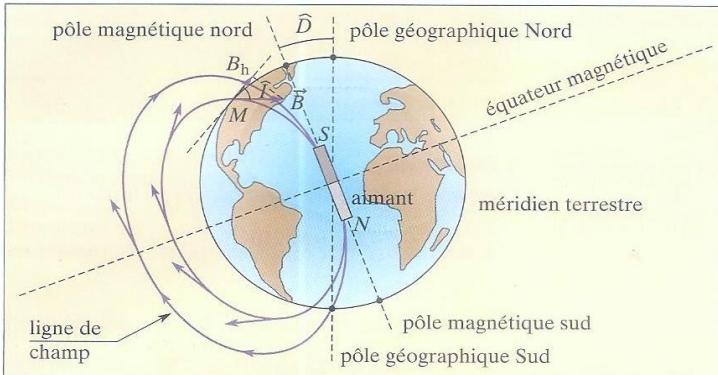
**SOURCE :** DURANDEAU, PHYSIQUE TS, Ed HACHETTE 1995, p 51

# ACTIVITÉS DOCUMENTAIRES

## LE CHAMP MAGNÉTIQUE TERRESTRE

« LE CHAMP MAGNÉTIQUE TERRESTRE reste un personnage secret, même pour ses intimes », se plaisait à dire Émile Thellier, l'un des pionniers français du paléomagnétisme, c'est-à-dire de l'étude du magnétisme fossilisé dans certaines roches naturelles.

Après plus de trois siècles d'études, le champ magnétique de la Terre est, en effet, l'un des phénomènes planétaires les mieux décrits, mais il demeure, paradoxalement, l'un des plus mystérieux.



1. Disposition magnétique des pôles et des lignes du champ magnétique terrestre.

Le champ magnétique terrestre est, jusqu'à quatre rayons terrestres du centre, assimilable à celui que créerait un barreau aimanté (dipôle magnétique) placé à l'intérieur du globe et incliné d'environ  $11^\circ$  sur l'axe de rotation de la Terre (doc. 1).

En réalité, ce que l'on appelle pôle magnétique nord de la Terre est, aux yeux des physiciens, un pôle sud, car les lignes de champ pénètrent par ce pôle.

Quelle est l'origine de ce champ ? Il est admis que le centre du globe est occupé par un noyau métallique de 3 500 km de rayon, essentiellement constitué de fer. Celui-ci comporte une partie centrale solide (noyau interne) et une partie externe fluide (noyau externe). Dans ce noyau, la température est la même qu'à la surface du Soleil ( $5\ 800^\circ\text{C}$ ) et la pression vaut plusieurs millions d'atmosphères !

Pour expliquer l'existence du champ magnétique terrestre, on imagine des courants électriques provoqués par les mouvements de convection dans le noyau externe fluide conducteur.

Ceux-ci contribuent au champ magnétique terrestre. Le phénomène s'auto-entretenit, car la rotation de la Terre a pour conséquence le déplacement du fluide conducteur dans le champ magnétique terrestre.

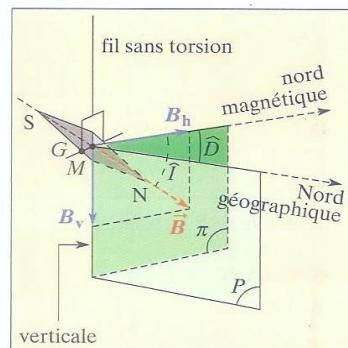
Il en résulte des courants induits qui créent à leur tour un champ magnétique. En 1958, Rikitake a proposé un modèle de dynamo auto-excitée fonctionnant selon le principe décrit ci-contre.

Les caractéristiques (doc. 2) du champ magnétique terrestre ne demeurent pas constantes au cours du temps. Les relevés de sa valeur et de sa direction (réalisés depuis le milieu du XVI<sup>e</sup> siècle en différents points de la surface du globe pour l'établissement des cartes marines) font apparaître d'importantes variations. Ils révèlent, entre autres, une décroissance lente, mais continue, de la valeur du champ qui, si elle se poursuivait, entraînerait la disparition du champ dans 2 000 ans environ. D'autre part, on constate une dérive vers l'ouest de la composante horizontale du champ.

Un fait encore plus surprenant est l'inversion du sens du champ magnétique terrestre constatée lors de l'étude des couches de laves volcaniques solidifiées qui gardent la mémoire de l'orientation de celui-ci.

L'ensemble des observations montrent que le champ magnétique terrestre s'est inversé de nombreuses fois. Si les périodes, où l'orientation du champ reste stable, ont des

durées très longues, les phases de renversement sont beaucoup plus rapides et se succèdent de façon complètement aléatoire. Des physiciens s'intéressent actuellement à ce phénomène et essaient de l'interpréter avec la théorie du chaos déterministe (cf. chapitre 19).



2. En France, le champ magnétique terrestre  $\vec{B}$  plonge vers le sol.

- $\widehat{D}$  : angle de déclinaison ;  
à Paris :  $\widehat{D} = 5,5^\circ$  ;
- $\widehat{I}$  : angle d'inclinaison ;  
à Paris :  $\widehat{I} = 64,5^\circ$  ;
- $B_h$  composante horizontale du champ magnétique terrestre ;  
actuellement  $B_h = 2 \cdot 10^{-5}\text{T}$  ;  
 $\vec{B}_h$  est dirigée vers l'ouest.

### 1) Caractéristiques du champ terrestre.

a) Calculer la composante verticale  $B_v$  du champ magnétique terrestre en France.

b) Calculer la valeur  $B$  du champ magnétique terrestre en France.

c) Quelle serait l'orientation de la boussole au pôle nord magnétique ? à l'équateur magnétique ?

### 2) Origine du champ magnétique terrestre.

a) Indiquer l'origine des courants de convection dans le noyau externe fluide.

b) En utilisant les connaissances de seconde, citer un dispositif mettant en évidence la production de courants induits. Quel est le nom de ce phénomène ?

# FONCTIONNEMENT D'UN TUBE-IMAGE

## 1. OBJECTIFS

Analyser le fonctionnement des parties principales d'un téléviseur.

Mettre en évidence l'éclairement périodique d'une zone d'un écran de télévision et le balayage de l'ensemble de l'écran.

Simuler à l'oscilloscope le balayage d'un écran de télévision.

Observer et analyser à l'oscilloscope un signal vidéo.

## 2. MATÉRIEL

■ **Elèves :** un oscilloscope, deux G.B.F., deux circuits détecteurs de lumière (pile 4,5 V, photodiode, résistance de  $1\text{ M}\Omega$ ).

■ **Professeur :** un magnétoscope (avec bande enregistrée) alimentant un ou plusieurs téléviseurs, une prise péritel multiple, un téléviseur démonté.

## 3. PROTOCOLES EXPÉIMENTAUX ET RÉSULTATS

### 1. Étude de l'éclairage de l'écran

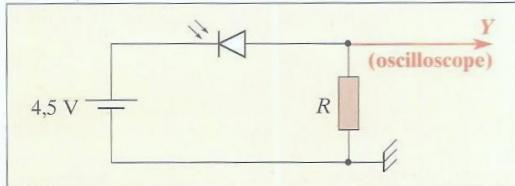
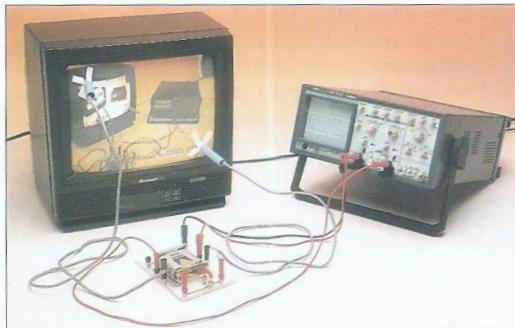
#### 1) Expérience

- Envoyer sur un téléviseur, à l'aide d'un magnétoscope, l'image fixe d'une mire préalablement enregistrée.

- Placer la photodiode du circuit photocapteur (*doc. 1*) en diverses zones lumineuses de l'écran et observer le signal à l'oscilloscope.

- Placer sur l'écran, en deux positions éloignées, deux photocapteurs identiques branchés aux deux voies de l'oscilloscope ; observer les signaux correspondants.

- Déplacer ensuite l'un des photocapteurs, sur une même ligne horizontale de l'image de la mire et relever l'intensité des pics en fonction de la position sur la ligne.



1. Photographie et schéma du circuit photocapteur expérimental.

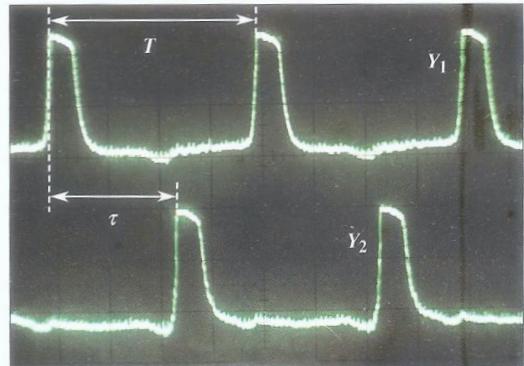
### 2) Résultats

- Chaque photodiode fait apparaître des pics de tension aux bornes de  $R$ . L'amplitude de ces pics est proportionnelle à l'intensité qui circule dans la photodiode, elle est donc proportionnelle à l'intensité lumineuse reçue par la photodiode (*doc. 2*).

- La période des pics vaut  $T = 4 \times 5 = 20\text{ ms}$ . Une petite zone recouvrant plusieurs lignes de l'image n'est donc éclairée que toutes les 20 ms (fréquence 50 Hz).

- Les pics des deux photodiodes sont décalés. Les deux zones observées ne sont pas éclairées simultanément : c'est le résultat du balayage de l'écran.

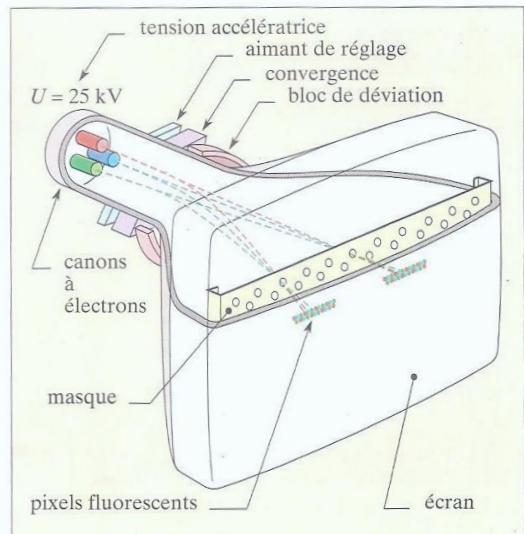
- En déplaçant le photocapteur sur une ligne horizontale de l'image de la mire, la tension visualisée est « l'image » de l'intensité lumineuse en un point de l'écran.



2. Base de temps :  $5\text{ ms} \cdot \text{div}^{-1}$ .

### 2. Observation d'un téléviseur démonté

Observer l'ampoule de verre, le canon à électrons et les bobines déviatrices et identifier les éléments du *document 3*.



3. Le tube-image.

**SOURCE :** DURANDEAU, PHYSIQUE TS, Ed HACHETTE 1995, p 147

## Trajectoire plane

La trajectoire d'une particule chargée, soumise à l'action d'un champ magnétique orthogonal à sa vitesse initiale est plane, ce qui peut être démontré par un simple calcul d'analyse vectorielle.

A la date  $t = 0$ , nous avons supposé que  $\vec{v}_0 \perp \vec{B}$ .  
A ce même instant, la force de Lorentz s'écrit :  $\vec{F}_L = q\vec{v}_0 \wedge \vec{B}$  et est un vecteur orthogonal à  $\vec{B}$ .  
A la date  $dt$ , le vecteur vitesse s'écrit :

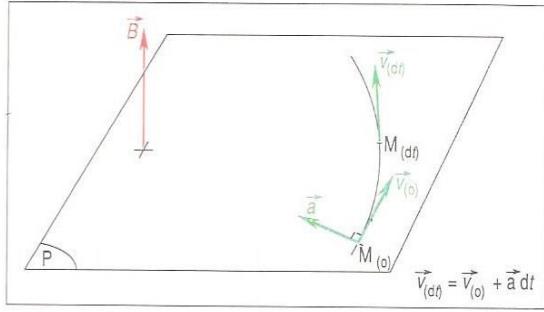
$$\begin{aligned}\vec{v}(dt) &= \vec{v}_0 + \vec{a} dt \\ &= \vec{v}_0 + \frac{q}{m} \vec{v}_0 \wedge \vec{B}.\end{aligned}$$

$\vec{v}(dt)$  est donc la somme de deux vecteurs orthogonaux à  $\vec{B}$  et est lui-même orthogonal à  $\vec{B}$ . La propriété géométrique supposée vraie à la date

$t = 0$  est vraie à la date  $dt$ . En reprenant le calcul, nous pouvons montrer qu'elle reste vraie pour n'importe quelle date  $t$  :

$$\vec{v}(t) \perp \vec{B}.$$

Nous pouvons en déduire que la trajectoire de la particule est contenue dans le plan orthogonal à  $\vec{B}$  passant par le point de l'espace où la particule pénètre dans la région de champ magnétique.



Direction du vecteur vitesse à la date  $dt$ .

**SOURCE : J. C. DUMIELLE, PHYSIQUE TCE, Ed BELIN 1989, p 126**

**SITUATION D'APPRENTISSAGE N°2**  
**TITRE : CHIMIE DES SOLUTIONS AQUEUSES**

**1. Elément de planification**

1.1. Durée

1.2. Contenus de formation

1.2.1. Les compétences disciplinaires visées

1.2.1.1. La compétence disciplinaire n°1

1.2.1.2. La compétence disciplinaire n°3

1.2.2. Connaissances et techniques

<b>DOMAINE : CHIMIE GENERALE</b>		
<b>Connaissances et techniques</b>	<b>Indications pédagogiques et commentaires</b>	<b>Connaissances et techniques exigibles (Evaluation)</b>
<b>A - Acides et bases en solution aqueuse</b>  <b>I - L'eau</b>  1. L'eau, solvant ionisant  2. Produit ionique ; pH d'une solution  .	<p style="text-align: center;"><b><u>L'eau</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Le professeur partira des situations de vie courante pour amener les apprenants à s'approprier les notions :           <ul style="list-style-type: none"> <li>- de l'eau utilisée comme solvant (solvant ionisant, dissociant, hydratant et dispersant) ;</li> <li>- de son importance dans la nature et dans les réactions chimiques ;</li> <li>- de la structure polaire de l'eau dont découle son important rôle ;</li> <li>- de son ionisation partielle traduite par l'équation de la réaction d'autoprotolyse de l'eau dont on déduira l'expression : <math>K_e = [H_3O^+] \times [OH^-]</math>. Ce produit <math>K_e</math>, appelé produit ionique de l'eau, reste constant à une température donnée. Dans le cas théorique de l'eau pure, et à 25°C, l'électroneutralité impose <math>[H_3O^+] = [OH^-] = 10^{-7}</math> mol L<sup>-1</sup> ; donc <math>K_e = [H_3O^+] \times [OH^-] = 10^{-14}</math> à 25 °C.</li> </ul> </li> <li>Le professeur n'évoquera pas la notion de l'activité d'une espèce en classe</li> <li>Le professeur fera constater aux apprenants, à partir de quelques mesures de pH, que tout résultat numérique obtenu à partir de la relation <math>[H_3O^+] = 10^{-pH}</math> sera exprimé avec un nombre de chiffres significatifs n'excédant pas trois.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Écriture de l'équation de la réaction d'autoprotolyse de l'eau</li> <li>- Mémorisation et utilisation de la valeur du produit ionique de l'eau à 25° C</li> <li>- Traduction par une équation de l'électroneutralité d'une solution aqueuse.</li> <li>- Calcul du pH connaissant les concentrations en ions H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> ou en ions OH<sup>-</sup> et inversement</li> <li>- Réalisation d'une dilution.</li> <li>- Mesure du pH d'une solution aqueuse.</li> </ul>

	.	
<b>II - Les solutions aqueuses d'acide chlorhydrique et d'hydroxyde de sodium.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>1. Solution aqueuse d'acide chlorhydrique</li> <li>2. Solution aqueuse d'hydroxyde de sodium.</li> <li>3. pH des solutions aqueuses.</li> </ul>	<p><b><u>Les solutions aqueuses d'acide chlorhydrique et d'hydroxyde de sodium.</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le professeur n'oubliera pas que le but de cette étude est de rappeler essentiellement les propriétés de ces solutions rencontrées en classe de seconde.</li> <li>• Les manipulations seront réalisées avec des solutions de concentrations comprises entre <math>10^{-3}</math> et <math>10^{-1}</math> mol.L<sup>-1</sup> (<math>10^{-3}</math> mol.L<sup>-1</sup> &lt; C &lt; <math>10^{-1}</math> mol.L<sup>-1</sup>). En effet pour des solutions plus concentrées, les interactions électroniques entre les ions ne peuvent plus être négligées.</li> <li>• Le professeur fera remarquer aux apprenants que, pour toutes ces solutions aqueuses d'acide chlorhydrique ou d'hydroxyde de sodium, la relation <math>pH = -\log[H_3O^+]</math> n'est valable que pour des concentrations C telles que <math>10^{-6}</math> mol.L<sup>-1</sup> &lt; C &lt; <math>10^{-1}</math> mol.L<sup>-1</sup>.</li> <li>• Il amènera les apprenants : <ul style="list-style-type: none"> <li>- à écrire les équations des réactions de l'acide chlorhydrique et de l'hydroxyde de sodium avec l'eau et à vérifier que ces réactions sont totales ;</li> <li>- à s'approprier la définition d'un acide et d'une base selon Brönsted</li> <li>- à s'approprier la définition d'un acide fort et d'une base forte ;</li> <li>- à s'approprier l'équivalence entre tous les acides forts d'une part et entre toutes les bases fortes d'autre part dans l'eau ;</li> <li>- à s'approprier les noms et formules des acides et bases forts suivants : l'acide nitrique, l'acide bromhydrique, l'acide iodhydrique, l'acide sulfurique (qui sera considéré comme un diacide fort), les ions alcoolate dont l'ion éthanoate, les hydroxydes de sodium, de potassium, de calcium ;</li> <li>- à reconnaître la base OH<sup>-</sup> dans les hydroxydes de Na, de K et de Ca et la base forte C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>O<sup>-</sup> (ion éthanolate).</li> <li>- à établir, pour les solutions d'acide chlorhydrique et les solutions d'hydroxyde de sodium, la relation entre le pH et la concentration, et en faire la vérification expérimentale.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Écriture de l'équation de la réaction totale du gaz chlorhydrique (HCl) avec l'eau.</li> <li>- Écriture de l'équation de la réaction totale de l'hydroxyde de sodium (NaOH) avec l'eau.</li> <li>- Exploitation du caractère total de ces réactions pour calculer les concentrations des espèces chimiques connaissant le pH et inversement (dans le cas des solutions acide ou basique pas trop diluées).</li> <li>- Mémorisation et exploitation de la définition d'un acide et d'une base selon Brönsted</li> <li>- Mémorisation et exploitation de la définition d'un acide fort et d'une base forte</li> <li>- Reconnaissance et exploitation des noms et formules des acides et bases forts étudiés</li> <li>- Reconnaissance de la base OH<sup>-</sup> dans les hydroxydes de Na, de K et de Ca et la base forte C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>O<sup>-</sup> (ion éthanolate).</li> </ul>
<b>III - Couples acide - base</b>	<p><b><u>Couples acide-base</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pour cette étude le professeur fera remarquer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reconnaissance et exploitation du caractère limité et</li> </ul>

	<p>aux apprenants l'analogie formelle avec la définition du couple oxydant - réducteur déjà vu en classe de première. En effet :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- un réducteur engendre son oxydant conjugué s'il perd un ou plusieurs électrons selon le schéma réversible : Réd <math>\rightleftharpoons</math> Ox+ne<sup>-</sup></li> <li>- de même le professeur amènera les apprenants à constater qu'un acide AH se transforme en sa base conjuguée A<sup>-</sup> s'il perd au moins un proton H<sup>+</sup> selon le schéma réversible :</li> </ul> $AH \rightleftharpoons A^- + H^+$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• En s'aidant de la notation du couple redox Ox/Réd, les apprenants s'approprieront celle du couple acide-base AH/A<sup>-</sup></li> <li>• Le concept de couple acide-base sera introduit à partir d'une étude expérimentale sur l'exemple acide éthanoïque /ion éthanoate, étude qui sera réalisée, de préférence, en travaux pratiques.</li> <li>• Le professeur amènera les apprenants à montrer d'abord que la réaction de l'acide éthanoïque avec l'eau est une réaction d'ionisation limitée et réversible et que l'acide éthanoïque est un acide faible.</li> <li>• Les apprenants pourront montrer l'aspect limité de la réaction entre cet acide et l'eau: <ul style="list-style-type: none"> <li>- d'une part, à partir d'expériences qualitatives sur la conductivité comparée des solutions d'acide éthanoïque et d'acide chlorhydrique de même concentration,</li> <li>- d'autre part, de manière quantitative à partir de la mesure du pH de différentes solutions d'acide éthanoïque. Pour quelques concentrations usuelles, ils pourront déterminer le rapport entre la quantité d'acide éthanoïque qui a réagi avec l'eau, en donnant l'ion éthanoate, et la quantité d'acide introduit : <math display="block">\frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH] + [CH_3COO^-]}</math>.</li> </ul> </li> </ul> <p>Ils constateront que ce rapport est faible, de l'ordre de quelques pour-cent.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Mais on ne parlera ni de « coefficient d'ionisation » ni de « coefficient de dissociation » ; tout développement sur ce « coefficient » est rigoureusement hors du programme.</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pour mettre en évidence l'aspect réversible de la réaction</li> </ul> </li> </ul> $CH_3COOH + H_2O \xrightleftharpoons{2} CH_3COO^- + H_3O^+$ <p>le professeur amènera les apprenants à s'approprier la réaction inverse : réaction entre l'ion éthanoate (éthanoate de sodium) et l'ion hydronium (acide chlorhydrique). L'étude quantitative, qui peut être effectuée à partir de la mesure du pH, montre que cette réaction est quasi totale.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les apprenants constateront que cette réaction fait intervenir deux couples acide-base.</li> </ul>	<p>réversible de la réaction d'une base faible ou d'un acide faible avec l'eau ;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reconnaissance des acides et bases conjugués.</li> <li>- Définition de la constante d'acidité Ka.</li> <li>- Reconnaissance et écriture des formules :</li> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) des couples acide-base de l'eau (H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> /H<sub>2</sub>O et H<sub>2</sub>O/OH<sup>-</sup>).</li> <li>b) des couples acide-base suivants : acide éthanoïque / ion éthanoate ; acide méthanoïque / ion méthanoate ; acide monochloroéthanoïque / ion monochloroéthanoate ; ion ammonium / ammoniac ; ion méthyl (mono, di, tri) ammonium / méthyl (mono, di, tri) amine ; ion éthyl (mono, di, tri) ammonium / éthyl (mono di, tri) amine.</li> <li>c) des acides et bases forts usuels étudiés</li> </ul> <li>- Interprétation quantitative de la réaction d'un acide ou d'une base faible avec l'eau : équation-bilan, recensement des espèces chimiques présentes dans la solution, calcul des concentrations des espèces chimiques d'une solution donnée (acide faible, base faible, mélange acide-base conjugués) connaissant le pH,</li> </ul>
--	---	---

	<p>Tout comme les « demi-équations électroniques » utilisées en oxydoréduction les demi-équations protoniques ne doivent pas être confondues avec des équations de réactions chimiques : en solution la véritable réaction chimique résulte de la compétition entre les deux couples antagonistes ; elle conduit à un état d'équilibre représenté par :</p> $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons_2 \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_3\text{O}^+$ <p>Les élèves constateront qu'il s'agit effectivement d'un transfert de protons.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sans reprendre intégralement une étude comparable à la précédente, les apprenants s'approprieront le couple ion ammonium / ammoniac, puis la formule des couples acide éthanoïque/ion éthanoate et ion ammonium/ammoniac, celle des deux couples acide-base de l'eau et des couples suivants : acide méthanoïque/ion méthanoate, acide monochloroéthanoïque/ion monochloroéthanoate ; ion méthylammonium / méthylamine, ion éthylammonium / éthylamine.</li> <li>Lorsque l'on met un acide faible ou une base faible ou les deux espèces conjuguées d'un couple acide-base en solution aqueuse, les apprenants s'approprieront :       <ul style="list-style-type: none"> <li>l'état d'équilibre représenté par :</li> </ul> <math display="block">\text{Acide} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Base} + \text{H}_3\text{O}^+</math> <ul style="list-style-type: none"> <li>l'expression de la constante d'acidité <math>K_a</math> du couple</li> </ul> <math display="block">\frac{[\text{Base}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{Acide}]} = K_a</math> <p><math>K_a</math> est une constante caractéristique du couple considéré et dépendant de la température ; il est aussi commode d'utiliser la constante <math>pK_a</math> définie par la relation <math>pK_a = -\log K_a</math>.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>La loi <math>\frac{[\text{Base}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{Acide}]} = Cte</math> peut être vérifiée expérimentalement. Pour cela on mesurera le pH de différents mélanges d'acide éthanoïque et de sa base conjuguée et on en calculera les concentrations</li> <li>Le professeur amènera les apprenants à constater qu'un acide est d'autant plus fort que la constante <math>K_a</math> du couple auquel il appartient est plus grande, donc que le <math>pK_a</math> est plus faible. (en même temps, sa base conjuguée sera d'autant plus faible).       <ul style="list-style-type: none"> <li>Les indicateurs colorés pourront être signalés comme des exemples d'acides ou de bases faibles.</li> <li><i>- Concernant les couples de l'eau <math>\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2\text{O}</math> et <math>\text{H}_2\text{O}/\text{OH}^-</math> on ne donnera aucune indication sur les valeurs de leurs constantes <math>K_a</math> ou <math>pK_a</math>.</i></li> <li><i>- On ne parlera pas de la constante <math>K_b</math> et on se gardera donc de la définir, à fortiori, de donner la relation entre <math>K_a</math>, <math>K_b</math> et <math>K_e</math>.</i></li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	<p>calcul de la constante d'acidité à partir des concentrations des espèces chimiques.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Détermination de la forme prépondérante d'un couple acide- base connaissant son <math>pK_a</math> et le pH de la solution</li> <li>Comparaison des forces des acides (ou des bases) de plusieurs couples connaissant les constantes d'acidité <math>K_a</math> et inversement</li> </ul>
--	---	--

	<p><i>- En tout cas il est hors de question d'évoquer la valeur de cette constante <math>K_a</math> pour les acides forts et les bases fortes car l'une des formes conjuguées n'existe pas dans la solution.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• En adoptant la valeur de la constante <math>K_a</math> ou de la constante <math>pK_a</math> comme critère, et en se limitant aux monoacides, le professeur amènera les apprenants :</li> <li>- à classer quelques couples acide-base empruntés aux autres parties du programme : acides carboxyliques et leurs anions, ions alkylammonium et amines correspondantes ;</li> <li>- à définir les domaines de prédominance ;</li> <li>- à lier la couleur d'un indicateur coloré à la forme prédominante du couple relatif à cet indicateur.</li> <li>:</li> </ul>	
<b>IV - Réactions acide-base</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Acide faible, base forte</li> <li>2. Acide fort, base faible</li> <li>3. Acide fort, base forte</li> </ol>	<p><b><u>Réactions acide - base</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pour cette étude il ne s'agira que des monoacides et des monobases.</li> <li>• Le professeur amènera les apprenants à écrire l'équation bilan de la réaction entre un acide faible et une base forte (ou entre une base faible et un acide fort) en ne faisant intervenir que les seules espèces chimiques majoritaires des réactifs. On écrira donc par exemple</li> </ul> $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{OH}^- \longrightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O}$ $\text{NH}_3 + \text{H}_3\text{O}^+ \longrightarrow \text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lors du dosage d'un acide fort par une base forte et vice versa, les apprenants traceront la courbe de variation du pH et constateront que cette courbe présente trois parties avec un seul point d'inflexion correspondant au point d'équivalence acido-basique de pH = 7 à 25° C.</li> <li>• Ils traceront aussi la courbe de variation de pH lors de la réaction de la solution d'acide éthanoïque de concentration proche de <math>10^{-1}</math> mol. L<sup>-1</sup> avec la solution d'hydroxyde de sodium de concentration voisine (et de la réaction de la solution d'ammoniac avec une solution d'acide chlorhydrique de concentration voisine).et noteront ici l'allure de cette courbe au voisinage de son point de départ, son point d'inflexion à la demi-équi-valence et la valeur correspondante du pH (<math>\text{pH} = \text{p}K_a</math>), la variation du pH au voisinage du point d'équivalence où le pH n'est plus égal à 7, enfin son allure après le point d'équivalence</li> </ul> <p>Lorsque le pH à la demi-équivalence est égal au <math>\text{p}K_a</math>, ils s'approprieront :</p>	<p>- Mémorisation et exploitation</p> <p>*du processus de transfert du proton dans une réaction acide – base ;</p> <p>*du caractère pratiquement totale d'un acide faible avec une base forte, d'un acide fort avec une base faible et d'une base forte avec un acide fort.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Interprétation de l'allure des courbes de variation de pH dans les cas de dosages suivants : acide fort -base forte, base forte- acide fort acide- faible - base forte, base faible - acide fort.</li> <li>- Définition, détermination et exploitation du point d'équivalence dans une réaction acide - base donnée et situation de sa position par rapport au pH = 7.</li> <li>- Définition et exploitation de la demi-équivalence lors des dosages acide faible - base</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- une propriété remarquable d'une telle solution : son pH est très peu sensible voire insensible à la dilution ;</li> <li>- la définition d'une solution tampon, ses propriétés caractéristiques puis les trois méthodes pratiques de sa préparation.</li> </ul>	<p>forte et base faible-acide fort: pH = pKa (dans la plupart des cas).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Définition d'une solution tampon et précision de ses caractéristiques.</li> <li>- Précision de l'importance de l'effet tampon dans les milieux biologiques.</li> <li>- Mémorisation de : un indicateur coloré est caractérisé par une zone de virage.</li> <li>- Définition et délimitation de la zone de virage d'un indicateur coloré</li> <li>- Réalisation d'un dosage volumétrique : exploitation graphique d'une série</li> </ul>
<b>C - Cinétique chimique</b>	<p><b><u>Cinétique chimique</u></b></p> <p>La cinétique chimique est l'étude du déroulement des réactions chimiques dans le temps. Son but premier est de mesurer la vitesse instantanée des réactions mais son intérêt majeur est de fournir des renseignements irremplaçables sur leur mécanisme, à l'échelle microscopique.</p> <p><b><u>Définition de la vitesse de formation d'un corps</u></b></p> <p>L'expérience montre qu'il existe des réactions rapides (réactions acide-base, précipitation du chlorure d'argent, précipitation du sulfate de baryum, explosion...) et des réactions suffisamment lentes pour que l'on puisse suivre aisément leur évolution. Dans ce dernier cas, par exemple, pour toute réaction chimique lente notée :<math>\alpha A + \beta B \rightarrow \gamma C + \delta D</math>, on peut facilement suivre la formation de l'un des produits, par exemple C, de la réaction ou la disparition de l'un des réactifs, par exemple A, et chercher à déterminer comment la quantité de ce corps varie au cours du temps.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• En Terminale l'étude quantitative des vitesses de formation d'un produit ou de disparition d'un réactif ne sera abordée que pour les réactions en solution aqueuse dont le volume reste constant.</li> <li>• Le professeur amènera les apprenants à définir alors la vitesse de formation du corps C comme étant la dérivée par rapport au temps de la</li> </ul>	

	<p>concentration ou de la quantité de matière de C:</p> $V_C = \frac{d[C]}{dt} \text{ ou } V_C = \frac{dn_C}{dt}$ <p>(n<sub>c</sub> = nombre de mole du corps C.)</p> <p>et aussi la vitesse de disparition du réactif A par la relation symétrique : <math>V_A = -\frac{d[A]}{dt}</math> ou <math>V_A = -\frac{dn_A}{dt}</math> ;</p> <p>compte tenu de cette définition, la vitesse de disparition d'un réactif est également positive comme celle de formation d'un produit.</p> <p>Il existe d'ailleurs entre toutes ces vitesses la relation :</p> $\frac{V_A}{\alpha} = \frac{V_B}{\beta} = \frac{V_C}{\gamma} = \frac{V_D}{\delta}$	
<p>II - Étude qualitative de l'influence des concentrations et de la température.</p> <p>1 - Influence des concentrations</p>	<p><b><u>Etude qualitative de l'influence des concentrations et de la température</u></b></p> <p>L'étude sera essentiellement expérimentale. Les exemples ci-dessous mentionnés ne seront pas limitatifs mais ce sont les seuls dont la connaissance sera exigée. Les élèves devront donc savoir écrire les équations - bilans de ces réactions à partir des demi-équations électroniques des couples oxydo-réducteurs en présence.</p> <p><b><u>1- Influence des concentrations</u></b></p> <p>En général, la vitesse de formation d'un corps augmente si l'on fait croître la concentration des corps réagissants. On le montrera lors d'études expérimentales réalisées en travaux pratiques ou en T.P.-cours. En aucun cas on ne cherchera à faire une étude quantitative de l'influence des concentrations sur la vitesse des réactions.</p> <p><b>Exemple 1</b> : Dismutation de l'ion thiosulfate <math>S_2O_3^{2-}</math> en milieu acide, en soufre et dioxyde de soufre.</p> <p><b>Exemple 2</b> : Action d'une solution de perroxodisulfate de potassium sur une solution d'iodure de potassium.</p> <p><b><u>2 - Influence de la température</u></b></p> <p><i>Dans la majorité des cas, la vitesse de formation d'un corps augmente avec la température. Toute considération quantitative à ce sujet est hors programme.</i></p> <p><b>Exemple 1</b> Action d'une solution de perroxodisulfate de potassium sur une solution d'iodure de potassium</p> <p><b>Exemple 2</b> Décoloration d'une solution de permanganate de potassium en milieu acide, par l'acide oxalique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Définition de la vitesse de formation ou de disparition d'un corps dans le cas où le milieu réactionnel a un volume constant</li> <li>- Définition de la vitesse moyenne de formation ou de disparition d'un corps dans le cas où le milieu réactionnel a un volume constant</li> <li>- Exploitation graphique des résultats issus d'une série d'expériences de cinétique.</li> <li>- Détermination d'une vitesse de formation et précision de son unité.</li> <li>- Reconnaissance et nom des couples redox suivants: <math>S_2O_8^{2-} / SO_4^{2-}</math> ; <math>I_2 / I^-</math> ; <math>MnO_4^- / Mn^{2+}</math> ; <math>CO_2 / C_2O_4^{2-}</math> ; <math>S_4O_6^{2-} / S_2O_3^{2-}</math> ;</li> <li>- Ecriture de leurs demi-équations redox et exploitation quantitative de leurs équations-bilan</li> </ul>
<p>2- Influence de la température.</p>		

	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le professeur amènera les apprenants à s'approprier l'importance pratique de cet accroissement de vitesse par élévation de température : au laboratoire, dans l'industrie, et même dans la vie courante. (autocuiseur ; conservation des aliments par le « froid »).</li> <li>Il est indiqué à l'attention des professeurs qu'ils pourront, à défaut des produits utilisés dans les exemples précités, pour illustrer leurs cours, faire les expériences avec les produits courants de chez nous comme : <ul style="list-style-type: none"> <li>- le formol ou tout aldéhyde oxydé par le nitrate d'argent ammoniacal.</li> <li>- le sucre</li> <li>-l'alcool oxydé par le permanganate de potassium ou par le bichromate de potassium en milieu acide.</li> </ul> </li> </ul>	
<b>III – Catalyse</b> 1 - Définition 2 - Exemples	<p><b>- <u>Catalyse</u>.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>On choisira pour cette étude, des exemples aussi bien en chimie minérale qu'en chimie organique.</li> <li>En se basant sur les exemples de catalyse vus en classe de seconde et de première, le professeur amènera les apprenants à s'approprier les définitions relatives au catalyseur, à la catalyse, à la catalyse homogène, hétérogène et à l'autocatalyse.</li> </ul> <p><b><u>Exemples de catalyse homogènes</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Estérification de l'éthanol par l'acide éthanoïque.</li> <li>-Oxydation des ions iodure <math>I^-</math> par les ions peroxydisulfate</li> <li>- Réaction entre les ions permanganate <math>MnO_4^-</math> et l'acide oxalique <math>H_2C_2O_4</math> Dans ce dernier exemple, on constate que l'un des produits formés (ici <math>Mn^{2+}</math>) catalyse la réaction qui l'engendre : on parle d'autocatalyse.</li> </ul> <p><b><u>Exemples de catalyse hétérogène.</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Réaction entre les gaz dihydrogène et dioxygène avec le platine Pt comme catalyseur :</li> </ul> $2H_2 + O_2 \xrightarrow{Pt} 2H_2O$ <ul style="list-style-type: none"> <li>- Addition d'eau sur l'acétylène ; catalyseur : <math>Hg^{2+}</math> en milieu acide sulfurique :</li> </ul> $C_2H_2 + H_2O \xrightarrow{Hg^{2+}} C_2H_5OH$ <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hydrogénéation de l'acétylène ; catalyseur : Pt ou Ni :</li> </ul> $C_2H_2 \xrightarrow{Pt} C_2H_4 \xrightarrow{Pt} C_2H_6; C_2H_2 \xrightarrow{Ni} C_2H_6$ <ul style="list-style-type: none"> <li>- Réaction du dihydrogène sur le monoxyde de</li> </ul>	-mémorisation et exploitation de : <ul style="list-style-type: none"> <li>* l'action d'une solution d'acide chlorhydrique sur une solution de thiosulfate de sodium donne du soufre,</li> <li>* la vitesse de formation d'un corps augmente en général avec l'augmentation des concentrations des corps réagissants</li> </ul> <p>- Exploitation graphique des résultats d'une série d'expériences portant sur la variation des concentrations des corps réagissants ou sur celle de la température.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Citation des applications pratiques de l'influence de la température sur une vitesse de réaction.</li> <li>- définition d'un catalyseur et précision de ses propriétés</li> <li>- Citation de</li> </ul>

	<p>carbone ; catalyseur : Ni ou ZnO.</p> $2CO + 3H_2 \xrightarrow{Ni} C_2H_2 + 2H_2O; CO + 2H_2 \xrightarrow{ZnO} CH_3 - OH$ <p><u>N.B.</u> Pour ces différents exemples évoqués ou étudiés il n'est pas question d'exiger des élèves la connaissance des étapes intermédiaires.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Le professeur aidera les apprenants à remarquer l'importance de la grande surface de contact entre les réactifs et le catalyseur d'où la nécessité d'utiliser celui-ci sous forme de poudre, de mousse...etc. et. l'intérêt de la catalyse enzymatique dans la vie courante.</li> </ul>	quelques exemples de catalyseurs et de leur importance pratique
--	---	---

### 1.2.3. Stratégies objets- d'apprentissage

### 1.3. Stratégies d'enseignement/apprentissage

### 1.4. Documents de référence suggérés

- Chimie terminale D. 1989. A. TOMASINO et al.
- Sciences physiques. Rappels de Cours et exercices corrigés. Collection Union Bac Terminales D, C et E.
- Sciences physiques. Rappels de cours et exercices corrigés. Collection GADO Terminales D, C et E
- Tous autres documents traitant du sujet

## LES ANNEXES DE LA S.A.2

### Annexe 1 : Préparation des solutions aqueuses

#### 1. Par dissolution d'un composé solide

##### 1.1. Objectif

Préparer un volume  $V$  de solution de concentration  $C$  par dissolution d'un composé de masse molaire  $M$ .

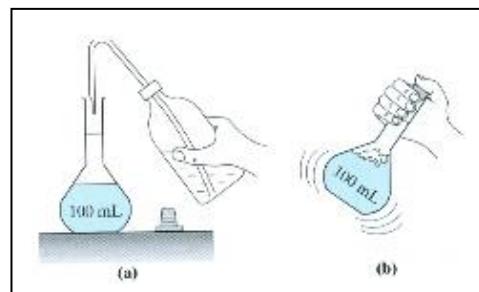
La masse  $m$  à dissoudre vaut  $m = M \cdot C \cdot V$

( $m$  en g ;  $M$  en  $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ;  $V$  en L et  $C$  en  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ).

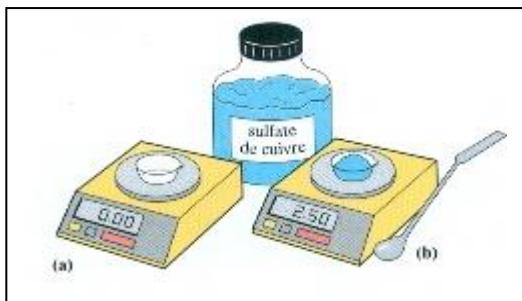
##### 1.2- Réalisation pratique

Soit à préparer, par exemple, 100,0mL de solution de sulfate de cuivre (II) de concentration  $0,100\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  à partir de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  de masse molaire  $M = 249,7 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ;  $m = 249,7 \times 0,100 \times 0,100 = 2,50\text{g}$ .

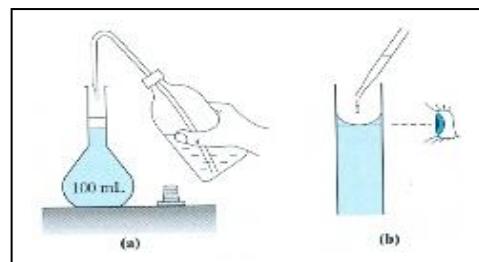
Les étapes de cette préparation sont les suivantes :



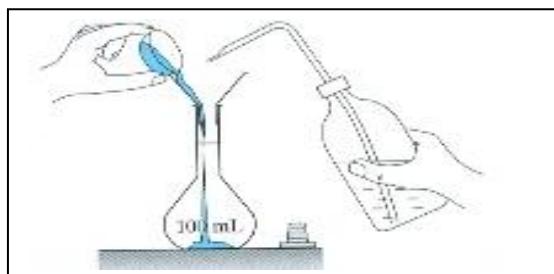
Doc 3 : Remplir la fiole jaugée aux trois quarts avec de l'eau distillée (a), et, après l'avoir bouchée, l'agiter pour dissoudre le solide (b).



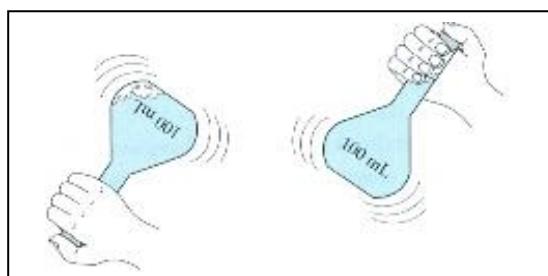
Doc. 1: peser précisément  $m$  en prélevant le solide avec une spatule propre et sèche (b), et en le plaçant dans une capsule ou un verre de montre préalablement pesé (a).



Doc. 4 : Une fois la dissolution terminée, ajouter de l'eau distillée, à la pissette au début (a), puis à la pipette simple pour terminer au niveau du trait de jauge (b).



Doc. 2 : Introduire le solide dans une fiole jaugée de 100mL avec un entonnoir à solide, rincer la capsule ou le verre de montre et l'entonnoir avec de l'eau distillée.



Doc. 5 : Reboucher la fiole jaugée et la retourner plusieurs fois pour bien homogénéiser la solution

Source : Chimie Terminale S 2006 Collection DURUPHY HACHETTE. Page 348

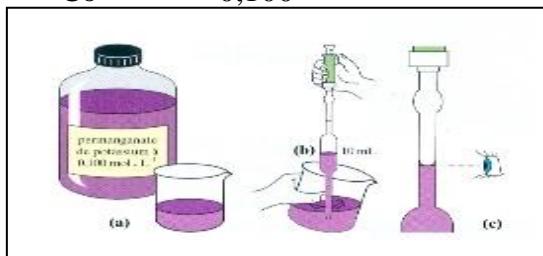
#### 2- Par dilution d'une solution de concentration connue

**2.1- Objectif :** Préparer un volume  $V$  de solution de concentration  $C$  par dilution d'une solution de concentration  $C_0$  connue précisément. Le volume  $V_0$  à prélever vaut :  $v_0 = \frac{V \cdot C}{C_0} = \frac{V}{F}$

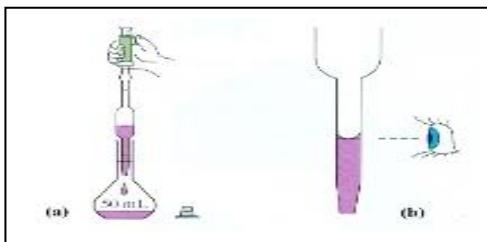
( $C$  et  $C_0$  en mol.L<sup>-1</sup>,  $V$  et  $V_0$  en mL) ;  $F$  est le facteur de dilution :  $F = \frac{C_0}{C}$

**2.1- Réalisation pratique :** Soit à préparer, par exemple, 50,0mL de solution de permanganate de potassium de concentration  $2,00 \times 10^{-2}$  mol.L<sup>-1</sup> par dilution d'une solution mère à 0,100mol.L<sup>-1</sup>.

$$v_0 = \frac{V \cdot C}{C_0} = \frac{50,0 \times 2,00 \times 10^{-2}}{0,100} = 10,0 \text{ mL}$$



**Doc 6 :** Verser la solution à diluer dans un bécher (a). Prélever 10,0mL de solution à l'aide d'une pipette jaugée à un trait ou à deux traits, munie d'une pipette ou d'un pipeter (b) et (c).



**Doc 7 :** Introduire la solution prélevée dans une fiole jaugée de 50mL (a) et (b).

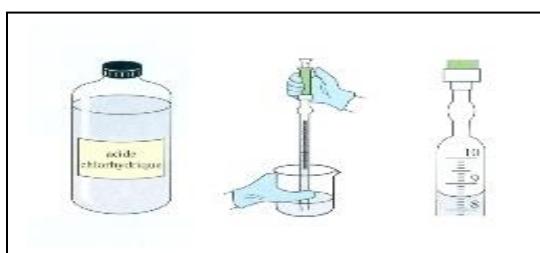
La fin de la préparation s'effectue comme pour la dissolution d'un composé solide (voir§1 ; doc 3, 4 et 5).

### 3 – Par dilution d'une solution commerciale

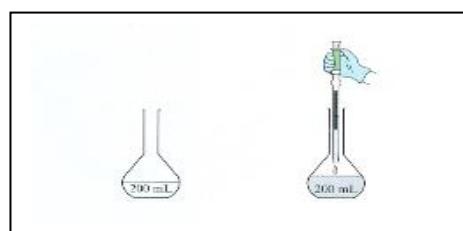
**3.1- Objectif :** Préparer un volume  $V$  de solution de concentration  $C$  par dilution d'une solution de densité  $d$ , contenant en masse p% de produit de masse molaire  $M$ . Le volume  $V_0$  à prélever est tel

que  $V \cdot C = V_0 \cdot C_0$  avec :  $C_0 = \frac{P \cdot d \cdot \mu_{\text{eau}}}{100 \cdot M}$  soit  $v_0 = \frac{100 \cdot M \cdot V \cdot C}{P \cdot d \cdot \mu_{\text{eau}}}$  ( $V$  et  $V_0$  en mL,  $M$  en g.mol<sup>-1</sup>,  $C$  en mol.L<sup>-1</sup> et  $\mu$  en g.L<sup>-1</sup>)

**3.2- Réalisation pratique :** Soit à préparer, par exemple, 200,0mL de solution d'acide chlorhydrique à 0,50mol.L<sup>-1</sup> par dilution d'une solution commerciale de densité  $d = 1,16$  contenant 37 % d'acide pur.  $v_0 = \frac{100 \times 36,5 \times 200,0 \times 0,50}{37 \times 1,16 \times 1000} = 8,5 \text{ mL}$ .



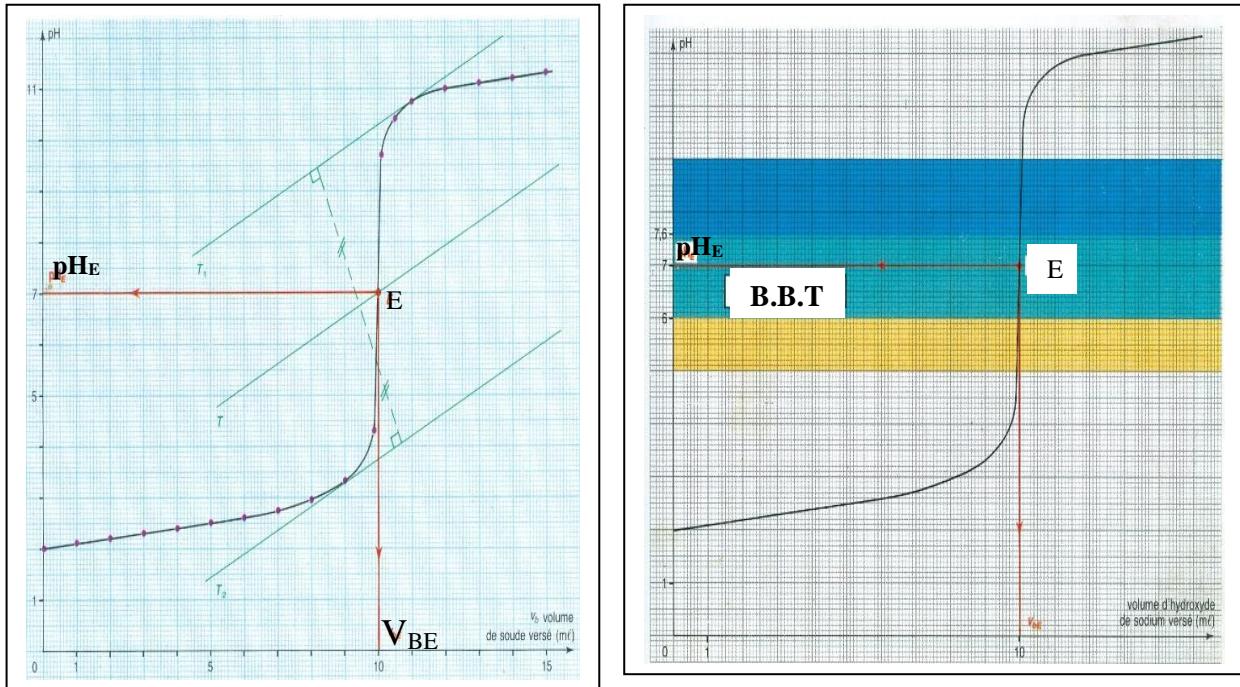
**Doc 8 :** La solution étant corrosive et très concentrée, mettre des lunettes et des gants de protection. Verser la solution à diluer dans un bécher, à l'aide d'une pipette graduée de 10mL munie d'un pipeter, prélever 8,5mL de solution



**Doc.9 :** La solution prélevée est introduite dans une fiole jaugée de 200,0 mL contenant déjà environ 100mL d'eau distillée, afin de modérer l'élévation de température accompagnant la dilution et de limiter les éventuelles projections. La fin de la préparation est analogue à celle de la dissolution d'un composé solide (voir§ 1, Doc 3,4 et 5).

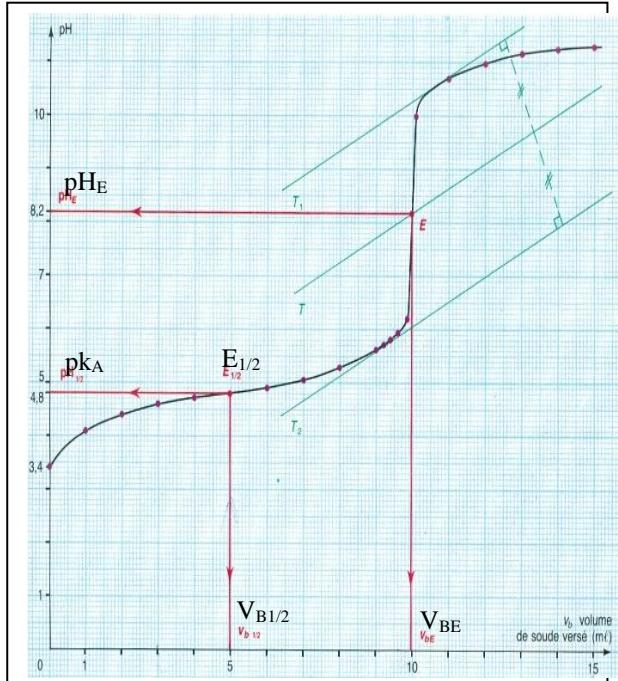
## Annexe 3 : Les courbes de dosage

### Dosage acide fort- base forte

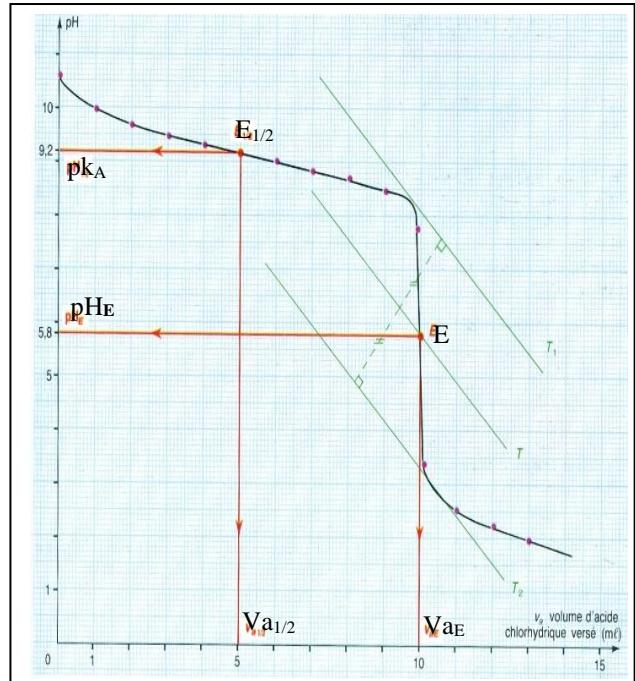


Source : Chimie Terminale D 1989. A. TOMASINO et al. Collection NATHAN Page 84 et 87

### Dosage acide faible- base forte



### Dosage base faible- acide fort

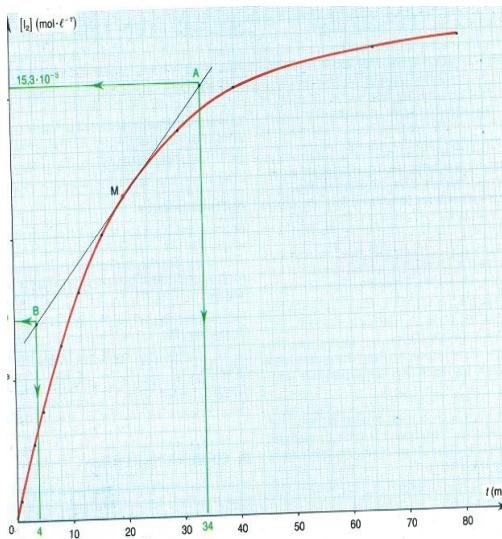


Source : Chimie Terminale D 1989. A. TOMASINO et al. Collection NATHAN Pages 97 et 103

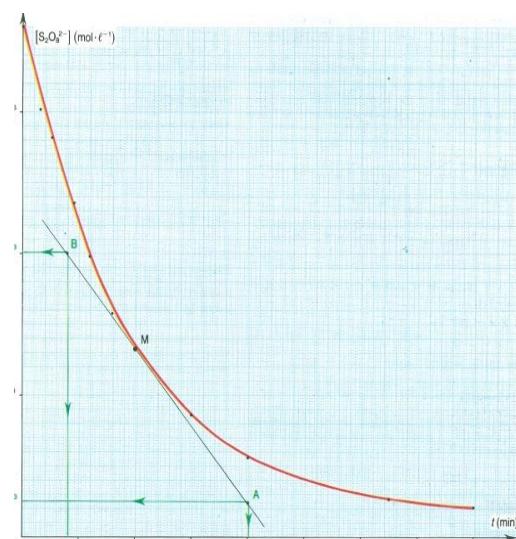
## Annexe 4: Vitesses de réaction

### 1. Les courbes

Courbe de formation d'un produit



Courbe de disparition d'un réactif



Source : Chimie Tle D 1989 ; A. TOMASINO et al. Collection NATHAN. p. 264 et 267

### 2- Quelques exemples de réactions

**Exemple 1 :** Dismutation de l'ion thiosulfate  $S_2O_3^{2-}$  en milieu acide, en soufre et dioxyde de soufre.

Elle s'obtient en faisant réagir une solution de thiosulfate de sodium sur la solution d'acide chlorhydrique. En milieu acide, l'ion thiosulfate  $S_2O_3^{2-}$  se dismute selon l'équation-bilan:  $S_2O_3^{2-} + 2H_3O^+ \rightarrow SO_2 + S + 3H_2O$ .

Le soufre solide qui se forme reste en suspension : il rend peu à peu la solution opaque d'où l'utilisation de ce phénomène pour évaluer la vitesse de formation du soufre (confer l'expérience afférente).

En fait l'ion  $S_2O_3^{2-}$  apparaît dans deux couples rédox  $S_2O_3^{2-}/S$  ;  $SO_2/S_2O_3^{2-}$  comme l'oxydant dans l'un et le réducteur dans l'autre.

Les demi-équations électroniques sont :



d'où:  $S_2O_3^{2-} + 2H^+ \rightarrow 2S + SO_2 + H_2O$

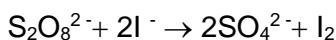
ou en milieu aqueux  $S_2O_3^{2-} + 2H_3O^+ \rightarrow S + SO_2 + 3H_2O$ .

Cette réaction est essentiellement plus complexe qu'on ne le pense car les produits ont des propriétés acido-basiques, donc susceptibles de réagir avec le réactif  $H_3O^+$  ;

*N.B : Le professeur évitera d'évoquer cet aspect avec les élèves.*

**Exemple 2 :** Action d'une solution de perroxidisulfate de potassium sur une solution d'iodure de potassium.

Ici l'ion iodure  $I^-$  appartient au couple  $I_2/I^-$  et l'ion perroxidisulfate  $S_2O_8^{2-}$  appartient au couple,  $S_2O_8^{2-}/SO_4^{2-}$  d'où l'équation-bilan :



Ainsi en mélangeant ces deux solutions, il apparaît une couleur jaune, jaune brun, et brune selon les concentrations initiales, traduisant la formation de plus en plus grande du diiode  $I_2$ . Dans cet exemple 2, la complexation des ions iodure avec les molécules  $I_2$  ( $I_2 + I^- \rightarrow I_3^-$ ) est une réaction concurrente de l'oxydation des ions iodure. Là encore les interprétations sont plus complexes qu'il n'y paraît.

### Influence de la température

Dans la majorité des cas, la vitesse de formation d'un corps augmente avec la température. *Toute considération quantitative à ce sujet est hors programme.*

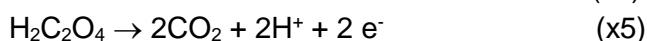
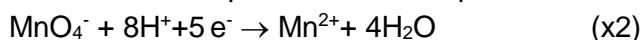
**Exemple 1** Action d'une solution de peroxydisulfate de potassium sur une solution d'iodure de potassium.

Pour cet exemple, on fait trois parts d'un mélange en volume égaux de solutions de même concentration d'iodure de potassium et de peroxydisulfate de potassium : une part est placée dans la glace fondante, la deuxième est laissée à la température ordinaire et la troisième est mise au bain marie à 70°C environ. On observe alors que l'apparition de la couleur brune de  $I_2$  est d'autant plus rapide que la température du milieu réactionnel est élevée.

**Exemple 2** Décoloration d'une solution de permanganate de potassium en milieu acide, par l'acide oxalique.

Pour cette réaction redox on a les couples  $MnO_4^-/Mn^{2+}$  et  $CO_2/H_2C_2O_4$

Avec les demi-équations électroniques :



Dans cette expérience, la décoloration de la solution de permanganate de potassium, très lente à température ordinaire, est immédiate à 70°C.

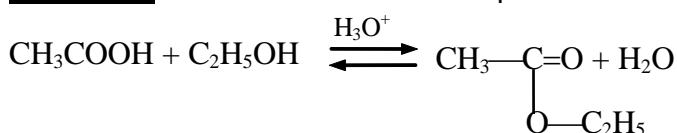
### Les différents types de catalyse

Le **catalyseur** est une substance qui augmente la vitesse de formation d'un corps sans entrer dans le bilan de la réaction. Mais en fait, le catalyseur participe parfois aux processus réactionnels intermédiaires.

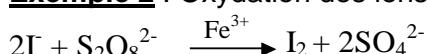
Un catalyseur ne modifie pas un état d'équilibre ; il catalyse les deux réactions inverses ; un catalyseur peut sélectionner une réaction parmi plusieurs réactions possibles.

La **catalyse homogène** correspond au cas où le catalyseur est dans la même phase que les corps réagissants. Si on considère la catalyse de l'estérification par les ions  $H_3O^+$  ; les réactifs (l'acide et l'alcool) et les ions  $H_3O^+$  sont miscibles ; il s'agit bien d'un milieu homogène (une seule phase : liquide) : on parle de catalyse homogène.

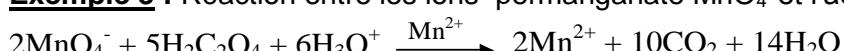
**Exemple 1** Estérification de l'éthanol par l'acide éthanoïque. c



**Exemple 2** : Oxydation des ions iodure  $I^-$  par les ions peroxydisulfate  $S_2O_8^{2-}$ .



**Exemple 3** : Réaction entre les ions permanganate  $MnO_4^-$  et l'acide oxalique  $H_2C_2O_4$

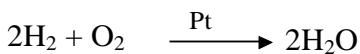


N.B. : Dans ce dernier exemple, on constate que l'un des produits formés (ici  $Mn^{2+}$ ) catalyse la réaction qui l'engendre : on parle **d'autocatalyse**.

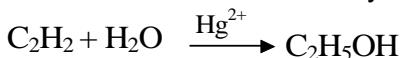
Dans la plupart des exemples rencontrés en classe de seconde et de première, le milieu réactionnel est homogène (le plus souvent gazeux), mais le catalyseur est solide ; le catalyseur et les réactifs ne sont pas constitués d'une même phase (gaz, solide) : dans ce cas on parle de catalyse **hétérogène**.

### Exemples :

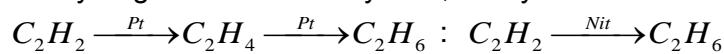
- Réaction entre les gaz dihydrogène et dioxygène avec le platine Pt comme catalyseur :



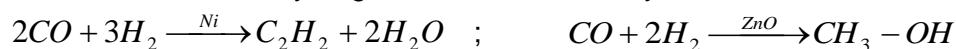
- Addition d'eau sur l'acétylène ; catalyseur :  $\text{Hg}^{2+}$  en milieu acide sulfurique :



- Hydrogénéation de l'acétylène ; catalyseur : Pt ou Ni :



- Réaction du dihydrogène sur le monoxyde de carbone ; catalyseur : Ni ou ZnO.



Ainsi l'importance des catalyseurs apparaît tout au long de cette étude. On terminera en soulignant que la catalyse permet, d'une part de déclencher des réactions infiniment lentes (Exp. : synthèse de l'eau) d'autre part, de sélectionner une réaction parmi plusieurs réactions possibles suivant le catalyseur choisi.

De même que les catalyseurs augmentent la vitesse des réactions chimiques, il existe des composés appelés **inhibiteurs** qui la diminuent. Par exemple, le tertiobutyl-4 pyrocatéchol est l'inhibiteur qui bloque la polymérisation du styrène et permet de le conserver dans un flacon.

Par ailleurs au cours de certaines réactions catalysées par un solide, des impuretés peuvent se déposer à la surface du catalyseur et rendre celui-ci moins efficace ; ces composés qui diminuent l'activité du catalyseur sont appelés **poisons** de celui-ci.

### 3 – Comment calculer le rendement d'une réaction chimique

#### 1- Rappels

Soit la réaction chimique d'équation  $aA + bB \longrightarrow a'A' + b'B'$ . Au cours de la réaction les réactifs A et B disparaissent et les produits A' et B' se forment.

En début de réaction, supposons que l'on ait introduit les quantités de matières  $n_i(A)$  et  $n_i(B)$  des réactifs A et B respectivement.

- Lorsque  $\frac{n_i(A)}{a} = \frac{n_i(B)}{b}$  le mélange de réactif est stœchiométrique.

- Lorsque  $\frac{n_i(A)}{a} < \frac{n_i(B)}{b}$  le réactif A est en défaut par rapport au réactif B et est qualifié de réactif limitant.

A tout instant t, au cours de la réaction, le mélange réactionnel renferme les quantités de matières  $n_r(A)$  et  $n_r(B)$  de réactifs restants (n'ayant pas encore réagi) et les quantités de matières  $n_f(A')$  et  $n_f(B')$  de produits formés. Les quantités de matières de produits formés sont en proportionnalité avec les quantités de matières de réactifs disparus :  $\frac{n_d(A)}{a} = \frac{n_d(B)}{b} = \frac{n_f(A')}{a'} = \frac{n_f(B')}{b'} (1)$ .

De plus, en raison de la conservation de la matière on a pour les réactifs :

$$n_i(A) = n_d(A) + n_r(A) \quad (2) \quad \text{et} \quad n_i(B) = n_d(B) + n_r(B) \quad (3).$$

## 2- Rendement d'une réaction chimique

### 2.1 Définition 1

Pour une réaction chimique d'équation  $aA + bB \longrightarrow a' A' + b' B'$ , le rendement  $r$  est le rapport, exprimé en %, entre la quantité de matière (ou la masse) de produit ( $A'$  par exemple) réellement formée  $n_f(A')$  et sa quantité de matière (ou la masse) théorique  $n_{th}(A')$  qui se

formerait si la totalité du réactif limitant ( $A$  par exemple) réagit. 
$$r = \frac{n_f(A')}{n_{th}(A')} \times 100 \quad (4)$$

Or en raison de la proportionnalité évoquée au niveau de la relation (1) on a  $\frac{n_{th}(A')}{a'} = \frac{n_d(A)}{a}$  (5)

Mais lorsque la totalité du réactif limitant initialement introduit réagit la relation (2) devient  $n_d(A) = n_i(A)$  (6) car  $n_r(A) = 0$ . La relation (5) devient alors  $\frac{n_{th}(A')}{a'} = \frac{n_i(A)}{a} \quad (7)$

On tire  $n_{th}(A')$  pour ensuite le remplacer dans la relation (4).

On obtient alors : 
$$r = \frac{a}{a'} \times \frac{n_f(A')}{n_i(A)} \times 100 \quad (8)$$

### 2.2 Définition 2

Considérons la réaction chimique d'équation  $aA + bB \longrightarrow a' A' + b' B'$ . Le rendement  $r$  d'une telle réaction chimique est le rapport, exprimé en %, entre la quantité de matière (ou la masse) de réactif limitant ( $A$  par exemple) réellement disparue  $n_d(A)$  et la quantité de matière (ou la

masse) du même réactif initialement mise en réaction  $n_i(A)$ . 
$$r = \frac{n_d(A)}{n_i(A)} \times 100 \quad (9)$$

En raison de la proportionnalité évoquée au niveau de la relation (1) on a  $\frac{n_d(A)}{a} = \frac{n_f(A')}{a'}$  On

tire alors  $n_d(A)$  pour le remplacer dans la relation (9). On obtient encore la même relation (8) :

$$r = \frac{a}{a'} \times \frac{n_f(A')}{n_i(A)} \times 100$$

### 3- Remarque

Dans la pratique l'exploitation directe de l'une ou l'autre de ces deux définitions (formules 4 et 9) dépend des moyens dont on dispose pour suivre l'évolution de la réaction.

- Lorsqu'on a la possibilité de suivre l'évolution de la réaction en mesurant directement la quantité du produit formé  $n_f(A')$ , la première définition peut être adoptée et on applique la

formule (4) : 
$$r = \frac{n_f(A')}{n_{th}(A')} \times 100$$
 en combinaison avec la formule (7).

- Lorsqu'on a la possibilité de suivre l'évolution de la réaction en mesurant directement la quantité du réactif limitant restant  $n_r(A)$ , la deuxième définition peut être adoptée et on

applique la formule (9) : 
$$r = \frac{n_d(A)}{n_i(A)} \times 100$$
 en combinaison avec la formule (2) d'où on tire

$$n_d(A) = n_i(A) - n_r(A).$$

**NB :** Dans le cas particulier où les réactifs sont initialement mélangés dans des proportions stœchiométriques on calcule le rendement de la réaction en se basant sur l'un quelconque des réactifs.

#### 4. LA VITESSE DE REACTION

Considérons une réaction dont l'équation bilan s'écrit :  $\nu_A A + \nu_B B \rightleftharpoons \nu_C C$  ;  $\nu_A$ ,  $\nu_B$  et  $\nu_C$  sont les coefficients stœchiométriques qui sont généralement des entiers naturels.

Lorsque la réaction progresse, les réactifs de départ disparaissent alors que les produits se forment en respectant la stœchiométrie de la réaction, c'est à dire les proportions indiquées par les coefficients de l'équation bilan.

Si à la date  $t$ , la progression de la réaction se traduit par une variation des quantités  $dn_A$  ;  $dn_B$  ;  $dn_C$  le respect de la stœchiométrie permet d'écrire que tous les rapports  $\frac{dn_i}{\nu_i}$  sont égaux au signe près.

$$\frac{-dn_A}{\nu_A} = \frac{-dn_B}{\nu_B} = \frac{dn_C}{\nu_C} = d\xi$$

Ce rapport défini la variation de l'avancement de la réaction (noté  $\xi$ ) entre son état initial (*avancement nul*) et son l'état final (*avancement maximal*).<sup>1</sup>

La **vitesse de réaction** est définie par la dérivée de l'avancement de la réaction  $\xi$  par rapport au temps:  $\dot{\xi} = \frac{d\xi}{dt}$ .<sup>2</sup> Elle s'exprime donc en mole par unité de temps. (Nota : on utilise souvent  $v$  à la place de  $\dot{\xi}$ ).

Dans le cas fréquent de réactions s'effectuant dans un système de volume constant  $V$  (c'est en particulier les cas des réactions en solution), la vitesse est définie par rapport à la variation de la concentration. On l'appelle alors **vitesse volumique** de réaction<sup>3</sup> :  $v = \frac{1}{V} \frac{d\xi}{dt} = \frac{1}{\nu_i} \frac{dC_i}{dt}$

- $C_i$  est la concentration de l'espèce  $i$  ; •  $\nu_i$  est son coefficient stœchiométrique. Dans cette relation (tout comme dans la définition de l'avancement de réaction)  $\nu_i$  est affecté du signe - pour les réactifs et du signe + pour les produits qui se forment.

Dans les unités du Système International la vitesse volumique s'exprime en  $\text{mol.m}^{-3}.\text{s}^{-1}$  ou en  $\text{mol.L}^{-1}.\text{s}^{-1}$ .

Pour les réactions en phases gazeuse, on peut définir la vitesse par rapport à la dérivée de la pression partielle  $\dot{p} = \frac{1}{\nu_i} \frac{dp_i}{dt}$ ,  $p_i$  étant la pression partielle du constituant  $i$ <sup>4</sup>. Dans les unités du Système International, elle s'exprime en  $\text{Pa.s}^{-1}$ . (Nota : on utilise souvent  $v$  à la place de  $\dot{p}$ ).

#### 5. FACTEURS INFLUENÇANT LA VITESSE DES REACTIONS

La vitesse des réactions est sous la dépendance de plusieurs facteurs. On peut citer:

- la température,

- la quantité des réactifs présents (en solution c'est la concentration des réactifs qui intervient),
- la pression pour les réactions en phase gazeuse,
- le degré de mélange des réactifs (ségrégation),
- la surface ou l'aire de contact des réactifs dans le cas de systèmes hétérogènes,
- la présence d'un catalyseur qui peut accélérer la réaction ou d'un inhibiteur qui peut la ralentir.

Le facteur le plus important est la température, l'énergie thermique permet en effet dans de nombreux cas de franchir la barrière énergétique qui existe entre le système dans son état initial (mélange de réactifs) et son état final (produits formés). Un autre paramètre important est l'état de la matière. De ce point de vue, les réactions les plus favorisées sont les réactions qui se déroulent au sein d'une seule phase (liquide : solution, mélange de liquides miscibles ou gazeuse). En effet, dans ces cas, les molécules des réactifs sont dans une même phase et peuvent donc facilement entrer en contact pour réagir. Dans le cas de systèmes hétérogènes, c'est-à-dire de réactions entre:

- un solide et un gaz,
- un solide et un liquide,
- un solide et un solide,
- un liquide et un gaz,
- deux liquides non miscibles,

la réaction ne peut avoir lieu qu'aux surfaces de séparation des phases (interfaces). Lorsque les produits sont fractionnés, la réaction est plus rapide, c'est le cas notamment des:

- aérosols (fines gouttelettes de liquide dispersées dans un gaz),
- émulsions (fines gouttelettes d'un liquide dans un autre liquide, dans le cas de liquides non miscibles),
- mélanges de poudres finement broyées (fins grains de solides),
- lysoles (poudre dans un liquide),
- mousses et écumes (bulles dans un liquide).

En effet, dans le cas de la matière fractionnée, la surface de contact entre les réactants est importante, donc les possibilités de réaction nombreuses. Pour les solides, on quantifie ceci par la **surface spécifique**, qui est la surface libre par unité de masse ; une poudre, un solide poreux ou une mousse (filaments imbriqués) ont une grande surface spécifique. Lorsque les réactants ne sont pas dans le même état (par exemple solide-gaz, solide-liquide, liquide-gaz), on parle de réaction **hétérogène**.

## SITUATION D'APPRENTISSAGE N°3

### **Titre : LES OSCILLATIONS MECANIQUES ET ELECTRIQUES**

1. Eléments de planification :

1.1. Durée :

1.2. Contenus de formation

1.2.1. Les compétences disciplinaires visées

1.2.1.1. Compétence disciplinaire N° 1

1.2.1.2. Compétence disciplinaire N° 3

1.2.2. Connaissances et Techniques

DOMAINE : OSCILLATIONS MECANIQUES ET ELECTRIQUES		
Connaissances et techniques	Indications pédagogiques et commentaires	Objet d'évaluation : compétences et ressources exigibles (évaluation)
	<p>Le professeur partira d'une situation de vie courante permettant d'aborder les préoccupations suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- les oscillations mécaniques libres</li> <li>- les oscillations électriques libres</li> <li>- les oscillations électriques forcées</li> </ul> <p>Par ailleurs, il introduira en réinvestissement une application de la résonance : le principe de fonctionnement de la radio.</p>	
1. Les oscillations mécaniques 1.1. Mouvement d'un oscillateur harmonique non amorti : cas du pendule élastique ; équation différentielle; fréquence propre ; conservation de l'énergie	<p>Il est souhaitable que le professeur revienne sur le théorème du centre d'inertie. Ensuite, il veillera à faire établir de façon correcte par l'apprenant, l'équation différentielle du mouvement à partir d'une étude dynamique et d'une étude énergétique. Une étude préalable de l'énergie potentielle élastique devra être faite.</p> <p>Les termes comme : oscillateur, oscillateur harmonique, période, fréquence propre, amortissement, doivent être clairement définis. Le professeur étudiera principalement avec les apprenants les pendules élastiques horizontal et vertical. Les autres dispositions du pendule élastique peuvent être vues en évaluation. La solution de l'équation différentielle <math>\ddot{x} + \omega^2 x = 0</math> peut être présentée sous la forme : <math>x = x_m \cos(\omega t + \varphi)</math> ou <math>x = x_m \sin(\omega t + \varphi')</math> avec</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mise en œuvre de la compétence disciplinaire n°1 et n°3 par la mobilisation, l'utilisation /l'exploitation des connaissances et techniques ci-après : <ul style="list-style-type: none"> <li>• l'équation différentielle de son mouvement, la solution <math>x = f(t)</math> de l'équation différentielle à partir des conditions initiales, calcul de la pulsation propre et de la période propre.</li> <li>• Représentation du graphe <math>x=f(t)</math>.</li> <li>• l'expression de l'énergie potentielle et de l'énergie mécanique d'un oscillateur mécanique à un instant donné de son mouvement.</li> <li>• graphe <math>E_{pé} = f(x)</math> ; Vérification de la conservation de l'énergie</li> </ul> </li> </ul>

	$\varphi' = \varphi + \frac{\pi}{2}$ . Le professeur montrera que les constantes algébriques $x_m$ et $\varphi$ de l'équation horaire, sont déterminées à partir des conditions initiales. Il lui revient donc de choisir la forme la plus appropriée ou la plus facile à exploiter. Il fera tracer les graphes $x(t)$ et $E_{pé}(x)$ .  <p>Dans le cas de l'amortissement des oscillations mécaniques, le professeur montrera qu'il est dû à l'existence des forces de frottement. Il fera établir l'équation différentielle et donnera les différents régimes de fonctionnement.</p>	mécanique dans le cas de l'oscillateur harmonique.  <ul style="list-style-type: none"> <li>- la diminution de l'énergie mécanique dans le cas d'un oscillateur mécanique amorti et de sa conversion en chaleur par les forces de dissipation (ou forces de frottement).</li> </ul>
<p>2. Les oscillations électriques</p> <p>2.1- Circuits oscillants : circuit LC</p> <p>2.1.1. Équation différentielle ; fréquence propre ; conservation de l'énergie totale du circuit.</p>	<p>Le professeur doit nécessairement faire un rappel sur les condensateurs (charge, décharge, énergie emmagasinée, intensité du courant de charge et de décharge, association de condensateur). Il devra conduire les apprenants à établir correctement l'équation différentielle :</p> $\ddot{u} + \omega_o^2 u = 0 \text{ ou}$ $\ddot{q} + \omega_o^2 q = 0 \text{ à partir de la loi des mailles d'une part et de la conservation de l'énergie totale d'autre part.}$ <p>Les termes comme : oscillateur électrique, période, fréquence propre, amortissement électrique, doivent être clairement définis.</p> <p>La solution de l'équation</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• l'équation différentielle d'un circuit LC, la solution générale et calcul de la pulsation propre, Expression de la période propre <math>T_o = 2\pi\sqrt{LC}</math>,</li> <li>• interprétation d'un oscillogramme visualisé ou enregistré sur un oscilloscophe ( la fréquence, l'amplitude et la phase initiale d'une grandeur électrique sinusoïdale (<math>u</math> ou <math>i</math>)).</li> <li>• la conservation de l'énergie totale d'un circuit oscillant (<math>L, C</math>) non résistif à partir de l'expression de <math>i(t)</math>.</li> </ul>

	<p>différentielle <math>\ddot{u} + \omega_o^2 u = 0</math> peut être présentée sous la forme :</p> $u = U_m \cos(\omega_o t + \varphi) \text{ ou}$ $u = U_m \sin(\omega_o t + \varphi') \text{ avec}$ $\varphi' = \varphi + \frac{\pi}{2}.$ <p>Le professeur montrera que les constantes algébriques <math>U_m</math> et <math>\varphi</math> de l'équation horaire, sont déterminées à partir des conditions initiales. Il lui revient donc de choisir la forme la plus appropriée ou la plus facile à exploiter. Il fera tracer les graphes <math>u(t)</math>, <math>q(t)</math>, <math>i(t)</math>, <math>E_m(t)</math>, <math>E_{el}(t)</math> et <math>E(t)</math>.</p> <p>Le professeur insistera sur l'analogie électrique et magnétique des oscillations.</p> <p>Pour cette partie, il montrera que le circuit <math>(L, C)</math> n'existe pas en réalité, car la bobine est toujours résistive. A cet effet, il montrera que les pertes d'énergie occasionnées par la résistance peuvent être compensées par l'utilisation dans le circuit d'un générateur auxiliaire.</p>	
<p>2.1.2. Entretien des oscillations à l'aide d'un circuit intégré linéaire.</p> <p>2.2. - Circuits en régime sinusoïdal forcé : circuit RLC série.</p> <p>2.2.1. Oscillations forcées en régime sinusoïdal d'un circuit RLC série ; impédance.</p>	<p>Le professeur fera établir l'équation différentielle</p> $u = L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int i dt \text{ et sa}$ <p>Résolution sera faite par la méthode de Fresnel.</p> <p>Il définira clairement les termes suivants :</p> <p>intensité et tension efficaces, intensité et tension maximales, impédance d'un circuit, déphasage.</p> <p>Par ailleurs, le professeur fera l'étude expérimentale de ce circuit à l'oscilloscope.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• la non conservation de l'énergie totale lorsque la résistance de la bobine et du circuit n'est plus négligeable.</li> <li>• rôle du générateur auxiliaire ;</li> <li>• la tension <math>u_g</math> du générateur auxiliaire.</li> <li>• Expression de l'impédance pour : un résistor, une bobine, un condensateur et un circuit RLC série.</li> <li>• intensité efficace du courant et de la tension en régime sinusoïdal.</li> <li>• Utilisation de la méthode de Fresnel pour retrouver les expressions de l'impédance et de la différence de phase.</li> <li>• l'expression de la valeur algébrique du déphasage entre intensité et tension électriques pour : un résistor, une bobine, un condensateur et un circuit RLC série</li> <li>• les conditions d'obtention du phénomène de résonance d'un circuit RLC série.</li> <li>• la bande passante en fréquence et/ou en pulsation et calcul de sa largeur.</li> <li>• l'expression du facteur de qualité (<math>Q = \frac{L\omega_0}{R}</math>) et</li> </ul> $Q = \frac{L\omega_0}{R} = \frac{\omega_0}{\omega_2 - \omega_1}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• une grandeur efficace (intensité, tension) et la</li> </ul>
<p>2.2.2. Phénomène de</p>		

<p>résonance d'intensité bande passante ; facteur de qualité ; intensité et tension électriques efficaces. Puissance, facteur de puissance.</p>	<p>Il fera l'étude du phénomène de résonance et du phénomène de surtension. Les termes suivants seront clairement définis : résonance, surtension, bande passante, facteur de qualité, puissance en alternatif, facteur de puissance et puissance apparente. Il fera tracer la courbe de résonance.</p>	<p>relation entre grandeur efficace et grandeur maximale en régime sinusoïdal.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• la courbe de résonance et détermination de la bande passante à partir des résultats consignés dans un tableau de mesures.</li> <li>• expressions de la puissance moyenne et du facteur de puissance pour un courant sinusoïdal : <math>P = UI \cos\phi = RI^2</math> ; <math>\cos\phi</math> .</li> </ul>
---	---	---

#### 1.2.3. Stratégies Objet d'apprentissage

#### 1.3. Stratégies d'enseignement / apprentissage

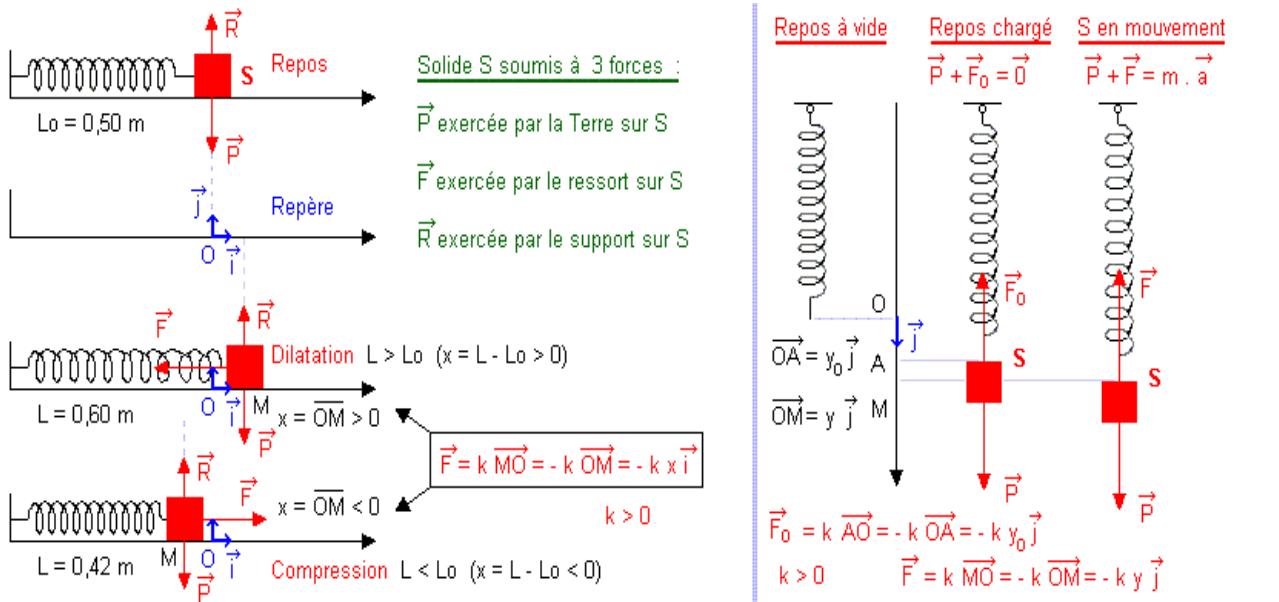
Travail individuel, travail en groupe, travail collectif, exploitation documentaire, démarche scientifique et démarche technologique.

#### 1.4. Documents de référence suggérés

- Physique terminale D. 1989. A. TOMASINO et al.
- Sciences physiques. Rappels de Cours et exercices corrigés. Collection Union Bac Terminales D, C et E.
- Sciences physiques. Rappels de cours et exercices corrigés. Collection GADO Terminales D, C et E
- Tous autres documents traitant du sujet

## LES ANNEXES DE LA SA 3

### A. LES OSCILLATIONS MECANIQUES



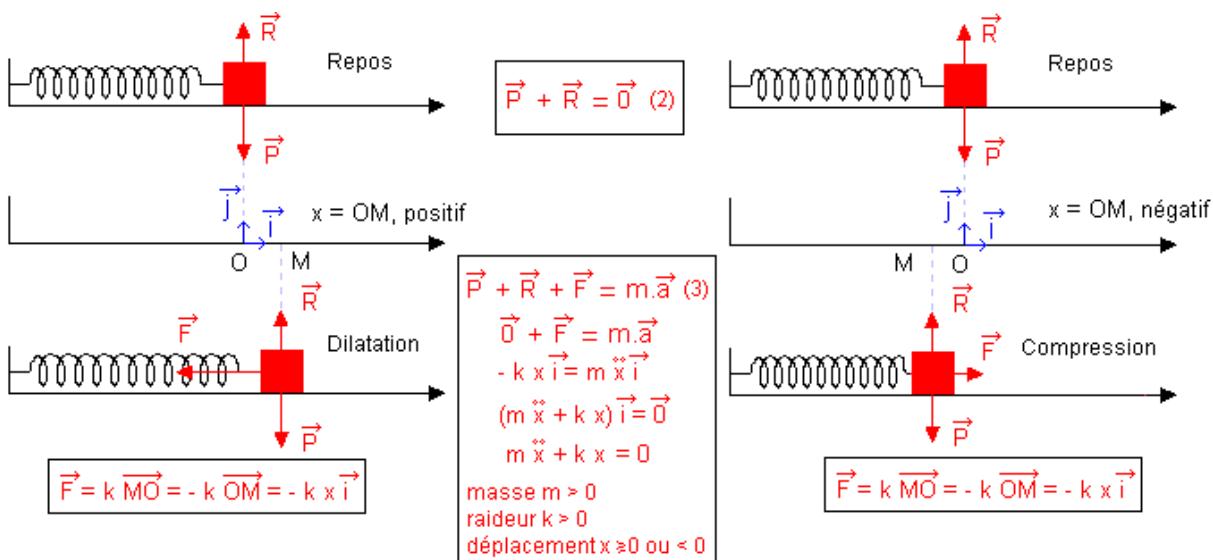
On a représenté les forces agissant sur le solide S, notamment la force  $\vec{F}$  représentant l'action du ressort sur le solide. Cette force  $\vec{F}$  change de sens selon que le ressort est dilaté ( $L > L_0$ , longueur à vide) ou compressé ( $L < L_0$ ).

On pourrait aussi représenter l'action du ressort sur l'objet relié à son autre extrémité, fixe dans le repère terrestre

En général le ressort a une masse négligeable par rapport à la masse m du solide S ( $m = P/g$ ).

#### H - Déphasage entre les grandeurs cinétiques:

Elongation	Vitesse	Accélération
$x(t) = X_m \cos(\sqrt{\frac{k}{m}} t)$	$\dot{x}(t) = -\sqrt{\frac{k}{m}} X_m \sin(\sqrt{\frac{k}{m}} t)$	$\ddot{x}(t) = -\frac{k}{m} X_m \cos(\sqrt{\frac{k}{m}} t)$
	or $-\sin \alpha = \cos(\alpha + \frac{\pi}{2})$	
	$\dot{x}(t) = \sqrt{\frac{k}{m}} X_m \cos(\sqrt{\frac{k}{m}} t + \frac{\pi}{2})$	
	en quadrature avance sur x(t).	en opposition de phase avec x(t), en quadrature avance sur v(t).



### 1.1. ETUDE ENERGETIQUE

□ □ On montre que l'énergie potentielle élastique du ressort est :

$$E_P = \frac{1}{2} K (OM)^2 \quad (16)$$

□ □ L'énergie mécanique du système masse-ressort est :

$$E_m = E_C + E_P = \frac{1}{2} m V^2 + \frac{1}{2} K x^2 \quad (17)$$

□ □ L'énergie mécanique du système masse-ressort se conserve en l'absence de frottement.

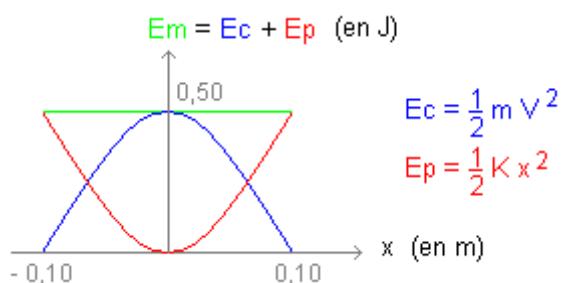
□ L'énergie mécanique du système solide-ressort horizontal est égale à la somme de l'énergie cinétique du solide et de l'énergie potentielle du ressort :

$$E_m = E_C + E_P = \frac{1}{2} m V^2 + \frac{1}{2} K x^2 \quad (8)$$

□ □ Le solide reste à la même altitude. Par conséquent l'énergie potentielle dans le champ de pesanteur terrestre ne varie pas. Elle est nulle si on choisit l'état de référence à l'altitude où évolue le centre d'inertie du solide.

□ □ En absence de frottement l'énergie mécanique du système se conserve.

Remarque : On peut représenter chaque type d'énergie sur le graphe suivant :



## 2. LES OSCILLATEURS MECANIQUES AMORTIS

### 2.1. EQUATION DIFFERENTIELLES

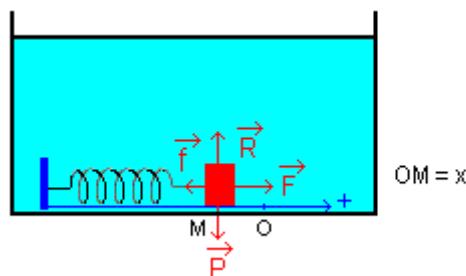
- En présence de frottement solide-solide, ou solide-fluide, on dit que le pendule élastique est amorti.

Dans le cas de frottement d'un fluide avec le solide (frottement visqueux), la force de frottement  $\vec{f}$  est proportionnelle à la vitesse (si celle-ci reste relativement faible). On écrit :

$$\vec{f} = -\lambda \vec{v} \text{ avec } \lambda > 0 \quad (19)$$

- Plaçons le dispositif solide-ressort dans un liquide.

La force de frottement  $\vec{f}$ , opposée au vecteur vitesse  $\vec{v}$ , est résistante.



- Le solide est alors soumis à 5 forces (sur le schéma  $\vec{R}$  représente deux forces verticales) :

$\vec{P}$  : essentiellement action gravitationnelle de la Terre sur le solide (poids du solide).

$\vec{R}$  : somme de la poussée d'Archimète et de l'action normale du support sur le solide.

$\vec{F}$  : action du ressort sur le solide (force de rappel).

$\vec{f}$  : force de frottement exercée par l'eau sur le solide

- La deuxième loi de Newton (voir ci-dessus) s'écrit :

$$\vec{P} + \vec{R} + \vec{F} + \vec{f} = m \vec{a} \quad (20)$$

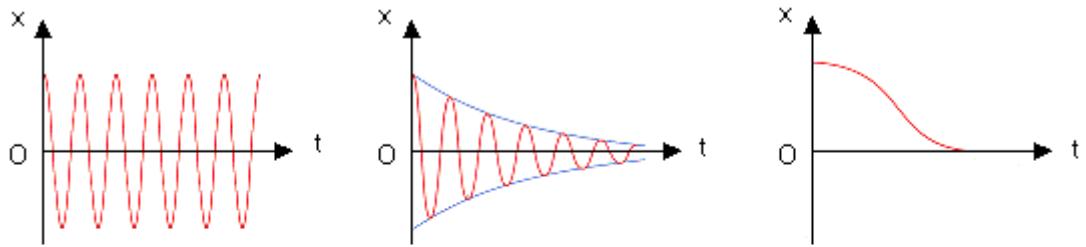
$$\vec{P} + \vec{R} - K \overrightarrow{OM} - \lambda \vec{v} = m \vec{a} \quad (21)$$

Projetons sur un axe horizontal (voir le schéma) :

$$0 + 0 - Kx - \lambda \ddot{x} = m \ddot{x}$$

$$m \ddot{x} + \lambda \ddot{x} + Kx = 0 \quad (22)$$

- La solution mathématique de cette équation est hors programme. Donnons graphiquement les résultats à retenir :



Frottement nul  
Mouvement **périodique**

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K}}$$

(paragraphe 2)

Frottement faible  
Mouvement **pseudo périodique**

$$T_1 \text{ voisin de } T_0$$

Frottement important  
Mouvement **apériodique**

En présence de frottement modéré (pendule placé dans un liquide peu visqueux comme l'eau) l'amplitude des oscillations diminue progressivement (régime pseudo périodique).

Si les frottements sont très importants (liquide très visqueux), le pendule, écarté de sa position d'équilibre puis abandonné à lui-même, revient vers cette position d'équilibre sans osciller (régime apériodique).

Remarques :

□ □ En présence de frottement, l'énergie mécanique du système solide-ressort ne se conserve plus. Elle diminue et se transforme en chaleur dissipée vers le milieu extérieur

## OSCILLATIONS FORCEES D'UN PENDULE ELASTIQUE.

### Définition

Un oscillateur, de fréquence propre  $f_o = 1 / T_o$ , subit des oscillations forcées s'il oscille à une fréquence  $f$  imposée par un appareil extérieur appelée excitateur.

### Etude expérimentale

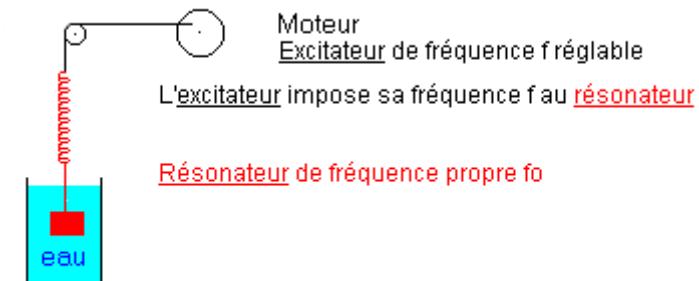
□ □ Le résonateur étudié est le pendule élastique représenté sur le schéma ci-dessous.

□ □ Grâce à un moteur, on applique au pendule élastique, amorti par frottement solide-liquide, une force motrice extérieure, de période  $T$  pouvant être différente de la période propre

$$T_o = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K}}$$

de l'oscillateur.

### Oscillations forcées



L'eau exerce :

- une poussée d'Archiméde sur le solide
- des forces de frottement

L'exciteur (moteur), de fréquence réglable, impose sa fréquence f au résonater. Il agit, par l'intermédiaire d'une poulie et d'un fil sur l'extrémité haute du ressort.

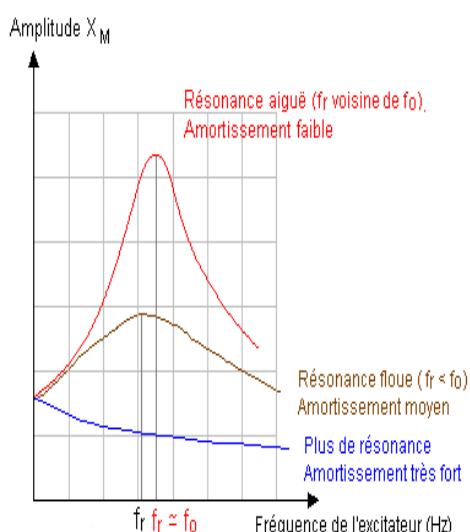
- Changeons la fréquence f de l'exciteur et mesurons l'amplitude des oscillations du résonater.

L'amplitude du résonater passe par un maximum pour une fréquence particulière f<sub>r</sub> imposée par l'exciteur (fréquence de résonance).

Cette fréquence de résonance f<sub>r</sub> est proche de la fréquence propre f<sub>0</sub> du résonater si l'amortissement est faible.

La courbe donnant les variations de l'amplitude des oscillations du résonater en fonction de la fréquence qui lui est imposée par l'exciteur s'appelle courbe de résonance.

Influence de l'amortissement : Si l'amortissement augmente (en plaçant le solide du résonater dans des liquides de plus en plus visqueux) la fréquence de résonance diminue et la résonance devient plus floue. Il n'y aurait plus de résonance si l'amortissement devenait très important.



L'exciteur impose sa fréquence au résonater.

Remarque : Notons les analogies avec les oscillations forcées d'un pendule simple

## B. OSCILLATIONS ELECTRIQUES

### 1. LE CIRCUIT OSCILLANT LC

#### OSCILLATIONS ELECTRIQUES LIBRES NON AMORTIES OU AMORTIES

- A  B Résistance  $U_{AB} = R i_{AB}$   $p_{AB} = R i^2$  puissance dissipée en chaleur
- A  B Inductance pure  $U_{AB} = L \frac{di_{AB}}{dt}$   $W_{AB} = \frac{1}{2} L i^2$  énergie magnétique stockée
- A  B Condensateur  $i_{AB} = \frac{dq_A}{dt} = C \frac{du_{AB}}{dt}$   $W_{AB} = \frac{1}{2} C u^2$  énergie électrique stockée  
 $q_A = C u_{AB}$      $q_B = C u_{BA}$      $q_A = -q_B$
- A  B Pour une bobine inductive et résistive, on écrit :  $U_{AB} = R i_{AB} + L \frac{di_{AB}}{dt}$

SITUATION D'APPRENTISSAGE N° 4

TITRE : CHIMIE ORGANIQUE

## **1- Eléments de planification**

1.1. Durée : 7 h x 4 = 28 h

1.2. Contenus de formation

1.2.1. Compétences

1.2.1.1 Compétences disciplinaires

- Compétence disciplinaire N° 1
- Compétences disciplinaires N° 2 et 3

1.2.1.2 Compétences transversales :

- Compétence transversale N° 1
- Compétence transversale N° 2
- Compétence transversale N° 3
- Compétence transversale N° 5
- Compétence transversale N° 6
- Compétence transversale N° 8

1.2.1.3 Compétences transdisciplinaires

- Compétence transdisciplinaire N° 2
- Compétence transdisciplinaire N° 3
- Compétence transdisciplinaire N° 4
- Compétence transdisciplinaire N° 5
- Compétence transdisciplinaire N° 6

1.2.2. Connaissances et techniques

Connaissances et techniques	Indications pédagogiques et commentaires	Compétences, capacités, connaissances et techniques exigibles (évaluation)
1- Notions élémentaires de stéréochimie	<i>D'une manière générale, la stéréochimie et les composés organiques oxygénés (alcool, aldéhyde, cétone et acide carboxylique) ont été abordés de façon plus ou moins exploratoire par les apprenants en première. En classe de terminale il s'agit d'aller plus loin et</i>	<i>L'évaluation (formative ou sommative) portera sur des situations complexes ou des items d'évaluation sollicitant la mobilisation des connaissances et techniques pour expliquer, argumenter,</i>

<ul style="list-style-type: none"> <li>Possibilité de rotation autour d'une liaison C-C ; notion de conformation : cas de l'éthane et du cyclohexane.</li> <li>La double liaison Carbone-carbone et la diastéréoisomérie Z-E.</li> <li>Le carbone asymétrique ; énantiomérie ; chiralité ; activité optique.</li> </ul>	<p><b>d'asseoir de manière plus ferme des concepts nouveaux et les applications associées.</b></p> <p><i>Pour cette étude de stéréochimie, le professeur peut partir d'une situation complexe où des molécules, au cours des réactions chimiques, se comportent différemment selon leur structure qui peut permettre aux apprenants de se poser des questions comme :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Comment s'expliquent les possibilités de rotation autour d'une liaison C-C; la planéité des doubles liaisons?</li> <li>-Comment reconnaître les isomères de conformation et les isomères de configuration?</li> <li>-Quelles sont les conformations de l'éthane et du cyclohexane ?</li> <li>-Quels sont les isomères de configuration des composés à double liaison éthylénique?</li> <li>-Comment distinguer les isomères de conformation des isomères de configuration?</li> <li>-Comment reconnaître un carbone asymétrique dans une molécule ?</li> <li>-Comment utiliser les modèles moléculaires pour la représentation de chaque isomère et un couple d'énantiomères à partir de la formule développée plane?</li> <li>-Quand parle-t-on de chiralité et d'énantiomérie?</li> <li>-Quelle est la signification de : composé dextrogyre, composé lévogyre et mélange racémique ?</li> </ul> <p><i>Le professeur aidera les apprenants à mener des activités d'observation, d'expérimentation et d'exploitation documentaire dans la logique d'une démarche expérimentale. En effet, les apprenants seront amenés à mettre en évidence de l'activité optique d'une solution à l'aide d'un polarimètre.</i></p>	<p><b>classer, distinguer, nommer ou prendre position</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Distinguer un isomère de constitution d'un stéréo-isomère.</li> <li>Distinguer un stéréoisomère de conformation d'un stéréoisomère de configuration.</li> <li>Faire la représentation spatiale du carbone tétraédrique.</li> <li>Utiliser la projection de Newman.</li> <li>Reconnaitre un carbone asymétrique dans une molécule.</li> <li>Reconnaitre et représenter les deux énantiomères d'une molécule.</li> <li>Distinguer les diastéréoisomères Z/E.</li> <li>Construire le modèle moléculaire d'une molécule dont la représentation conventionnelle est donnée, et inversement.</li> <li>Construire les modèles moléculaires d'un couple d'énantiomères à partir de la formule développée plane.</li> </ul>
---	--	---

<p><b>2- Les alcools.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Existence des trois classes d'alcools ; nomenclature.</li> <li>• Préparation par hydratation d'un alcène. Obtention de l'éthanol par fermentation alcoolique.</li> <li>• Quelques propriétés des alcools : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Réaction avec le sodium.</li> <li>- Déshydratation des alcools. Cas de l'éthanol.</li> <li>- Oxydation des alcools primaires et secondaires ; groupe carbonyle C = O des aldéhydes et des cétones ; caractère réducteur des aldéhydes ; passage aux acides.</li> <li>- Passage aux phosphates d'alkyle.</li> <li>- Polyalcools ; exemples : <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Glycol : formule et principe de</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	<p><i>Les connaissances et techniques sont à faire construire par les apprenants grâce à une démarche scientifique.</i></p> <p><i>Pour les connaissances qui entourent le thème « alcool », donner des activités qui suscitent chez les apprenants la construction desdites connaissances.</i></p> <p><u>Quelques interrogations:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Comment reconnaître le groupe fonctionnel alcool dans la formule d'un composé organique ?</li> <li>- Comment nommer et classer les alcools et les polyols ?</li> <li>- Comment obtenir les alcools et le glycol ?</li> <li>- Quelles sont les propriétés physiques des alcools ?</li> <li>Quelles sont les propriétés chimiques des alcools et des polyols ?</li> <li>- Comment oxyder les alcools et le glycol ?</li> <li>- Comment écrire et exploiter quantitativement les équations-bilan des réactions d'oxydation des alcools, des réactions des alcools avec le sodium, avec les acides phosphoriques ?</li> <li>- Quelles sont les propriétés chimiques des aldéhydes et cétones ?</li> <li>- Quels sont le rôle et l'intérêt biologique des phosphates d'alkyle dans le métabolisme ?</li> </ul> <p><i>A partir des activités d'enquête, d'observation, d'expérimentation et/ou d'exploitation documentaire, les apprenants seront amenés à découvrir l'importance de la fermentation alcoolique d'un sucre fermentescible (vin de palme ou d'une solution de glucose) puis l'extraction de l'éthanol par distillation et son rôle économique (expérience à réaliser). Les propriétés des alcools au programme pourront être illustrées par des expériences comme celles de la lampe sans flamme, les réactions d'oxydation etc. Pour réaliser les réactions d'oxydation des différentes classes d'alcool (expérience à réaliser), on pourra utiliser le permanganate de potassium, très répandu sur le marché. Cependant, il sera exigé des apprenants de savoir écrire les équations des réactions avec l'un et l'autre des deux couples <math>\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/\text{Cr}^{3+}</math> et <math>\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}</math> en milieu acide.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La formule d'un alcool</li> <li>• La nomenclature des alcools</li> <li>• Les trois classes d'alcools.</li> <li>• Réaliser l'obtention des alcools par hydratation des alcènes et par fermentation alcoolique.</li> <li>• Réaliser la fermentation des jus de fruits sucrés et extraire l'alcool par distillation.</li> <li>• De nombreuses propriétés chimiques sont communes aux alcools ; cependant des propriétés telles que l'oxydation ménagée permettent de les différencier.</li> <li>• Oxydation en phase gazeuse et en solution aqueuse</li> <li>• Caractérisation des produits d'oxydations (aldéhyde, cétone et acide)</li> <li>• Aldéhydes et cétones ont en commun le groupe carbonyle</li> <li>• Les aldéhydes sont réducteurs, contrairement aux cétones</li> <li>• Les déshydratations intramoléculaire et intermoléculaire des alcools. Cas de l'éthanol.</li> <li>• Passage aux phosphates d'alkyle</li> <li>• Deux polyols très importants dans l'industrie sont l'éthane-1,2-diol (glycol) et le propane-1,2,3-triol (glycérol)</li> <li>• Réaliser l'expérience de l'oxydation des différentes classes d'alcool, par le permanganate de potassium.</li> </ul>
--	--	---

<p>préparation</p> <p>✓ Glycérol : formule.</p>	<p>N.B : Beaucoup de composés courants contiennent de l'alcool (parfum, boissons, etc.) et peuvent être utilisés pour les expériences. Mais il faudra éviter les composés colorés.</p>	
<p><b>3- Les amines</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Existence des trois classes d'amines ; nomenclature.</li> <li>• Quelques propriétés des amines : <ul style="list-style-type: none"> <li>- caractère basique</li> <li>- caractère nucléophile : réaction avec les dérivés halogénés (réaction d'HOFFMAN), passage aux amides.</li> </ul> </li> </ul>	<p><i>Comme précédemment, les connaissances et techniques seront mobilisées dans une démarche scientifique et tout ceci selon l'approche socio-constructiviste.</i></p> <p><i>Pour les connaissances qui entourent le thème « amine » donner des activités qui suscitent de la part des apprenants la construction desdites connaissances.</i></p> <p><u>Quelques interrogations</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Comment reconnaître le groupe fonctionnel amine dans la formule d'un composé organique ?</li> <li>- Comment nommer et classer les amines ?</li> <li>- Quelles sont les propriétés basiques des amines ?</li> <li>- Quelles sont les propriétés nucléophiles des amines?</li> <li>- <i>Les apprenants, à partir des activités d'enquête, d'observation, d'expérimentation et/ou d'exploitation documentaire seront donc amenés à :</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>découvrir que le doublet libre de l'atome d'azote permet à l'amine de capter un proton, d'où le caractère basique de l'amine.</i></li> <li>- <i>identifier les couples acide-base suivants <math>RNH_3^+</math> / <math>RNH_2</math>; <math>RR'NH_2^+</math> / <math>RR'NH</math>; <math>RR'R''NH^+</math> / <math>RR'R''N</math>; donner leurs noms et leurs formules.</i></li> <li>- <i>mettre en évidence le caractère nucléophile de l'amine dû au doublet de l'atome d'azote : formation d'une liaison N – C avec un dérivé halogéné ou un chlorure d'acyle.</i></li> <li>- <i>écrire les équations des différentes étapes de la réaction d'HOFFMAN.</i></li> <li>- <i>écrire l'équation-bilan de la réaction d'une amine avec un chlorure d'acyle.</i></li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• classes d'amines ;</li> <li>• nomenclature.</li> <li>• propriétés des amines : <ul style="list-style-type: none"> <li>- caractère basique</li> <li>- caractère nucléophile : réaction avec les dérivés halogénés (réaction d'HOFFMAN), passage aux amides.</li> </ul> </li> <li>• dosage d'une solution d'amine.</li> </ul>

	<p><i>On attirera l'attention des apprenants sur le fait que le chlorure d'hydrogène qui se forme réagit sur l'amine (réaction acide-base) et limite le rendement de la formation de l'amide. On y remédie, soit par un excès de l'amine, soit en ajoutant au milieu réactionnel une amine tertiaire qui fixe l'acide chlorhydrique et évite la réaction de celui-ci avec l'amine de départ.</i></p>	
<b>4- Les acides carboxyliques.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Formule des acides carboxyliques, exemples.</li> <li>• Passage aux fonctions dérivées: chlorure d'acyle, anhydride d'acide, amides, esters.</li> <li>• Réactions d'estérification et d'hydrolyse.</li> </ul> <p>Saponification des esters.</p>	<p><i>Le professeur aidera les apprenants à mener des activités d'observation, d'expérimentation et d'exploitation documentaire dans la logique d'une démarche scientifique. En effet, les apprenants seront amenés à construire les savoirs qui s'articulent autour du thème « acide carboxylique ». Il s'agira de donner des activités qui suscitent la construction desdits savoirs.</i></p> <p><u>Quelques interrogations:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Comment reconnaître les groupes fonctionnels acide, ester, chlorure d'acyle, anhydride d'acide et amide dans la formule d'un composé organique ?</li> <li>-Comment nommer les acides, les esters, les chlorures d'acyle, les anhydrides d'acide et les amides ?</li> <li>-Quelles sont les propriétés chimiques (solubilité, acidité et estérification) des acides carboxyliques?</li> <li>- Comment passer aux fonctions dérivées des acides carboxyliques ?</li> <li>- Comment écrire et exploiter quantitativement les équations-bilan des réactions d'estérification et d'hydrolyse d'ester et de saponification des esters?</li> <li>- Comment déplacer un équilibre chimique ?</li> <li>- Comment réaliser en pratique une estérification et/ou l'hydrolyse d'un ester.</li> <li>- Comment réaliser en pratique la saponification d'un ester ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formule générale des acides carboxyliques,</li> <li>• Réactions d'estérification et d'hydrolyse.</li> <li>• Saponification des esters.</li> <li>• Passage aux fonctions dérivées : anhydride d'acide et chlorure d'acyle. Intérêt en ce qui concerne la synthèse des esters.</li> <li>• Passage aux amides.</li> <li>• Reconnaître les groupes fonctionnels acides, ester, chlorure d'acyle, anhydride d'acide et amide dans la formule d'un composé organique.</li> <li>• Retrouver les formules de l'acide carboxylique et de l'alcool à partir de la formule semi-développée d'un ester.</li> <li>• Écrire et exploiter quantitativement l'équation-bilan : d'une réaction d'estérification, d'une réaction d'hydrolyse. d'une réaction de saponification.</li> <li>• Lors d'une réaction d'estérification et d'hydrolyse, le chauffage ne permet pas de déplacer un équilibre : il n'a aucun effet sur l'état d'équilibre.</li> <li>• Donner le protocole expérimental d'une estérification et d'une hydrolyse.</li> <li>• Donner le protocole expérimental d'une saponification.</li> </ul>

<p><b>5- Les acides <math>\alpha</math>-aminés</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Formule générale et exemples ; représentation de Fischer et nomenclature des configurations D et L ; chiralité et activité optique.</li> <li>• Existence de plusieurs formes : non ionique et ioniques; amphion.</li> <li>• Liaison peptidique : passage aux protéines.</li> <li>• Importance des protéines en biochimie</li> </ul>	<p>Pour cette étude, le professeur peut amener les apprenants, à partir des savoirs construits précédemment et à la suite des activités d'observation, d'expérimentation et/ou d'exploitation documentaire dans la logique d'une démarche scientifique, à construire les savoirs qui s'articulent autour du thème « <b>acides <math>\alpha</math>-aminés</b> » ..</p> <p><u>Quelques interrogations</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Comment reconnaître le groupe fonctionnel acide <math>\alpha</math>-aminé dans la formule d'un composé organique ?</li> <li>- Comment nommer les acides <math>\alpha</math>-aminés ?</li> <li>- Quelle est la stéréochimie des acides <math>\alpha</math>-aminés ?</li> <li>- Quelle est l'importance de la chiralité dans le monde vivant?</li> <li>- Comment constituer les chaînes protéiques à partir des acides <math>\alpha</math>-aminés ?</li> <li>- Quelle est l'importance des protéines en biochimie ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Formule générale d'un acide <math>\alpha</math>-aminé.</i></li> <li>• <i>Représentations L et D de Fischer d'un acide <math>\alpha</math>-aminé.</i></li> <li>• <i>Amphion d'un acide <math>\alpha</math>-aminé.</i></li> <li>• <i>Espèces prépondérantes dans la solution aqueuse d'un acide <math>\alpha</math>-aminé en fonction du pH.</i></li> <li>• <i>Formation de la liaison peptidique.</i></li> <li>• <i>Principe de la synthèse d'un peptide.</i></li> </ul>
---	---	---

#### 1.2.3. Stratégies objets d'apprentissage :

Recherche et exploitation documentaires ; démarche scientifique.

#### 1.2.4. Stratégies outils d'apprentissage :

Travail individuel, travail en groupe, travail collectif, enquête.

#### 1.3. Stratégies d'enseignement / apprentissage :

Travail individuel, travail en groupe, travail collectif, recherches documentaires, résolution de problème et enquête.

#### 1.4. Documents de référence suggérés :

- ✗ G. BESSY et al.(1995), *chimie terminale S*, BELIN, Paris ;
- ✗ A. Cros et al.(1989), *chimie terminale D*,BELIN, Coll. Cros, Paris ;
- ✗ A. Cunningham et al.(1989), *chimie terminales C. D.E.*, Hatier ;
- ✗ A. Durupthy et al. (1995) *chimie terminale S*, HACHETTE, Coll. Durupthy, Paris ;
- ✗ A. TOMASINO et al. (1989) *chimie terminale D*, Nathan, Paris ;
- ✗ A. TOMASINO et H. SLIWA(1995) *chimie terminale S*, Nathan, Paris ;
- ✗ *Programme d'études et guide de l'enseignant(e) de la classe de terminale* ;
- ✗ *Tous autres livres de chimie traitant du thème.*

**Des sites web.**

## LES ANNEXES DE LA S.A. 4

### ANNEXE 1 : QUELQUES ACTIVITES D'EXPERIMENTATION ET/ OU D'OBSERVATION.

#### II- DOSAGE DE L'ETHANOL DANS UN VIN

Le présent document correspond à deux séances de travaux pratiques : la distillation du vin et le dosage proprement dit de l'éthanol.

La distillation, telle qu'elle est proposée, demande presque une heure. Il est possible d'utiliser le distillat du groupe précédent et ne faire que le dosage. De toute façon il faudrait avoir, préalablement, lu tout le texte et fait les exercices du paragraphe 6.

##### **1. Composition d'un vin**

La composition d'un vin est variable, dépend du cépage, du terrain, un peu du procédé de vinification et même du millésime !

Voici quelques ordres de grandeur des masses ou des volumes de produits chimiques que l'on trouve dans la plupart des vins, dans un litre :

- Eau : 700 à 900 g ; température d'ébullition normale ;  $T_{Eb}=100^{\circ}\text{C}$ .
- Éthanol : 5 à 17 % en volume ;  $T_{Eb}=78^{\circ}\text{C}$ .
- Sucres (glucose ou fructose)  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  : 0 à 80 g.
- Acide tartrique (acide 2,3- dihydroxybutanedioïque : 5 à 10 g) ; formule :  
 **$\text{CO}_2\text{H} - \text{CHOH} - \text{CHOH} - \text{CO}_2\text{H}$ .**

Les dépôts de certains vins sont essentiellement des tartrates.

- Acide acétique : quelques décigrammes ;  $T_{Eb}=118^{\circ}\text{C}$
- Tannins colorants.
- Ions sulfate, phosphate, chlorure associés essentiellement aux ions calcium, potassium, sodium (0,1 g à quelques grammes).
- Gaz acides dissous (dioxyde de carbone, dioxyde de soufre surtout pour les vins blancs).

Le pH d'un vin est toujours acide à cause des acides dissous.

Les constituants les plus abondants du vin sont donc l'eau et l'éthanol.

##### **2. Objectifs de la manipulation**

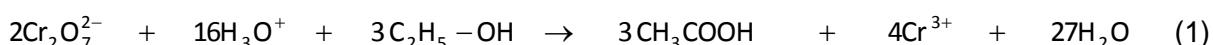
Déterminer le pourcentage en volume de l'éthanol contenu dans le vin et le comparer à l'indication fournie sur l'étiquette.

##### **3. Principes de la manipulation et difficultés**

a. Il faut extraire, de l'échantillon analysé de volume donné, *tout l'éthanol* et éliminer tous les autres corps dissous sauf l'eau. En particulier il faut éliminer les sucres dissous qui sont réducteurs comme l'éthanol. On procède *par distillation*.

b. Tout l'éthanol est oxydé en acide éthanoïque par une solution aqueuse de dichromate de potassium acidifiée par de l'acide sulfurique.

La réaction support d'équation-bilan est :



Afin d'assurer l'oxydation de tout l'éthanol en acide éthanoïque il faut utiliser l'oxydant en excès et même laisser à la réaction, qui n'est pas instantanée, le temps de se faire (10 à 15 minutes).

L'oxydant en excès est dosé par réaction d'oxydoréduction totale. Le réducteur employé est l'ion fer (II) ( $\text{Fe}^{2+}$ ), (le fer au degré d'oxydation + II est apporté par une solution de sel de Mohr de formule  $\text{FeSO}_4$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ; sous cette forme de combinaison chimique le fer se conserve beaucoup plus facilement au degré d'oxydation + II que l'ion  $\text{Fe}^{2+}$  très oxydable en solution aqueuse et donc difficile à conserver).

Le passage à l'équivalence de cette réaction d'oxydoréduction est observé grâce à un indicateur coloré d'oxydoréduction : le diphenylamine sulfonate de baryum. Le passage à l'équivalence de la réaction d'oxydoréduction s'accompagne *d'une variation brutale* du potentiel oxydoréducteur du milieu réactionnel. Ce dernier passe de l'état très oxydant

(E de l'ordre de 1,3 V avec des ions dichromate en excès en milieu acide) à l'état réducteur (E de l'ordre de 0,7 V avec des ions fer (II) en excès). L'indicateur coloré d'oxydoréduction *change nettement de couleur* lors de cette variation du potentiel oxydoréducteur.

La réaction support est la suivante et il faut être capable de l'établir méthodiquement (cf. équilibrage d'une équation-bilan d'oxydoréduction).



Pour simplifier nous avons noté  $\text{Fe}^{2+}$  les ions fer(II) combinés dans le sel de Mohr.

#### **4. Protocole expérimental**

##### a. Distillation du vin

- Prélever exactement 100,0 cm<sup>3</sup> de vin avec une fiole jaugée de 100 cm<sup>3</sup>. L'ajustage au trait de jauge peut nécessiter l'emploi d'un compte-gouttes ou d'une pipette ordinaire.
- Verser le vin dans un ballon de 250 cm<sup>3</sup>, rincer la fiole avec quelques cm<sup>3</sup> d'eau distillée, ajouter l'eau de rinçage dans le ballon.
- Ajouter quelques grains de pierre ponce pour régulariser l'ébullition.
- Procéder à la distillation de la moitié **environ du** liquide. Noter l'évolution de la température des vapeurs en haut de colonne (voir **figure 1**) en fonction du temps.
- Recueillir le distillat (**50 cm<sup>3</sup> environ**) directement dans la fiole jaugée de 100 cm<sup>3</sup>.
- Compléter à 100,0 cm<sup>3</sup> **exactement** le volume du distillat par addition d'eau distillée. Attention à ne pas dépasser le trait de jauge. Boucher avec un bouchon, homogénéiser par retournements successifs.

**Nous disposons d'une solution aqueuse d'éthanol, de même pourcentage en volume d'éthanol que le vin étudié.** Cette solution sera notée  $S_1$  sa concentration molaire en éthanol est notée  $c_1$ .

La solution  $S_1$  qui ne contient que de l'alcool et de l'eau peut être étudiée directement avec un alcoomètre. En effet la densité de la solution est une fonction monotone décroissante du pourcentage volumique d'éthanol. Attention, si la température de mesure diffère de la température d'étalonnage de l'alcoomètre il faut procéder à des corrections délicates grâce à des abaques fournies par le réalisateur de l'alcoomètre ou du densimètre.

##### b. Dosage de l'alcool dans la solution $S_1$

- Diluer 10 fois la solution  $S_1$  (ou une partie de cette solution) avec de l'eau distillée. On obtient  $S_2$ .

Sa concentration molaire en alcool vaut  $c_2 = \frac{c_1}{10}$

- Prélever un volume  $V_2 = 10,0 \text{ cm}^3$  de solution  $S_2$  avec une pipette jaugée et le verser dans une fiole conique de 250 cm<sup>3</sup> (erlenmeyer).
- Ajouter un volume  $V_3 = 20,0 \text{ cm}^3$  de solution de dichromate dans la fiole, à l'aide d'une seconde pipette jaugée.

Soit  $c_3 = 0,1000 \text{ mol.L}^{-1}$  la concentration molaire de la solution oxydante (29,42 g de dichromate de potassium par litre).

Ajouter lentement et en refroidissant éventuellement, environ 10 cm<sup>3</sup> d'acide sulfurique concentré (18 mol.L<sup>-1</sup> ).

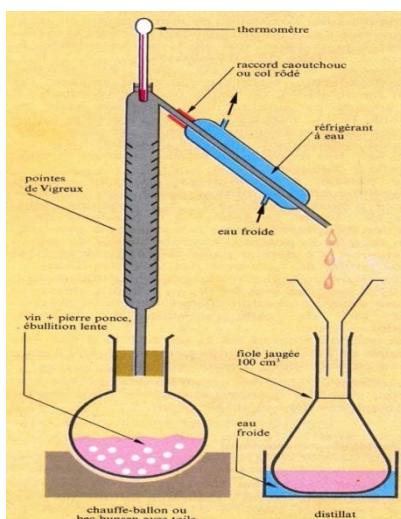
Attention au caractère corrosif de cet acide ; utiliser une éprouvette graduée (surtout ne pas le pipeter).

Les ions chrome (III) résultant de la réduction d'une partie du dichromate donnent une teinte très foncée au liquide dans la fiole conique.

- Ajouter quelques gouttes de diphenylaminosulfonate de baryum.

- laisser la réaction se faire pendant 10 à 15 minutes environ.

- Verser, à la goutte près, grâce à une burette graduée, le volume  $V_4$  de solution de sel de Mohr qui fait virer la couleur de la solution du vert au rouge vineux. L'équivalence de la réaction de dosage de l'excès de dichromate est alors atteinte. Soit  $c_4 = 0,2000 \text{ mol.L}^{-1}$  la concentration de la solution de sel de Mohr (78,44 g de sel par litre de solution.)



1. Une répartition continue décroissante des températures du bas vers le haut de la colonne à distiller. Le thermomètre indique la température des vapeurs qui se condensent.

## 5. Calculs

. (Une mole de dichromate consomme 6 moles d'électrons. Une mole d'alcool oxydé en fournit 4 et 1 mole de sel de Mohr en fournit 1.)

. Calculons la quantité de matière d'électrons que le volume  $V_3$  de dichromate peut consommer :

$$n_3(e^-) = 6 C_3 \cdot V_3 \text{ mol}$$

. Quantité de matière d'électrons fournis par la solution alcoolique  $S_2$  :

$$n_2(e^-) = 4 C_2 V_2 \text{ mol}$$

- Quantité de matière d'électrons  $n_4(e^-)$  fournis par la solution de sel de Mohr :  $n_4(e^-) = 1 C_4 V_4 \text{ (mol d'e^-)}$

- **A l'équivalence, la quantité de matière d'électrons consommée par l'oxydant est égale à la somme des quantités de matière d'électrons cédées par les oxydants.**

$$n_3(e^-) = n_2(e^-) + n_4(e^-) \text{ d'où : } n_2(e^-) = 6 C_3 V_3 - C_4 V_4 = 4 C_2 V_2$$

. Calcul de la concentration molaire  $C_1$ , de  $S_1$ , (ou du vin) en éthanol.

$$C_1 = 10 C_2 = \frac{10}{4} \times \frac{(6 C_3 V_3 - C_4 V_4)}{V_2} = 2,5 \times \frac{(6 C_3 V_3 - C_4 V_4)}{V_2}$$

Masse m d'alcool dissous dans  $V_1$ , = 1 litre de vin :  $m(C_2H_5OH) = c_1 V_1 M$  ( $C_2H_5OH$ ) avec M en g. mol<sup>-1</sup>

Volume d'alcool pur par litre de vin sachant que la masse volumique de l'alcool à 20°C est  $\rho(C_2H_5OH) = 789$  g. L<sup>-1</sup>.

$$V = \frac{m(C_2H_5OH)}{\rho(C_2H_5OH)}$$

Pourcentage d'alcool en volume dans le vin :

$$\% \text{Volume} = \frac{100 \times V}{V_1} = 250 \times \frac{(6c_3 v_3 - c_4 v_4)}{v_2 \rho} \times M(C_2H_5OH)$$

#### 6. Questions concernant la préparation de ces T.P. et leur exploitation

- Dans le texte du paragraphe 4a qui fournit le protocole expérimental de la distillation on indique que certaines quantités employées sont précises, d'autres approximatives.
- Expliquer pourquoi à partir des expressions en caractères gras du paragraphe 4a.
- Expliquer concrètement avec quel matériel et comment on dilue exactement dix fois (début du paragraphe 4 b).
- Expliquer concrètement avec quels matériels et produits on peut préparer les solutions titrées de dichromate de potassium et de sel de Mohr (on veut un 1 par exemple de chaque solution pour un groupe de T.P.) et comment on procède. Est-il nécessaire d'avoir des concentrations molaires exactement égales à celles proposées : 0,1000 ou 0,2000 mol.L<sup>-1</sup>? Pourquoi a-t-on écrit les trois zéros après le 1 ou le 2 ?
- Quel intérêt y a-t-il de regrouper tous les résultats des divers groupes de T.P. qui ont travaillé sur le même vin ?

#### **Comment cet ensemble de mesures est-il exploité ?**

Dans le protocole du paragraphe 4b, on demande de « verser un volume  $V_4$  à la goutte près ». Afin d'avoir une idée de l'ordre de grandeur à atteindre et pour ne pas tâtonner sur un intervalle trop grand, on peut calculer la valeur théorique de  $V_4$  soit  $V_{4th}$  à partir du pourcentage en volume d'alcool annoncé par le négociant (sur l'étiquette par exemple). On pourra ensuite verser directement  $V_{4th} - 2$  cm<sup>3</sup> et tâtonner à la goutte près ensuite (1 goutte = 0,05 cm<sup>3</sup>) jusqu'à la valeur de  $V_4$  expérimentale.

A titre d'exemple prenons un vin à 10 % d'alcool en volume. La masse m d'alcool dans les 100 cm<sup>3</sup> de S vaut :

$$m = \frac{10}{100} \times 0,1 \times 789 = 7,89 \text{ g}$$

La quantité de matière correspondante d'alcool dans  $S_1$  vaut :

$$n_1(C_2H_5OH) = \frac{m_1}{M(C_2H_5OH)} = 1,711 \cdot 10^{-1} \text{ mol}$$

La quantité de matière d'alcool dosée dans 10 cm<sup>3</sup> de  $S_2$  vaut :

$$n_2(C_2H_5OH) = \frac{n_1(C_2H_5OH)}{100} = 1,711 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

Quantité de matière  $n_2(e^-)$  d'électrons fournis par une quantité  $n_2$  d'alcool :

$$n_2(e^-) = 4 n_2(C_2H_5OH) = 6,846 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

Quantité de matière  $n_3(e^-)$  d'électrons consommés par  $V_3 = 20,0 \text{ cm}^3$  de solution de dichromate de concentration molaire  $c_3 = 0,1000 \text{ mol. L}^{-1}$

$$n_3(e^-) = 6c_3 V_3 = 6 \cdot 0,1000 \cdot 20,0 \cdot 10^{-3} = 12,000 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

Quantité de matière  $n_4(e^-)$  d'électrons à fournir pour réduire le dichromate en excès :

$$n_4(e^-) = n_3(e^-) - n_2(e^-) = 5,154 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

Volume théorique  $V_{4\text{th}}$  de solution de sel de Mohr de concentration  $c_4 = 0,2000 \text{ mol.L}^{-1}$ :

$$V_{4\text{th}} = \frac{n_4(e^-)}{c_4} \approx 25,8 \cdot 10^{-3} \text{ L soit } 25,8 \text{ cm}^3.$$

On pourra donc utiliser une « chute de burette» directe de  $24 \text{ cm}^3$  par exemple et tâtonner à partir de ce volume au goutte à goutte.

• Avec les potentiels standards d'oxydoréduction des 3 couples d'oxydoréduction de la manipulation, montrer que les équations-bilans 1 et 2 peuvent être totales (chercher les potentiels standards dans la table du livre).

• Une solution aqueuse à 10 % d'éthanol dans l'eau a une masse volumique de  $986,5 \text{ g. L}^{-1}$ .

Sachant que la masse volumique de l'alcool pur à la même température ( $20^\circ\text{C}$ ) est de  $789 \text{ g. L}^{-1}$ , montrer que le mélange alcool-eau se fait avec une légère diminution de volume.

En pratique, comment peut-on réaliser une solution aqueuse d'alcool à 10,0 % en volume d'alcool ? Cette solution nous permettrait de tester la validité du protocole de T.P. Expliquer pourquoi.

## II. PREPARATION D'UN SAVON

### ◆ BUT

Préparer un savon par réaction d'une solution de soude sur un corps gras (huile d'olive).

### ◆ MATÉRIEL ET PRODUITS

- *Matériel* : chauffe-ballon ; ballon de 250 mL ; réfrigérant à eau ; éprouvette graduée de 25 mL ; grand bêcher (500 mL) ; nécessaire pour filtrer sur papier filtre ou sur Buchner ; moule.

- *Produits* : solution d'hydroxyde de sodium concentrée à 3 mol,  $\text{L}^{-1}$ , huile d'olive (ou autre) ; éthanol ; chlorure de sodium ; sulfate de magnésium ; linge porteur de taches de graisse et de terre.

### ◆ MANIPULATION

a) Dans un ballon de 250 mL, introduire successivement à l'aide d'une éprouvette :

20 mL d'huile d'olive, 20 mL d'éthanol, et avec précaution 20 mL d'une solution de soude à  $3 \text{ mol.L}^{-1}$ . (Attention : gants et lunettes.)

b) Agiter pour homogénéiser le mélange puis adapter un réfrigérant à eau.

Porter le mélange à ébullition douce pendant 30 minutes environ.

Qu'observe -t- on ?

c) A la fin du chauffage, laisser refroidir légèrement le mélange puis le verser dans un grand bêcher d'eau froide saturée en sel.

d) Filtrer à l'aide d'un papier filtre. Faire sécher dans un moule. Il faut plusieurs jours de séchage pour que le savon soit bien sec.

**Remarque :** Juste avant la filtration on peut ajouter deux gouttes d'huile essentielle de lavande (ou autre) au savon pour le parfumer. . .

*La pâte obtenue après filtration peut être moulée ; au bout de 24 ou 48 h, elle a séché, et le savon se démoule aisément.*

## SITUATION D'APPRENTISSAGE N° 5

### Titre : L'OPTIQUE

#### 2. Elément de planification

##### 2.1. Durée

##### **2.2. Contenus de formation**

###### 2.2.1. les compétences disciplinaires visées

2.2.1.1. la compétence disciplinaire n°1

2.2.1.2. la compétence disciplinaire n°2

<b>Domaine: Optique</b>		
<b>Connaissances et techniques</b>	<b>Indications pédagogiques et commentaires</b>	<b>Connaissances et techniques exigibles (évaluation)</b>
	<p>Il s'agira d'observer des phénomènes lumineux grâce à l'utilisation de certains instruments optiques: lentilles minces, prismes, réseaux, polaroïds.</p> <p>Le professeur pourra trouver des situations de vie courante où l'utilisation des ces instruments va permettre d'observer la déviation des rayons lumineux (lentilles, prismes, réseaux), la dispersion de la lumière (primes et réseaux), la diffraction de la lumière par un réseau et la polarisation de la lumière avec les polaroïds.</p>	
<b>I. Lentilles minces:</b>  lentilles minces convergentes et divergentes; position et grandeur de l'image de l'image; vergence	<p>Les élèves ont déjà étudié les lentilles en classes de 4<sup>e</sup> et de 3<sup>e</sup> ; il s'agira ici de revenir sur les connaissances acquises à ce propos et de les approfondir. Le professeur amènera donc les élèves à reconnaître la nature de la lentille par les méthodes manuelle (palper), optique et par déplacement de la lentille sur une page imprimée. On abordera le phénomène de déviation de la lumière par réfraction et on parlera du centre optique, de rayons de courbure, de la distance focale, des foyers et des plans focaux à partir de la marche d'un rayon lumineux à travers la lentille. On évoquera les notions d'images, d'objets et on réapprendra à construire l'image d'un objet ; on rappellera la marche d'un rayon lumineux passant par un foyer secondaire. On définira et on se placera dans les</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Définition d'une lentille mince.</li><li>- Reconnaissance d'une lentille convergente et d'une lentille divergente.</li><li>- Mise en évidence des propriétés du centre optique, des foyers objet et image, des plans focaux objet et image.</li><li>- Détermination expérimentale de la distance focale d'une lentille.</li><li>- Construction graphique de l'image d'un objet réel ou virtuel.</li><li>- Reconnaissance d'une image réelle et d'une</li></ul>

	<p>conditions de Gauss. La relation de conjugaison sera établie, de même que celle du grandissement. Les distances <math>p</math> et <math>p'</math> seront évaluées algébriquement à partir de l'orientation de l'axe optique dans le sens de propagation de la lumière, pris comme sens positif. L'image sera orientée positivement vers le haut. On précisera le signe de la distance focale selon que la lentille est convergente ou divergente et on définira la vergence. Quant à l'association des lentilles, on établira la formule de la vergence dans le cas de deux lentilles accolées. Si elles ne sont pas accolées l'établissement de la formule est hors programme.</p> <p>Les applications des lentilles seront évoquées dans des exercices proposés aux élèves, et on pourra faire une description de la technologie de ces applications (œil, microscope, appareil photographique, caméra, etc.). On insistera surtout sur le rôle médical des lentilles dans la correction des défauts de l'œil.</p>	<p>image virtuelle.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Etablissement des relations algébriques de conjugaison et de grandissement et leurs utilisations pour une lentille ou pour un système de deux lentilles au maximum.</li> <li>- Définition des conditions de l'approximation de Gauss.</li> <li>- Définition et calcul de la vergence d'une lentille et précision de son unité de mesure : la dioptrie (<math>\delta</math>)</li> <li>- Calcul de la vergence de deux lentilles minces accolées.</li> </ul>
<b>II. Décomposition de la lumière.</b>	<p>La dispersion de la lumière blanche sera réalisée par un prisme et par un réseau. On définira la notion de dispersion de la lumière et de spectre lumineux.</p> <p>Pour le prisme, on mettra l'accent sur le côté quantitatif, à savoir, le calcul de l'angle de déviation d'un rayon lumineux. De plus le sens et l'importance de la déviation seront interprétés en fonction de la longueur d'onde de la radiation et on admettra que l'indice de réfraction <math>n</math> du verre du prisme est fonction de la radiation. On en profitera pour expliquer le phénomène d'arc-en-ciel.</p> <p>Le phénomène de la diffraction sera observé avec le réseau. On décrira le réseau et on mettra en évidence sa caractéristique <math>n</math> (nombres de traits par millimètre).</p> <p>En exercice, on déterminera, à partir de la relation <math>\sin\theta = k\lambda n</math> que l'on établira, les directions correspondant à un maximum de lumière dans le cas d'incidence normale.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reconnaissance du prisme et du réseau et leurs utilisations pour réaliser la dispersion de la lumière.</li> <li>- Définition de l'indice de réfraction d'un milieu et mémoriser qu'il dépend de la longueur d'onde de la lumière traversant ce milieu.</li> <li>- Réalisation du spectre de la lumière blanche en vue de constater qu'elle est constituée d'une infinité de radiations monochromatiques.</li> <li>- Déterminations des longueurs d'onde limites du spectre visible: 0,4 <math>\mu\text{m}</math> et 0,8 <math>\mu\text{m}</math>.</li> <li>- Explication du phénomène d'arc-en-ciel.</li> </ul>

<b>III. Polarisation de la lumière</b>	<p>La polarisation de la lumière a été introduite pour mieux faire comprendre l'activité optique d'une solution de substance comportant un carbone asymétrique. Ce chapitre comporte certains points délicats que l'on doit élucider : le polariseur, l'analyseur.</p> <p>A partir de documents appropriés, on fera découvrir que le polariseur et l'analyseur sont deux filtres polarisants (Polaroïds) identiques. Le nom de polariseur ou d'analyseur provient du rôle joué par rapport à la lumière naturelle (polariseur) et par rapport à la lumière polarisée (analyseur). Le Polaroïd est une lame transparente constituée de très longues fibres, alignées parallèlement. Il sera observé et décrit. Le Polaroïd présente un axe privilégié <math>\Delta</math> orthogonal aux fibres et qui est appelé direction passante, direction caractéristique ou direction de polarisation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Définition de la nature des vibrations lumineuses (vibrations transversales: plan de vibration perpendiculaire à la direction de propagation des rayons lumineux)</li> <li>- Utilisation d'un montage pour montrer que la lumière polarisée se propage selon une direction privilégiée (plan de polarisation défini par la direction de la vibration de <math>\vec{E}</math> et la direction de propagation)</li> <li>- Mise en évidence du rôle d'un polariseur et celui de l'analyseur.</li> <li>- Enoncé de la loi de Malus et traduction par la relation :</li> </ul> $I = I_0 \cos^2\varphi$ <ul style="list-style-type: none"> <li>- Enoncé de la loi de Biot :</li> <li>✓ pour les solides : <math>\alpha = \alpha_0 \ell</math> ; (<math>\alpha_0 = \alpha</math>)</li> <li>✓ pour les solutions : <math>\alpha = \alpha'_0 \ell c</math> ; (<math>\alpha'_0 = [\alpha]_\lambda^t</math>)</li> <li>- le mélange racémique et son pouvoir rotatoire.</li> </ul>
--	--	---

## 2.2.2. stratégie objet d'apprentissage : Recherche documentaire

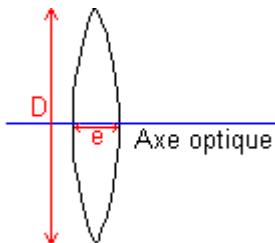
## 2.3. stratégies d'enseignement/apprentissage

## 2.4. Documents de référence suggérés : Physique Tle CE ou Tle D, Tomasino et al, édition 1989 et autres documents traitant du sujet.

## LES ANNEXES DE LA SA 5

**Convention:** Dans cet exposé, la lumière est supposée se déplacer de la gauche vers la droite.

### I. GENERALITES SUR LES LENTILLES MINCES:



Une lentille est un milieu transparent limité par deux surfaces dont l'une au moins n'est pas plane.

- D: Diamètre d'ouverture.
- e: Epaisseur.

Une lentille est dite **mince** si son épaisseur e est faible devant son diamètre D.

#### Classification des lentilles minces:

##### Lentilles à bords minces:



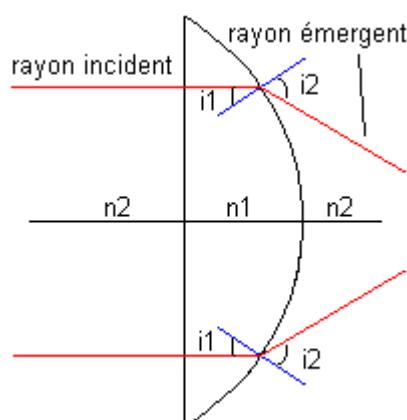
biconvexe plan convexe ménisque convergent symbole

##### Lentilles à bords épais:



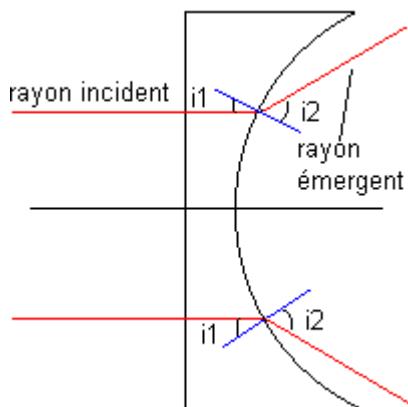
biconcave plan concave ménisque divergent symbole

#### Déviation des rayons lumineux



L'indice de réfraction du milieu transparent ( $n_1$ ) étant supérieur à celui de l'air ( $n_2=1$ ), l'angle  $i_2$  est supérieur à l'angle  $i_1$  (à cause de la par la relation:  $n_1 \cdot \sin(i_1) = n_2 \cdot \sin(i_2)$ ). Les rayons lumineux issus de la lentille vont donc converger en un point.

**Une lentille mince à bords minces est convergente.**



L'indice de réfraction du milieu transparent ( $n_1$ ) étant supérieur à celui de l'air ( $n_2=1$ ), l'angle  $i_2$  est ici encore supérieur à l'angle  $i_1$ .  
 (à cause de la par la relation:  $n_1 \cdot \sin(i_1) = n_2 \cdot \sin(i_2)$ ).  
 Les rayons lumineux issus de la lentille vont donc sembler diverger d'un point.

**Une lentille mince à bords épais est divergente.**

## II. LA RELATION DE CONJUGAISON

L'application des lois de DESCARTES aux systèmes sphériques aboutit à une première règle :  
**Tout rayon parallèle à l'axe passe par le foyer.**

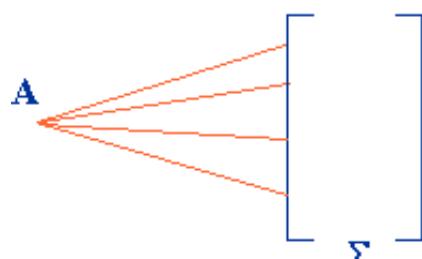
D'où on déduit immédiatement la règle réciproque :

**Tout rayon passant par un foyer émerge parallèlement à l'axe**

(Il suffit en effet d'inverser le sens de propagation de la lumière. Les lois de DESCARTES s'appliquent à l'envers et les trajets des rayons restent inchangés.)

Grâce à cette double propriété, les systèmes sphériques peuvent donner d'un objet, une image dont il faut maintenant donner la définition.

### IMAGE REELLE - IMAGE VIRTUELLE

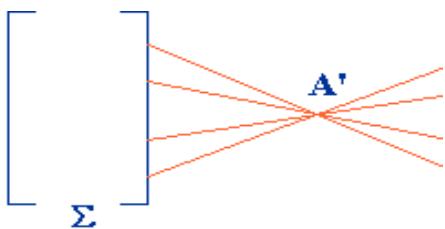


Soit un point lumineux qui envoie de la lumière dans toutes les directions de l'espace. Seuls nous intéressent les rayons pénétrant dans le système optique  $\Sigma$ .

On dira que  $\Sigma$  donne une image  $A'$  de  $A$  si et seulement si les **prolongements** des rayons émergents se coupent en  $A'$ .

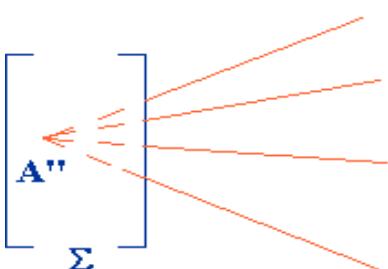
Si l'intersection est stricte on dira que le système optique est **rigoureusement stigmatique** (en grec un point se dit *stigmos*).

Si l'intersection se produit dans une très petite région autour de  $A'$  on parlera de **stigmatisme approché**.



L'emploi du terme : **prolongement** des rayons émergents couvre deux cas.

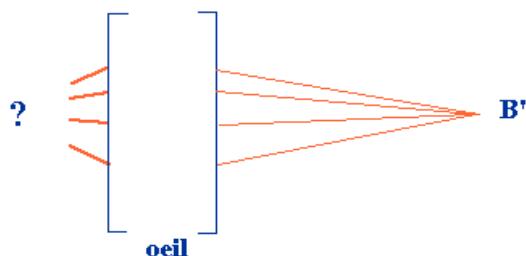
- Soit les rayons convergent et se coupent réellement en  $A'$  et on dira que  $A'$  est image **réelle** de  $A$ .



- Soit les rayons divergent en semblant provenir d'un point  $A''$  et on dira que  $A''$  est image **virtuelle** de  $A$ .

**Remarque 1 :** La condition de localisation à proximité de points  $A'$  ou  $A''$  exclut qu'on utilise le mot image pour les phénomènes d'ombre ou de "chambre noire" puisque dans ces deux cas la position de l'écran peut être quelconque.

**Remarque 2 :** L'œil ne peut pas faire la distinction entre un objet, une image réelle et une image virtuelle. En effet l'œil est un système optique à qui s'appliquent les lois de DESCARTES.



Sur sa surface arrive un ensemble de rayons lumineux, chacun avec un angle d'incidence bien déterminé. Si ces différents angles d'incidence sont liés entre eux par une relation (celle qui les fait venir d'un point  $B$ ) alors ces différents rayons aboutissent au même point  $B'$  sur la rétine. Mais l'œil ne peut savoir s'il y a en  $B$  un objet (point  $A$ ), une image réelle (point  $A'$ ) ou une image virtuelle (point  $A''$ ).

### Qualité des images:

Les lentilles présentent des défauts (aberrations géométriques, aberrations chromatiques). Pour obtenir des images de bonne qualité, on doit se placer dans les **conditions de Gauss**.

### Conditions de Gauss:

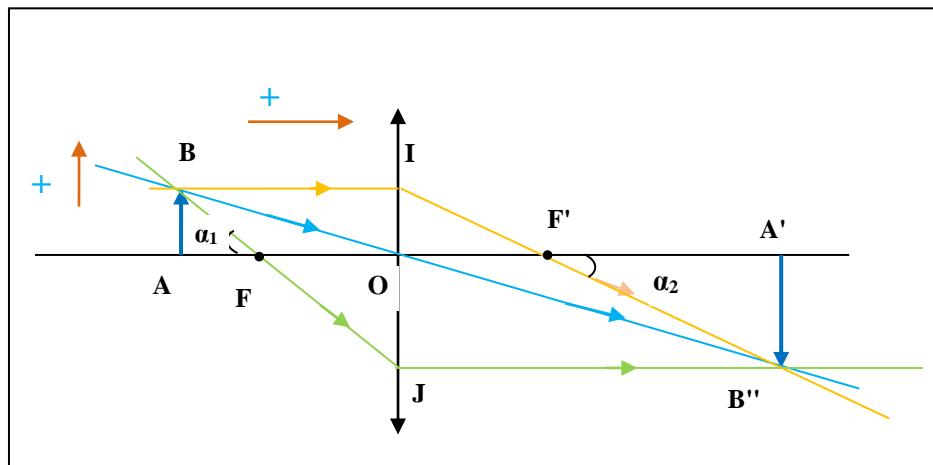
- Le faisceau doit traverser la lentille au voisinage du centre optique.
- Les rayons incidents doivent faire un angle faible avec l'axe optique de la lentille.

Pour réaliser ces conditions, il faut:

- Diaphragmer la lentille.
- Observer des objets de petite dimension au voisinage du centre optique.

### III FORMULE DE CONJUGAISON

Etudions d'abord le cas particulier des lentilles minces convergentes avec un objet réel situé devant ou en avant du foyer principal objet F pour établir la formule de Descartes ; ce qui conduit à la figure 1 ci-dessous.



**Figure1.** Démonstration de la relation de conjugaison. Un sens positif est choisi sur l'axe principal et un autre sur l'axe qui est perpendiculaire

Les résultats obtenus s'appliqueront dans tous les cas : lentilles convergentes ou divergentes, objet réel ou virtuel,...à condition d'opérer de façon algébrique. A cet effet, on définit deux sens positifs : horizontalement c'est le sens de la lumière, verticalement nous avons choisi le sens de AB. La position de l'objet et celle de l'image se définissent grâce aux mesures algébriques suivantes :  $\overline{OA} = p$  et  $\overline{OA'} = p'$

Appelons respectivement  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  les angles aux points F et F'.

On a  $\overline{AF} = -p-f$  et  $\overline{A'F'} = -p'-f'$  ;

$$\text{Puisque } \overline{OJ} = \overline{A'B'} \quad \tan \alpha_1 = \frac{\overline{AB}}{\overline{AF}} = \frac{\overline{OJ}}{\overline{OF}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{OF}} \text{ soit } \tan \alpha_1 = \frac{\overline{AB}}{-p-f} = \frac{\overline{OJ}}{-f} = \frac{\overline{A'B'}}{-f} \text{ d'où } \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{f'}{-p-f}$$

$$\text{De même avec } \overline{OI} = \overline{AB} \quad \tan \alpha_2 = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{A'F'}} = \frac{\overline{OI}}{\overline{OF}} = \frac{\overline{AB}}{\overline{OF}} \text{ soit } \tan \alpha_2 = \frac{\overline{A'B'}}{-p'+f'} = \frac{\overline{OI}}{f'} = \frac{\overline{AB}}{f'} \text{ d'où } \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{-p'+f'}{f}$$

En égalant les rapports donnant  $\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$  tirés des deux équations on a :

$$\frac{f'}{-p-f} = \frac{-p'+f'}{f} \quad \text{qui donne } f^2 = (p+f)(-p+f), \text{ ce qui, après développement et division par le produit } p.p'. f \text{ conduit à } \frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f}$$

#### LE GRANDISSEMENT

On appelle grandissement le rapport des dimensions de l'image et de l'objet et on affecte arbitrairement un signe négatif à ce rapport.

$$\text{Ainsi le grandissement s'écrit } \gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{p'}{p}$$

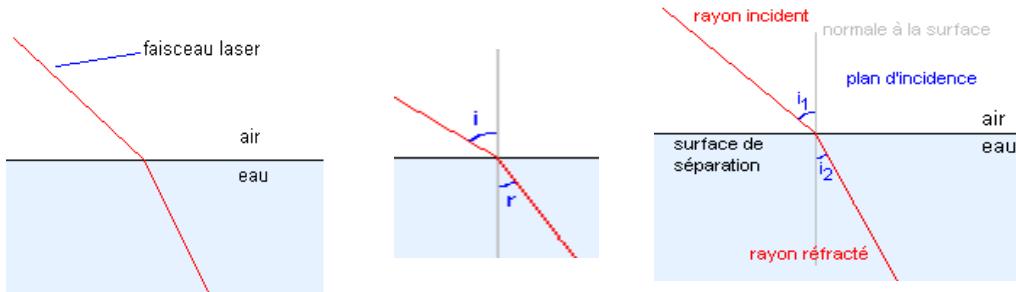
Si  $p'$  et  $p$  sont de même nature (réelle ou virtuelle), le grandissement négatif exprime que l'image est renversée par rapport à l'objet.

Si  $p'$  et  $p$  sont de nature différente, le grandissement est positif et l'image est alors de même sens que l'objet.

## Réfraction - Décomposition de la lumière par un prisme

### La réfraction de la lumière

#### Expérience:



Lorsque le faisceau laser passe de l'air dans l'eau, il change de direction.

#### Définition:

On appelle réfraction le changement de direction subit par la lumière lorsqu'elle traverse la surface séparant deux milieux transparents.

#### Lois de la réfraction:

$i_1$ : angle d'incidence

$i_2$ : angle de réfraction.

Le plan contenant le rayon incident et la normale à la surface est le plan d'incidence.

#### Première loi de Descartes:

**Le rayon réfracté est dans le plan d'incidence.**

#### Deuxième loi de Descartes:

Angle d'incidence et angle de réfraction sont liés par la relation:

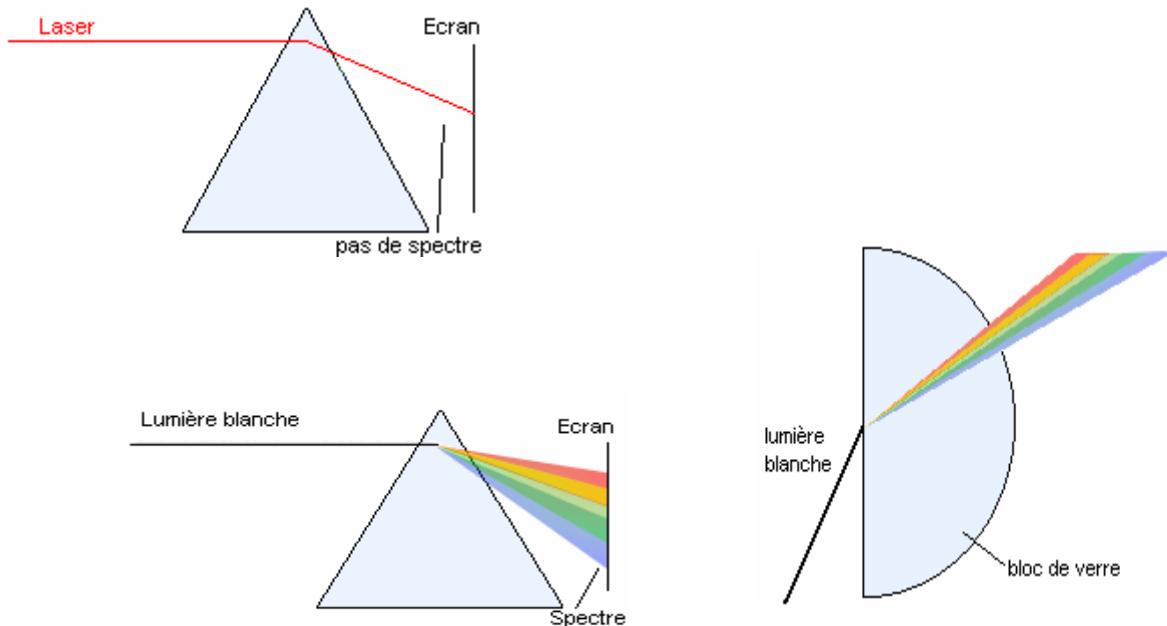
$$n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2 \text{ avec } \begin{array}{l} n_1: \text{indice de réfraction du milieu 1} \\ n_2: \text{indice de réfraction du milieu 2} \end{array}$$

#### Remarques:

- L'indice de réfraction  $n$  d'un milieu transparent est supérieur ou égal à 1: ( $n \geq 1$ ).
- L'indice de réfraction de l'air est très peu différent de 1.  
Lorsque le rayon incident est dans l'air, on peut écrire:  $\sin i = n \cdot \sin r$

## Expérience

En passant à travers le prisme, la lumière blanche est transformée en lumières colorées.  
On dit que le prisme décompose la lumière blanche.  
La figure colorée obtenue est appelée **spectre**.



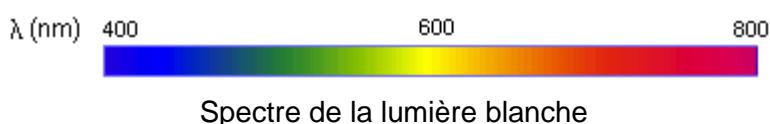
La lumière blanche est constituée de plusieurs lumières (ou radiations) colorées.  
La lumière blanche est **polychromatique**.

Contrairement à la lumière blanche, la lumière du laser n'est pas décomposée en un spectre.

La lumière du laser est constituée d'une seule lumière (ou radiation) colorée.  
La lumière du laser est **monochromatique**.

### Notion de longueur d'onde

A chaque couleur correspond une grandeur physique appelée **longueur d'onde** et notée  $\lambda$ .



Le spectre de la lumière blanche contient toutes les radiations auquel l'oeil humain est sensible, c'est à dire toutes les radiations dont la longueur d'onde est comprise entre 400 et 800nm ( $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$ ).

### Milieu dispersif

Les différentes radiations qui composent la lumière blanche ne sont pas déviées de la même façon par le bloc de verre (le bleu est plus dévié que le rouge).

L'indice de réfraction du bloc de verre dépend donc de la longueur d'onde de la radiation lumineuse qui le traverse.

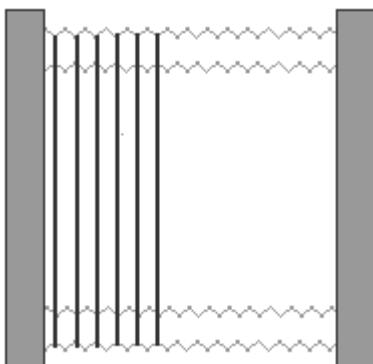
On dit que le milieu (ici le bloc de verre) est **dispersif**.

On appelle milieu dispersif un milieu transparent dont l'indice de réfraction dépend de la longueur d'onde.

**C'est à cause du phénomène de dispersion que la lumière blanche est décomposée par un prisme.**

## IV RESEAU DE DIFFRACTION

**Un réseau de diffraction** est constitué par un ensemble de fentes allongées, parallèles entre elles, toutes de même largeur et rigoureusement espacées.



Les premiers réseaux étaient fabriqués de la façon suivante :  
Deux vis à pas très fin ( $< 0,01\text{mm}$ ) étaient fixées parallèlement entre elles sur un support rigide. Un fil métallique très fin était bobiné filet par filet, puis collé sur les vis avec de la cire chaude. Ensuite la rangée arrière de fils était coupée.

Depuis ces temps héroïques, les techniques de fabrication ont beaucoup évolué (nous en dirons quelques mots plus loin) et si les réseaux à fentes ne sont plus utilisés, ils gardent un intérêt pédagogique car les figures sont plus faciles à interpréter.

Dans tout ce qui suit, nous considérerons un montage de diffraction à l'infini.

Une source **ponctuelle** placée au foyer objet d'une lentille convergente permet d'éclairer le réseau en lumière parallèle et l'observation se fait dans le plan focal image d'une seconde lentille convergente.

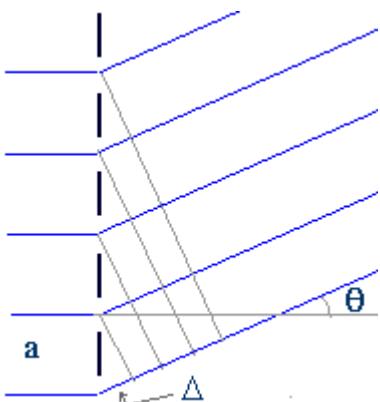
Enfin nous appellerons **d** la largeur d'une fente, tandis que **a** désigne la distance entre deux fentes consécutives (**a** est appelé pas du réseau)

### THEORIE SIMPLIFIEE

#### 1) Formule fondamentale

##### a) *Incidence normale*

Considérons tout d'abord le cas où le réseau est attaqué sous **incidence normale**, c'est-à-dire perpendiculairement au plan du réseau.

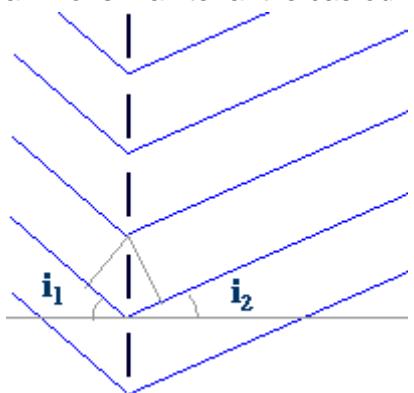


La position des maxima d'interférences est simple à calculer. Nous avons vu que l'inclinaison  $\theta$  du faisceau se traduisait par l'apparition d'un trajet supplémentaire  $\Delta = a \sin \theta$ . Supposons que dans cette direction  $\Delta$  soit égal à  $\lambda$ . Dans ces conditions, le déphasage entre les vibrations issues de la 1<sup>ère</sup> et de la 2<sup>ème</sup> pupille vaut  $2\pi$ , celui entre la 1<sup>ère</sup> et de la 3<sup>ème</sup> pupille vaut  $4\pi$ , etc... puisque les pupilles sont régulièrement espacées. Par suite, dans la direction  $\theta$ , tous les signaux émis sont en phase et  $\theta$  correspond à une direction de **maximum de lumière**.

Notons dès maintenant que si la source de lumière contient deux longueurs d'onde différentes  $\lambda$  et  $\lambda'$ , celles-ci émergent du réseau sous deux angles  $\theta$  et  $\theta'$  distincts et peuvent être discernées sous certaines conditions que nous préciserons plus loin.

### b) Incidence oblique.

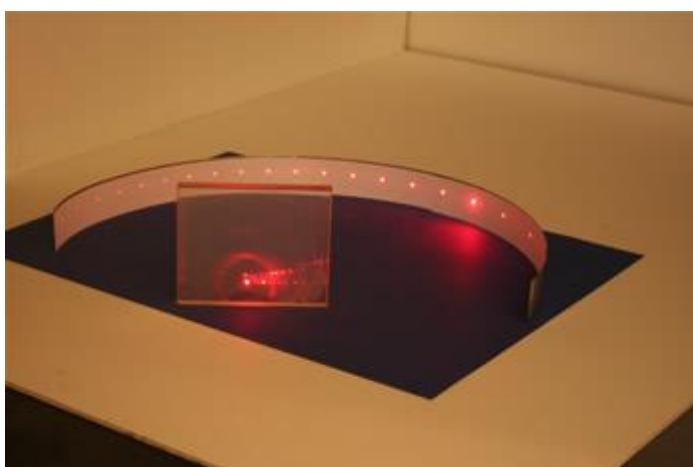
Examinons maintenant le cas où le réseau est attaqué sous **incidence oblique**.



Appelons  $i_1$  et  $i_2$  les angles d'incidence et d'émergence. Avec la configuration ci contre, la différence de trajet optique entre deux pupilles consécutives devient :  $\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 = a (\sin i_1 + \sin i_2)$ .

Le raisonnement précédent peut être étendu au cas général où  $\Delta$  est égal à un nombre entier de longueur d'onde.

Par suite, la formule fondamentale d'un réseau est :  $\Delta = a (\sin i_1 + \sin i_2) = k \lambda$



L'utilisation d'un écran circulaire permet de visualiser plus facilement les ordres d'interférences correspondants aux valeurs élevées de  $k$ .

Dans la pratique (Diffraction - rôle de la source) le "trou source" est remplacé par une "fente source".

### Différents ordres du réseau éclairé par une source ponctuelle.

## 2) Dispersion

Nous avons vu que deux radiations  $\lambda$  et  $\lambda'$  émergeaient du réseau sous deux angles distincts. Par suite on définit un "étalement angulaire" (ou dispersion) par la relation  $D = d\theta_2 / d\lambda$ .

En différentiant la formule fondamentale on a :  $d\Delta = a (\cos i_1 di_1 + \cos i_2 di_2) = k d\lambda$ .  
 Puisque  $i_1 = \text{cste}$ ,  $di_1 = 0$ . De plus si  $a$  est le pas du réseau, il y a  $n = 1/a$  fentes disposées sur une longueur de 1 mm ( $n$  est appelé nombre de traits/mm). Dans ces conditions la dispersion s'écrit :

$$D = \frac{n k}{\cos i_2}$$

L'étude de cette formule est très importante car elle permet de lutter contre deux "idées reçues".

i)- La dispersion d'un réseau n'est pas linéaire, c'est-à-dire qu'il n'y a pas proportionnalité entre la position angulaire d'une radiation et sa longueur d'onde. Etant donnée la précision obtenue avec un tel instrument, il n'est pas possible d'ignorer la variation en  $\cos i_2$  sauf dans le cas de très faibles écarts angulaires.

ii)- Les variables  $n$  et  $k$  sont des variables liées.

La formule fondamentale s'écrit :  $\sin i_1 + \sin i_2 = nk\lambda$ . Elle atteint sa valeur maximale dans le cas (utopique) où incidence et émergence sont rasantes ( $i_1 = i_2 = \pi/2$ ).

Dans ces conditions il vient :  $k_{\max} = 2/n\lambda$ . Ce qui entraîne que  $k$  ne peut prendre n'importe quelle valeur.

Par exemple, pour une radiation de longueur d'onde  $0,5 \mu\text{m}$  (soit  $0,5 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$  car  $n$  est un nombre de traits **par millimètre**),  $k_{\max}$  prend respectivement les valeurs 2, 20 et 80 pour des réseaux à 2000, 200 et 50 traits/mm.

En conséquence, l'affirmation "un réseau à petit nombre de traits est peu dispersif" doit être corrigée.

- a) Si deux réseaux ont le **même** nombre de **traits/ mm**, celui qui est utilisé dans l'ordre le plus petit présente la plus faible dispersion.
- b) Si deux réseaux sont utilisés dans le **même ordre**, celui qui présente le plus petit nombre de **traits/mm** est le moins dispersif.

Cette remarque conduit à ce qui peut sembler être un paradoxe.

De  $\sin i_1 + \sin i_2 = nk\lambda$ , on tire la valeur de  $nk$  et la dispersion s'écrit alors :

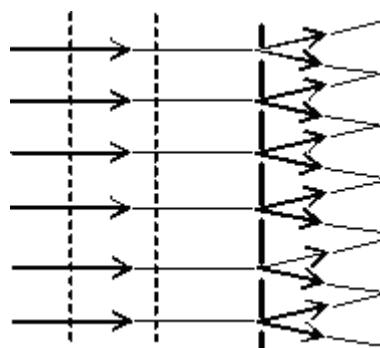
$$D = \frac{1}{\lambda} \frac{\sin i_1 + \sin i_2}{\cos i_2}$$

qui montre que la dispersion d'un réseau est en fait indépendante de son nombre de traits/mm.

## V Dispersion de la lumière par un réseau

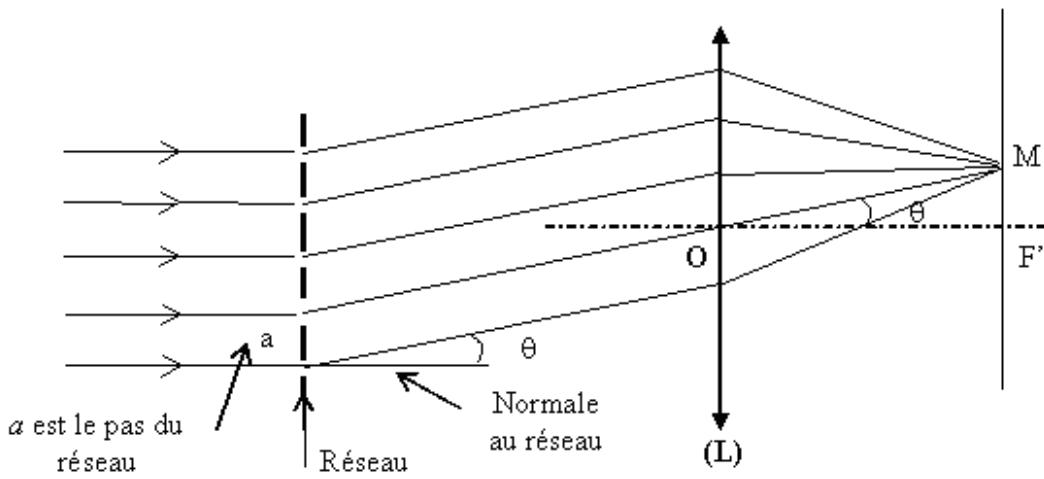
### Rôle et constitution d'un réseau

Il s'agit d'un dispositif qui permet d'obtenir des interférences à ondes multiples. Pour ce faire, on envoie une onde plane (c'est-à-dire des rayons parallèles) sur un réseau. Ce réseau est constitué de  $n$  fentes parallèles et équidistantes placées dans le même plan. Chaque fente est séparée de la suivante par une distance  $a$  appelée **pas du réseau**. Chacune diffracte la lumière.



**Figure 1 : Chaque fente diffracte la lumière.**

Les réseaux sont encore utilisés dans les spectroscopes UV-visible.



**Figure 2 : Principe du spectroscope à réseau**

Les rayons diffractés par les  $N$  fentes éclairées dans une direction donnée viennent interférer en M dans le plan focal de la lentille (L). Il y a autant de rayons qui interfèrent en M qu'il y a de fentes éclairées sur le réseau.

Si le pas du réseau est la distance entre deux fentes consécutives, le constructeur du réseau indique le nombre  $n$  de traits au millimètre, tel que  $n = 1/a$ .

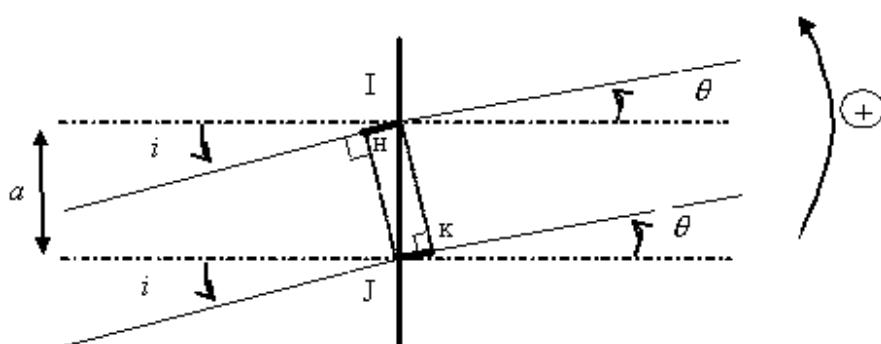
Ex : Si  $n = 500$  traits/mm =  $500\ 000$  traits/m  $\Rightarrow a = 2\ 10^{-6}$  m =  $2\ \mu\text{m}$ .

#### Théorie élémentaire du réseau

Nous allons considérer un **réseau par transmission** de pas  $a$ . Ce réseau est éclairé par une source de lumière monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$  sous un angle d'incidence quelconque  $i$ .

De la différence de marche entre deux rayons passant par deux ouvertures successives dépendra l'état d'interférence observé dans une direction. Rappelons que nous obtiendrons des interférences constructives, c'est à dire des maxima d'intensité lumineuse appelés maxima principaux pour :  $\delta = k\lambda$  où  $k \in \mathbb{Z}$ .

#### Recherchons l'expression de la différence de marche.



**Figure 3 : Un peu de géométrie pour obtenir la différence de marche.**

## **En gras les différences de chemins optiques**

La différence de marche entre le trajet de l'onde qui passe par la  $n^{\text{ème}}$  fente et la  $(n+1)^{\text{ème}}$  vaut :

$$\delta = HI - JK = a \sin i - a \sin \theta$$

La direction de ces maxima principaux est donnée par :

$$k \lambda = a (\sin i - \sin \theta)$$

Nous obtenons la **relation des réseaux** qui indique comment le réseau disperse la lumière :

$$\sin i - \sin i' = + \frac{k\lambda}{a} = + kn\lambda$$

Dans le cas du réseau de diffraction,  $k$  s'appelle l'ordre du spectre.  
Pour les valeurs de  $k$  positives,  $\theta$  sera en dessous de la normale.

**Remarques :**

Les angles  $i$  et  $\theta$  sont comptés positivement dans le sens trigonométrique (sens direct).  
Écrire  $\sin \theta - \sin i = kn\lambda$  revient à changer le signe de l'ordre du spectre.

### *Étude des différents ordres*

**Pour  $k = 0$  :**

Nous obtenons le prolongement du faisceau incident quelle que soit la longueur d'onde utilisée et quel que soit l'angle d'incidence. Il n'y a pas de dispersion de la lumière.

**Pour  $k \neq 0$  :**

La position des maxima dépend de la longueur d'onde :  $\lambda = f(\theta)$

$k = 1$  : nous avons le spectre à l'ordre 1.  
 $k = 2$  et au delà il s'agit alors des spectres d'ordre supérieur.

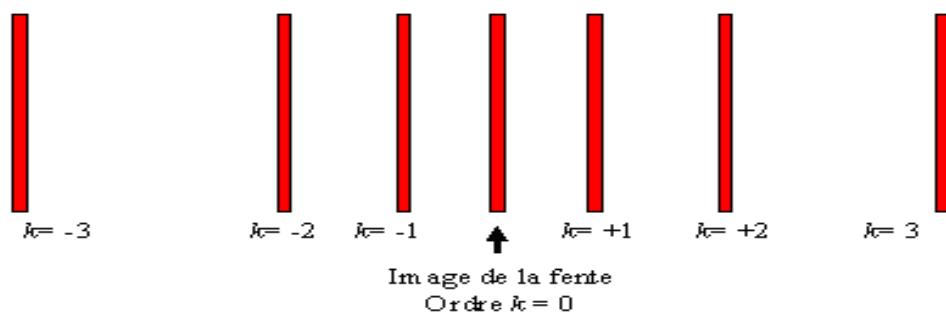
**Remarque :** La dispersion est proportionnelle à la longueur d'onde. Inversement à un prisme, **le bleu est ici moins dévié que le rouge**.

**Application :** Un réseau de 500 traits par millimètre est utilisé **sous incidence normale** ( $i = 0$ ) avec une source de longueur d'onde 600 nm. Calculer les positions des maximums principaux.

**Réponse :** Pour  $i = 0$  ;  $\theta_1 = -17,5^\circ$  ;  $\theta_2 = -36,9^\circ$  ;  $\theta_3 = -64,2^\circ$  ;  $\theta_4 = \text{impossible}$   
Pour les ordres négatifs, les angles sont positifs et ont même valeur absolue.

**Commentaire :** À une longueur d'onde donnée, **le nombre d'ordres qui peuvent apparaître est limité par le pas du réseau**. Le nombre d'ordres visibles est d'autant plus faible que le pas du réseau est petit.

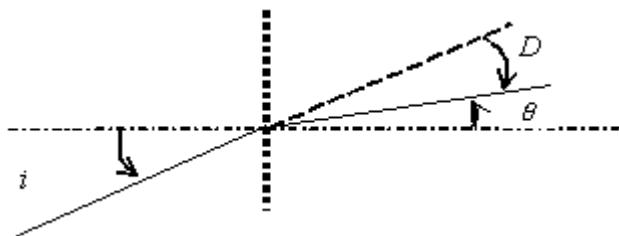
En lumière monochromatique, nous obtenons des franges très fines, parallèles aux fentes du réseau et correspondant aux différentes valeurs de l'ordre  $k$ .



**Figure 4 : Dispersion d'un réseau vue de face en lumière monochromatique.**

### Déviation

Pour un réseau éclairé sous une incidence  $i$  et diffractant dans la direction  $\theta$ , l'angle de déviation est défini par :  $D = \theta - i$



**Figure 5 : Déviation**

**Exemple :** Pour  $n = 500$  traits /mm et  $\lambda = 500$  nm, on complète le tableau suivant :

$i$	$\sin \theta$	$k = 0$	$k = \pm 1$	$k = \pm 2$	$k = \pm 3$	$k = \pm 4$	$k = \pm 5$
0	$0,25 k$	$\theta = 0$	$\theta = \pm 14,47^\circ$	$\theta = \pm 30^\circ$	$\theta = \pm 48,59^\circ$	$\theta = \pm 90^\circ$	impossible
$45^\circ$	$0,707 - 0,25 k$	$\theta = +45^\circ$	$\theta_{1+} = +27,20^\circ$ et $\theta_{1-} = 73,16^\circ$	$\theta_{2+} = +11,95^\circ$ et impossible	$\theta_{3+} = -2,46^\circ$ et impossible	$\theta_{4+} = -17,03^\circ$ et impossible	$\theta_{5+} = -32,88^\circ$ et impossible
$D$ ( $i = 45^\circ$ )		0	$D_{+1} = -17,8^\circ$ $D_{-1} = 28,2^\circ$	$D_{+2} = -33,1^\circ$	$D_{+3} = -47,5^\circ$	$D_{+4} = -62,0^\circ$	$D_{+5} = -77,9^\circ$

### Commentaires :

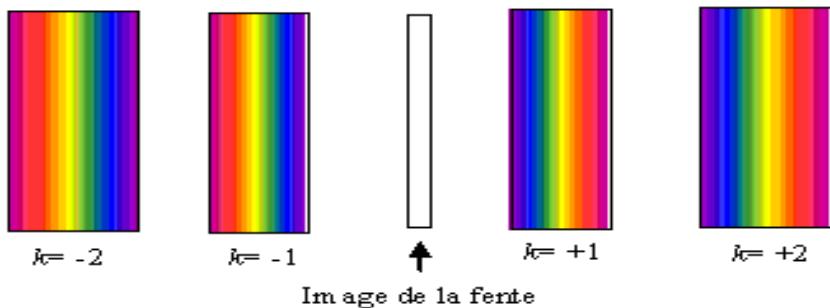
Pour une longueur d'onde donnée, il n'existe qu'un nombre fini de maxima principaux. Seulement pour l'incidence normale, les figures de diffraction sont symétriques.

*Dispersion angulaire DD de la lumière polychromatique dans un spectre donné*  
**Cas de la lumière blanche**

L'incidence étant normale, si au lieu d'une lumière monochromatique nous utilisons une lumière complexe (blanche par exemple), nous obtenons :

Une tache centrale non décomposée ( $k = 0 \Leftrightarrow \theta = i$ )

Une double série de spectres dits du premier ordre ( $k = 1$ ) du second ordre ( $k = 2$ ) etc. à moins que les spectres d'ordre supérieur soient impossibles à visualiser.



### Exemples :

Nous prendrons un réseau de 500 traits/mm ( $5 \cdot 10^5$  traits/m) ; soit  $a = 2 \cdot 10^{-6}$  m

**Premier exemple :** Considérons une incidence  $i = 45^\circ$  et l'ordre  $k = 3$ .

Calculons les angles d'émergence pour différentes longueurs d'ondes du spectre visible.

$\lambda = 450$ nm	$\lambda = 500$ nm	$\lambda = 550$ nm	$\lambda = 600$ nm	$\lambda = 650$ nm
$\theta = +1,84^\circ$	$\theta = -2,46^\circ$	$\theta = -6,77^\circ$	$\theta = -11,12^\circ$	$\theta = -15,53^\circ$

### Commentaire :

Le rouge est plus dévié que le bleu.

L'écart angulaire du spectre s'appelle la **dispersion angulaire** :  $\Delta D = 13,70^\circ$

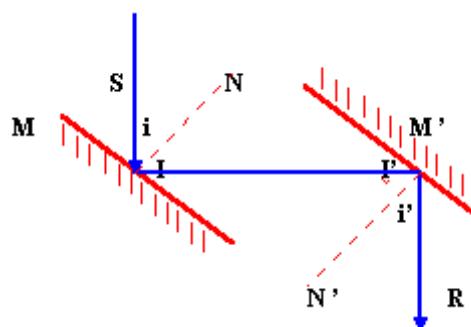
**Second exemple :** Considérons une incidence  $i = 45^\circ$  et l'ordre  $k = 4$ . Calculons les angles d'émergence pour différentes longueurs d'ondes du spectre visible.

$\lambda = 450$ nm	$\lambda = 500$ nm	$\lambda = 550$ nm	$\lambda = 600$ nm	$\lambda = 650$ nm
$\theta = -11,12^\circ$	$\theta = -17,03^\circ$	$\theta = -23,13^\circ$	$\theta = -29,53^\circ$	$\theta = -36,36^\circ$

## II - Obtention de la lumière polarisée. Polarisation rectiligne.

### - 1 - Polarisation par réflexion vitreuse

- Soit un faisceau SI de rayons parallèles arrivant sur un miroir de verre M, dont la face postérieure est noircie, de façon que la réflexion n'ait lieu que sur la face antérieure. Le faisceau réfléchi II' est reçu sur un second miroir M' semblable au premier.
- Lorsque l'on fait tourner le miroir M autour de II', on constate que l'intensité du rayon réfléchi I'R passe par deux maxima et deux minima lors d'un tour complet.

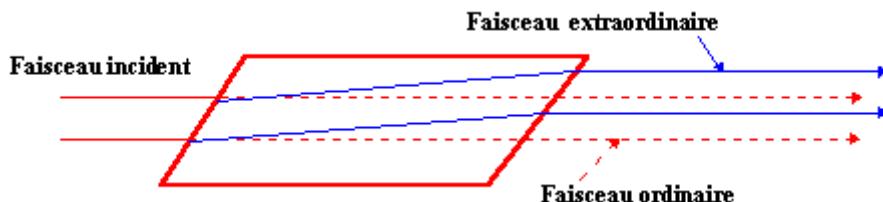


- Les minima sont nuls pour  $i = i'$  (incidence **Brewstérienne**) ; on a alors :  $\tan i = n$  (n indice du milieu réfléchissant ;  $i = 57^\circ$  pour le verre).
- Lumière rectiligne totale en incidence Brewstérienne.

- La lumière parvenant de la source est de la lumière naturelle : quelle que soit la disposition donnée au miroir M par rapport au rayon SI ; on observe donc toujours un rayon réfléchi ; si l'on fait tourner M autour du rayon SI l'intensité du rayon réfléchi II' ne change pas.
- Le faisceau II', en revanche, possède des propriétés différentes. En effet, la rotation de M'autour de l'axe II' modifie la valeur de l'intensité réfléchie ; le faisceau II' est un faisceau de **lumière polarisée**.
- Le miroir M qui **produit** la polarisation de la lumière par réflexion est un **polariseur**.
- Pour repérer les positions relatives des miroirs dans l'expérience fondamentale nous nous donnerons les positions relatives des plans de réflexion sur les miroirs, c'est-à-dire des plans définis par le rayon incident et le rayon réfléchi (ou la normale au miroir au point d'incidence). Nous appellerons ces plans, **plans de polarisation** des miroirs.
- Le second miroir M' qui permet, par les variations d'intensité du faisceau I'R, de reconnaître que la lumière est polarisée, est appelé **analyseur**.

## - 2 - Polarisation par double réfraction.

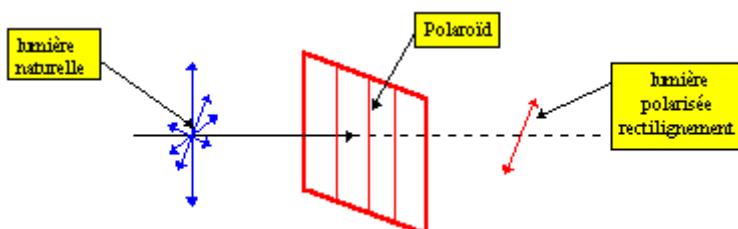
- La majeure partie des cristaux sont biréfringents c'est-à-dire qu'ils donnent deux faisceaux réfractés pour un seul faisceau incident ; ils ont donc **deux** indices de réfraction, l'un correspond aux lois de DESCARTES, il est appelé **indice ordinaire** ; l'autre, qui ne suit pas ces lois, est dit **extraordinaire**.



- On constate que les deux faisceaux transmis sont **polarisés** et que leurs plans de polarisation sont rectangulaires.
- Pour le vérifier, on peut éclairer un tel cristal en lumière naturelle et analyser la lumière transmise à l'aide d'un miroir ; on constate alors que, lorsque le miroir éteint l'un des faisceaux, l'autre est réfléchi avec le maximum d'intensité. Les deux faisceaux de lumière polarisée ont généralement la même intensité et sont peu déplacés l'un par rapport à l'autre ; pour obtenir de la lumière polarisée par réfraction il suffit donc de séparer ces deux rayons.

## - 3 - Polaroïds.

- Une feuille de matière plastique (polyvinyle) est étirée à chaud, ses longues molécules sont alors alignées. La feuille ainsi préparée est collée sur une feuille transparente et non élastique ; on obtient ainsi une lame **orientée de façon permanente**. On la trempe alors dans une solution contenant de l'iode qui est fixée par les molécules orientées sous forme de chaînes moléculaires formés d'ions d'iode et pour cela bonnes conductrices de l'électricité.



- Si une onde tombe sur ce réseau, avec ses vibrations parallèles aux conducteurs, ceux-ci absorberont les vibrations sous forme de courants induits ; par contre, si les vibrations sont perpendiculaires aux conducteurs, elles passeront presque sans perte.

#### - 4 - Polariseur et analyseur.

Tout polariseur rectiligne peut servir d'analyseur, et inversement ; il n'y a donc pas lieu d'étudier deux types différents d'éléments. En d'autres termes, il y a bien une différence de fonction entre polariseur et analyseur, mais **pas de différence de nature**.

## SITUATION D'APPRENTISSAGE N°6

### **Titre : PHYSIQUE ATOMIQUE ET NUCLEAIRE**

#### 3. Elément de planification

3.1. Durée : 16 h

#### 3.2. Contenus de formation

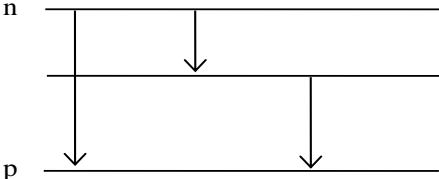
3.2.1. les compétences disciplinaires visées

3.2.1.1. la compétence disciplinaire n°1

3.2.1.2. la compétence disciplinaire n°3

3.2.2. connaissances et techniques

<b>DOMAINE : physique atomique et nucléaire</b>		
<b>Connaissances et Techniques</b>	<b>Indications pédagogiques et commentaires</b>	<b>Objet d'évaluation : compétences et ressources exigibles (ou évaluables)</b>
	<p>La présente situation d'apprentissage est particulièrement difficile du point de vue d'une approche expérimentale directe de classe, il s'agit de la physique de l'infiniment petit dont l'appropriation pédagogique ne pourrait se limiter qu'une approche documentaire mais bien fournie.</p> <p>Le professeur devra s'appuyer sur des situations de vie courante ou des faits d'actualités ou encore historiques pour susciter l'intérêt des apprenants à mobiliser les ressources du programme liées à la physique de l'infiniment petit grâce à des situations problèmes pertinentes.</p>	
<b>1- Niveaux d'énergie atomiques</b> - Spectres d'émission et d'absorption	<p><u>Le professeur amènera les apprenants à :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><u>- s'approprier la spectroscopie et de son importance, tant en physique qu'en chimie,</u></li> <li><u>les différents dispositifs utilisés en spectroscopie (prisme, réseau),</u></li> <li><u>- étudier par observation les différentes raies dans les lumières du mercure (Hg), du sodium (Na) et de l'hydrogène (H) ou à défaut, examiner les photos des spectres de ces éléments ;</u></li> </ul> <p>-s'approprier les conditions d'obtention d'un spectre d'émission et d'un spectre</p>	<p>mise en œuvre de la compétence disciplinaire n°1 et n°3 par la mobilisation, l'utilisation /l'exploitation des connaissances et techniques ci-après :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• les caractéristiques du photon : <math>m = 0; q=0</math></li> </ul>

<p>-Existence de niveaux d'énergie dans un atome</p> <p>-transition électronique: relation <math>E_2 - E_1 = h\nu</math></p> <p>-Cas de l'atome d'hydrogène</p>	<p>d'absorption</p> <p>-constater que ces deux spectres sont identiques quant aux fréquences émises ou absorbées : un élément n'émet que les rayonnements qu'il peut absorber et se l'approprier</p> <p>-admettre que les raies observées sont dues à l'existence de niveaux d'énergie discontinus, caractéristiques des atomes des différents éléments.</p> <p>-admettre qu'à un « quantum » d'énergie électromagnétique, correspond une particule, le « photon », de masse nulle, de charge nulle d'énergie <math>E = h\nu</math> et quantité de mouvement <math>p = \frac{h\nu}{c}</math>: c'est l'aspect corpusculaire de la lumière.</p> <p>-établir l'expression et énoncer la loi dite de combinaison de Ritz, montrant la possibilité de transition électronique par étape</p> 	$E = h\nu; p = \frac{E}{C} = \frac{h\nu}{C}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• l'énergie dans un atome est quantifiée</li> <li>• la relation <math> E_p - E_n  = h\nu</math></li> <li>• les longueurs d'onde (ou les fréquences) d'émission ou d'absorption d'un atome, connaissant les niveaux d'énergie de cet atome.</li> <li>• quelques applications de la spectroscopie à la chimie et à l'astrophysique</li> <li>• le diagramme énergétique d'un atome ainsi que ses transitions connaissant l'expression de l'énergie (<math>E_n</math>) relative à ses divers niveaux d'énergie</li> </ul>

	<p>énergie d'ionisation</p> <p>-à admettre que la notion de niveau d'énergie est générale : niveaux d'énergie moléculaire, nucléaire et la permanence de la relation <math>E_n - E_p = h\nu_{np}</math>.</p>	
<b>2- Noyau atomique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Composition du noyau : nucléons ;</li> <li>- énergie de liaison d'un noyau</li> </ul> <p>- faire le point sur quelques concepts concernant l'atomistique : nucléons, élément chimique, nucléide et isotopes d'un élément chimique.</p> <p>-faire la représentation d'un nucléide de symbole X : <math display="block">\begin{array}{c} A \\ Z \end{array} X</math></p> <p>- définira l'unité de masse atomique u et mémoriser sa valeur en kilogramme (kg) et en MeV par <math>c^2</math> (<math>\text{MeV}/\text{c}^2</math>).</p> <p>-définir le défaut de masse <math>\Delta m</math> et calculer l'énergie de liaison</p> <p><b>Remarque :</b> <i>on n'introduira pas de valeur algébrique pour cette grandeur qui sera donc tout le temps exprimée par un nombre positif.</i></p> <p>-exprimer l'énergie de liaison par nucléon et son rôle dans la stabilité du noyau.</p>	<p>mise en œuvre de la compétence disciplinaire n°1 et n°3 par la mobilisation, l'utilisation /l'exploitation des connaissances et techniques ci-après :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• les concepts : élément chimique, nucléide, isotopes, masse-énergie d'un système</li> <li>• l'unité de masse atomique (u) en kg et en <math>\text{MeV}/\text{c}^2</math> :</li> <li>• le défaut de masse d'un atome (<math>\Delta m = \sum m_{\text{nucléons}} - m_{\text{nucléide}}</math>), son énergie de liaison et l'énergie de liaison par nucléon.</li> <li>• Condition de stabilité d'un noyau</li> </ul>
<b>3-Réactions nucléaires spontanées</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-radioactivité <math>\alpha</math> , <math>\beta^-</math> , <math>\beta^+</math> , émission <math>\gamma</math> , lois de conservation</li> <li>-loi de décroissance d'un nucléide radioactif</li> <li>- absorption de rayonnements.</li> </ul> <p>-faire un petit historique de la découverte de la radioactivité naturelle par Becquerel,</p> <p>- étudier les propriétés de la radioactivité naturelle</p> <p>- énumérer les particules et rayonnements qui peuvent être émis (<math>\alpha</math>, <math>\beta^-</math>, <math>\beta^+</math>, <math>\gamma</math>) et donner leurs caractéristiques et les moyens de leur détection.</p> <p>-s'approprier les lois de conservation (charge, nucléons, quantité de mouvement, énergie totale) d'une réaction nucléaire</p> <p>-exploiter les lois de conservation pour équilibrer l'équation-bilan fictive caractéristique d'une réaction nucléaire sous la forme:</p> $A_1 \underset{Z_1}{X} \longrightarrow A_2 \underset{Z_2}{Y} + A_3 \underset{Z_3}{R}$ <p>-- écrire les équations-bilans caractéristiques de l'émission des particules <math>\alpha</math>, <math>\beta^-</math> et <math>\beta^+</math>, et faire le bilan énergétique à chaque fois.</p>	<p>mise en œuvre de la compétence disciplinaire n°1 et n°3 par la mobilisation, l'utilisation /l'exploitation des connaissances et techniques ci-après :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• la nature et les propriétés des particules <math>\alpha</math> , <math>\beta^-</math> , <math>\beta^+</math> et du rayonnement <math>\gamma</math> .</li> <li>• les lois de conservation appliquées à un noyau</li> <li>• la loi de décroissance radioactive sous sa forme intégrale et sous sa forme différentielle.</li> <li>• la période T, la constante radioactive, mémoriser et exploiter la</li> </ul>

	<p>-à mettre un accent spécial sur l'émission <math>\gamma</math>, consécutive à chacune des radioactivités <math>\alpha</math>, <math>\beta^-</math> et <math>\beta^+</math> et l'interpréter comme due au passage</p>	<p>relation qui les lie (<math>T = \frac{\ln 2}{\lambda}</math>)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• l'activité d'un échantillon radioactif et son unité de mesure le becquerel (Bq)</li> </ul>
	<p>d'un noyau d'un état à un autre moins excité ou à l'état fondamental du même noyau.</p> <p>-mener avec beaucoup de soin l'étude sur la loi de la décroissance radioactive conduisant à l'établissement de la relation <math>N = N_0 e^{-\lambda t}</math>.</p> <p>-définir et s'approprier :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* la période radioactive <math>T</math> ou demi-vie, liée à la constante radioactive <math>\lambda</math> par la relation <math>T = \ln 2 / \lambda</math> ou <math>\lambda T = \ln 2 = 0,693</math> ; avec les unités du système international la constante radioactive s'exprime en <math>s^{-1}</math>, mais on l'exprime plus souvent en <math>j^{-1}</math>, mois<math>^{-1}</math> ou année<math>^{-1}</math>.</li> <li>* l'activité <math>A</math> d'un échantillon radioactif et l'unité SI correspondante : le becquerel (Bq)</li> </ul>	.
4 - <u>Réactions nucléaires provoquées</u> : fission et fusion	<p>-à faire un petit historique allant des alchimistes (qui tentaient de transformer le plomb en or) à Pierre et Marie Curie en passant par Rutherford, afin d'être intéressés aux phénomènes de transmutation.</p> <p>-à dire ce qu'on entend par réaction nucléaire provoquée, en donner quelques définitions et exemples</p> <p>-écrire dans chacun des cas évoqués, les équations-bilans équilibrées et faire le bilan énergétique.</p> <p>-citer les applications de la fission, de la fusion et de la transmutation sans étudier leur technologie.</p> <p>- expliquer l'origine de l'énergie stellaire par la fusion de noyaux légers.</p> <p>- s'approprier que, naturelles ou provoquées, les différentes radioactivités ont les mêmes propriétés et obéissent aux mêmes lois et d'évoquer leurs applications d'une façon générale</p> <p>-aborder l'absorption des rayonnements</p>	<p>mise en œuvre de la compétence disciplinaire n°1 et n°3 par la mobilisation, l'utilisation /l'exploitation des connaissances et techniques ci-après :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• réaction de transmutation, fission et fusion,</li> <li>• l'équation-bilan d'une réaction nucléaire</li> <li>• le défaut de masse <math>\Delta m = \sum m_{(produits)} - \sum m_{(réactifs)}</math> et l'énergie mise en jeu au cours d'une réaction nucléaire.</li> <li>• quelques applications et dangers de la radioactivité</li> </ul>

	<p>sous l'angle des applications, des dangers et de la protection contre les rayonnements radioactifs.</p> <p><b>Remarque:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ne sont pas au programme et constituent une information pour le <b>professeur</b> les définitions et les unités de certaines grandeurs que sont :       <ul style="list-style-type: none"> <li>* La dose énergétique : quantité d'énergie reçue par unité de masse. Son unité SI est le gray (Gy)  <math>1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}</math></li> </ul> </li> </ul> <p>Comme cette unité est très grande, on utilise l'un de ses sous-multiples qui est le rad.</p> $1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ Gy}$ <p>* l'équivalent physiologique de dose : pour une radiation donnée, c'est l'évaluation de l'effet sur l'homme de ladite radiation. A chaque type de particule correspond un facteur d'efficacité appelé facteur de qualité Q :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- pour le rayonnement <math>\alpha</math>, <math>Q = 20</math></li> <li>- pour les rayonnements <math>\beta^-</math>, <math>\beta^+</math> et <math>\gamma</math>, <math>Q = 1</math>.</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Il existe d'autres unités comme le curie (<math>1 \text{ ci} = 3,710^{10} \text{ Bq}</math>) et le rem (<math>1 \text{ rem} = 10^{-2} \text{ Sv}</math>) qui ne sont plus utilisées et dont il faut éviter de parler. Mais le professeur doit les connaître pour pouvoir au besoin faire des conversions lorsque certains livres ou exercices anciens en font mention</li> </ul>	
--	--	--

### 1.2.3-Stratégies objets d'apprentissage

Le professeur choisira une ou des stratégies objets d'apprentissage parmi celles utilisées dans les compétences relevant de cette SA

1.1. Stratégies d'enseignement/apprentissage : au choix du professeur

1.2. Documents de référence suggérés : tous ouvrages de niveau adapté et traitant du thème.

## LES ANNEXES DE LA SA 6

### Document 1

## 2. OBSERVATION DE SPECTRES LUMINEUX

Nous proposons deux méthodes permettant **d'observer** des spectres d'émission ou des spectres d'absorption.

Les dispositifs que nous allons décrire comportent des **réseaux** très bon marché qui sont des répliques photographiques, sur support plastique, de réseaux dessinés sur du verre; ils sont «montés» sur un cache type diapositive.

### 1. Utilisation d'un spectroscope

#### a) Description du spectroscope

On peut utiliser des **spectroscopes du commerce** constitués comme l'indique la figure 3. La fente fixe *F* est éclairée par la source à analyser et elle est disposée au foyer principal objet de la lentille (*en principe achromatique*). Il en résulte, après traversée de cette lentille, un faisceau cylindrique qui frappe le réseau sous une incidence normale. En déplaçant l'œil, on observe un ou plusieurs spectres de la lumière à analyser.

#### b) Observations possibles

On observera d'abord des **spectres d'émission**:

- **spectre de la lumière blanche :** lampe à incandescence;

- **spectres de raies :**

- spectre du sodium : lampe à vapeur de sodium;
- spectre du mercure : lampe à vapeur de mercure ou tube fluorescent (dans ce cas, les raies du mercure apparaissent sur le fond continu);
- spectre du néon : voyant d'interrupteur alimenté par le secteur ou néon de tourne-vis testeur;
- raie spectrale d'un laser : diriger le spectroscope vers une surface blanche éclairée par le laser;

- **spectres de flamme :** dans la flamme d'un bec Bunsen (virole fermée), on porte, grâce à une spatule, l'«élément» dont on veut observer le spectre. En trempant la spatule dans des solutions de sels de lithium,

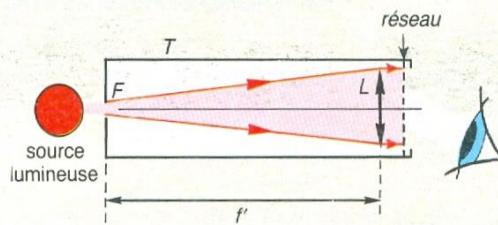


Fig. 3. Schéma du spectroscope.  
On peut placer la fente devant la source ou condenser de la lumière sur cette fente avec une lentille.

potassium, strontium, thallium, baryum, calcium..., on voit les spectres correspondants (avec, parfois, quelques bandes en supplément). En plaçant du chlorure de sodium solide dans la spatule, on retrouve le spectre du sodium;

- **spectre solaire :** le ciel; on obtient des raies d'absorption sur le spectre continu.

**Remarque :** si on ne dispose pas de spectroscope, on peut tout de même faire observer des spectres à condition de posséder les **réseaux** sur support plastique (ordre de grandeur de leur prix : 10 F). On place alors sur une table la source lumineuse éclairant une fente. Chacun doit s'approcher pour regarder «à travers» le réseau tenu à la main.

On pourra également observer des **spectres d'absorption**. On prend une source de lumière blanche (projecteur de diapositive, par exemple) et on interpose sur le faisceau un **filtre coloré** ou un récipient contenant la **substance absorbante**: solution aqueuse de permanganate ou de sulfate de cuivre, solution de diiode dans le sulfure de carbone... Dans chaque cas repérer les bandes noires.

### 2. Utilisation d'un rétroprojecteur

#### a) Description du montage

Il faut construire, soit en bois, soit en carton, une fente de quelques mm de large et, si possible, réglable qui s'adapte sur le plateau du **rétroprojecteur** (fig. 4); deux plaques de carton peuvent se révéler suffisantes. On commence par former l'image de cette fente sur l'écran

(à 2 m) puis on place le support du réseau (traits parallèles à la fente; quelques centaines de traits par mm) sur la pièce portant la lentille de projection.

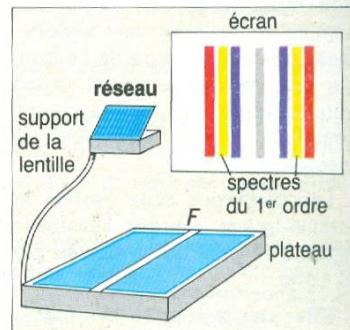


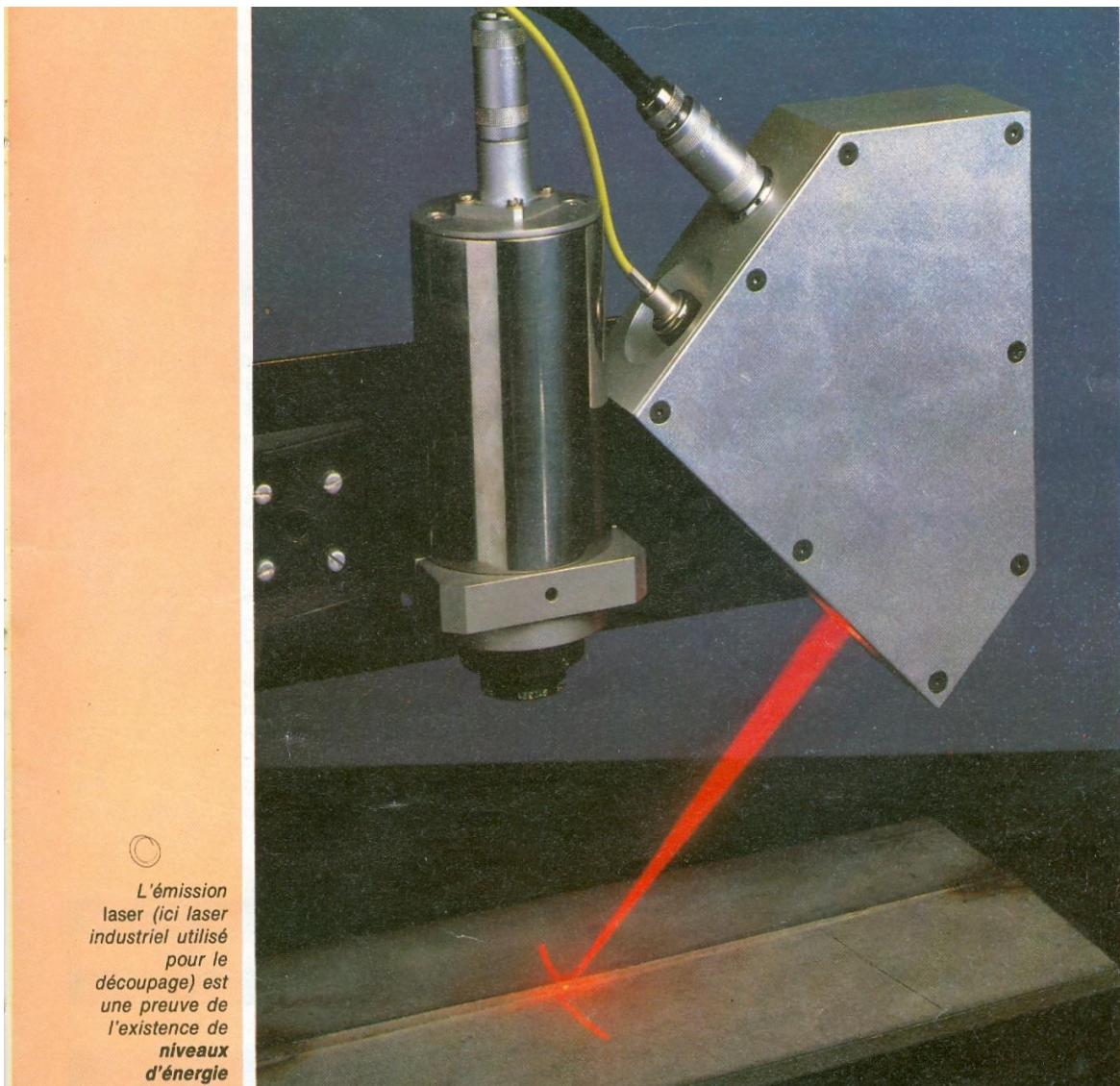
Fig. 4. Rétroprojecteur équipé pour montrer des spectres d'absorption.

Il apparaît sur l'écran, outre l'image blanche de la fente, les deux spectres du premier ordre et éventuellement ceux du deuxième ordre.

#### b) Observations possibles

De nombreux **spectres d'absorption** sont visibles de toute la classe en plaçant sur le plateau des **filtres colorés** (chemises de plastique transparent ou filtres gélatine) ou des **solutions colorées** placées dans des récipients type boîte de Pétri. On a intérêt à mettre la substance absorbante sur la moitié de la fente de façon à pouvoir comparer le spectre d'absorption au spectre continu. On pourra observer le spectre d'absorption des solutions de permanganate de potassium (raies dans le vert), de fluorescéine (une raie dans le bleu), de rhodamine (une raie dans le bleu), de sulfate de cuivre, de diiode dans le sulfure de carbone... ainsi que ceux de solutions étudiées en biologie : chlorophylle, sang...

## Document 2



**Source :** Adolphe TOMASINO et al, Physique Tle CE, Nathan, p343, édition 1989

## A. LES SPECTRES D'ÉMISSION

Les **spectres d'émission** d'atomes s'obtiennent au moyen des **spectroscopes** décrits au chapitre O3 : spectroscope à prisme (fig. 7, page 304) ou spectroscope à réseau (fig. 21, page 311).

- La source lumineuse  $S$  étant une lampe à vapeur de sodium (ampoule contenant du sodium à l'état de vapeur, c'est-à-dire des atomes de sodium), le spectre est celui de la figure 1-a, constitué d'une **raie jaune** (en fait deux raies très voisines constituant un **doublet**). C'est le **spectre d'émission du sodium**. Vous savez que la radiation monochromatique qui lui donne naissance a pour longueur d'onde  $\lambda = 589,3 \text{ nm}$ .

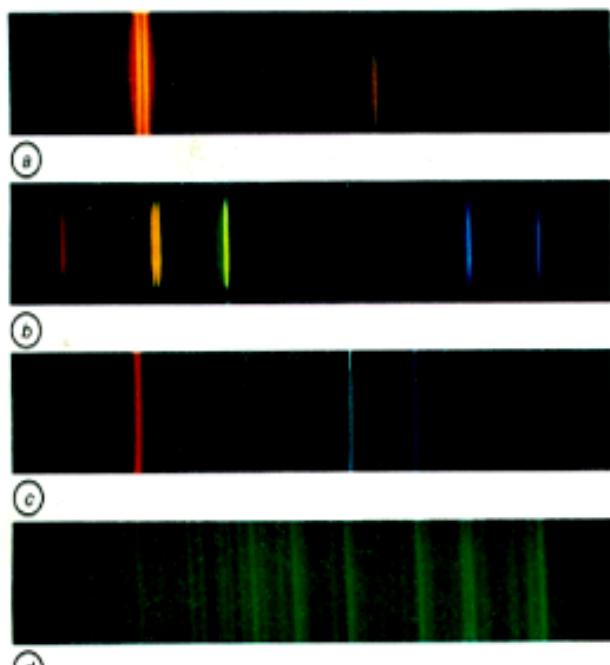


Fig. 1. Spectres d'émission atomiques :

- (a) du sodium (vers la droite, un reflet parasite);
- (b) du mercure;
- (c) de l'hydrogène;
- (d) du fer (partiel : dans le vert, une faible partie des milliers de raies visibles).

Le système dispersif est ici un réseau.

Avec une lampe à vapeur de mercure, le spectre (fig. 1-b) est formé de **quelques raies fines** (rouge, jaune : doublet, jaune-vert, bleue, violette). C'est le **spectre d'émission du mercure**.

- Si la source  $S$  est un tube de Plücker à hydrogène (tube contenant de l'hydrogène sous faible pression et deux électrodes entre lesquelles on établit, avec une bobine d'induction, une tension de quelques dizaines de kV), on obtient un spectre constitué de **quatre raies** (fig. 1-c) correspondant aux radiations monochromatiques :

Source : Adolphe TOMASINO et al, Physique Tle CE, Nathan, p 338 édition 1989

$H_{\alpha} : 656,3 \text{ nm (rouge orange)}$ ;  $H_{\beta} : 486,1 \text{ nm (bleu)}$   
 $H_{\gamma} : 434,0 \text{ nm (indigo)}$ ;  $H_{\delta} : 410,2 \text{ nm (violet)}$ .

C'est le **spectre d'émission de l'hydrogène**.

- Enfin, quand on emploie comme source un arc au fer (décharge dans l'air entre deux électrodes de fer, soumises à une tension d'une centaine de volts), on voit apparaître un spectre comportant un **très grand nombre de raies fines** (fig. 1-d). C'est le **spectre d'émission du fer**.

Les spectres atomiques d'émission sont constitués de raies fines correspondant à des radiations monochromatiques bien déterminées.

Les spectres d'émission sont caractéristiques des atomes qui les produisent.

## B. LES SPECTRES D'ABSORPTION

Les **spectres d'absorption** atomique s'obtiennent avec un spectroscope, mais la source lumineuse  $S$  est maintenant une source de **lumière blanche**, et on interpose l'élément absorbant avant le système dispersif.

Lorsque l'absorbant est formé de sodium vapeur (on l'obtient en disposant sous le faisceau incident la flamme d'un bec Bunsen où l'on place dans un tamis métallique un petit morceau de sodium) il apparaît le spectre d'absorption du sodium, constitué d'un spectre continu avec une **raie fine et noire** correspondant à la radiation lumineuse de longueur d'onde  $\lambda = 589,3 \text{ nm}$ . À la figure 2-a, vous voyez les deux raies noires du doublet.

Quand l'absorbant est de l'hydrogène (hydrogène **atomique** et non dihydrogène), on observe un spectre continu avec les **quatre raies noires** (fig. 2-b) correspondant aux radiations  $H_{\alpha}, H_{\beta}, H_{\gamma}, H_{\delta}$  dont les longueurs d'onde sont données ci-dessus.

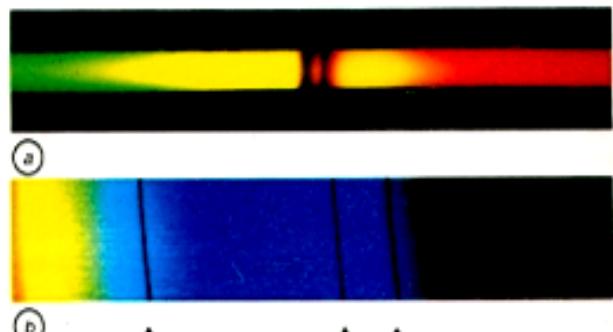
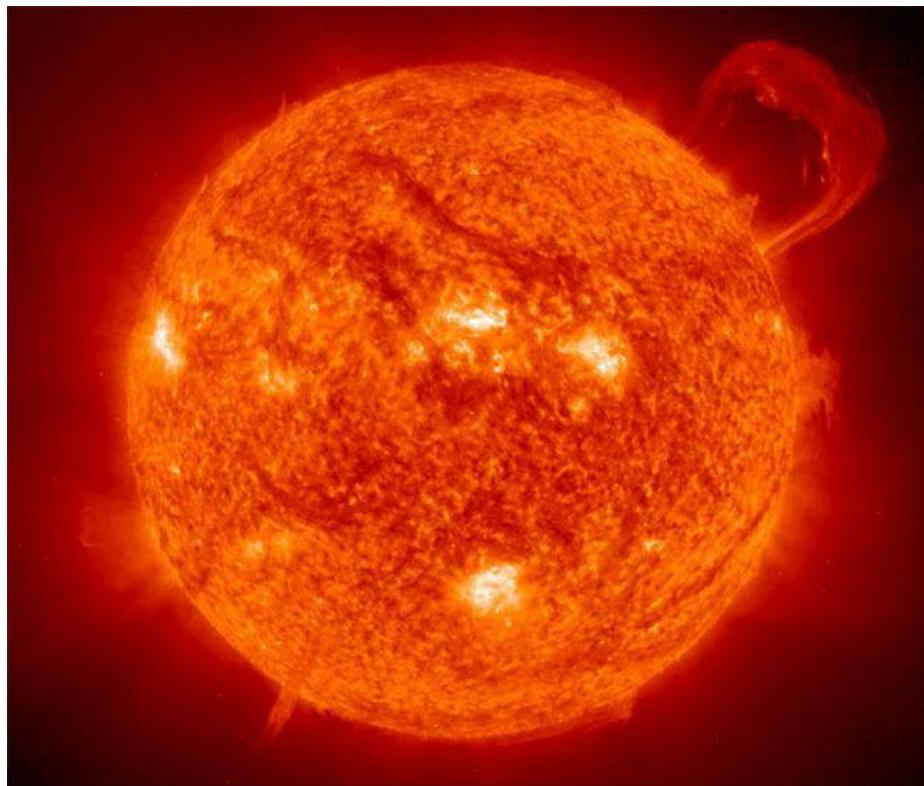


Fig. 2. Spectres d'absorption atomiques :

- (a) du sodium (très agrandi; il apparaît le doublet **en noir**);
- (b) de l'hydrogène (3 raies noires sont visibles : dans le violet, l'indigo et le bleu; la raie  $\alpha$  dans le rouge, n'est pas visible).

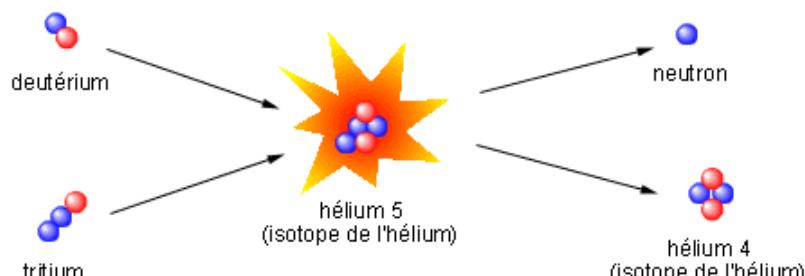
# La fusion et la fission nucléaire

## La fusion



*Des réactions de fusions nucléaires ont lieu dans le cœur de notre Soleil, ainsi que dans toutes les étoiles.*

La fusion nucléaire est un processus mettant en scène deux noyaux légers, fusionnant en un noyau plus lourd. La fusion nucléaire se produit à des températures extrêmement élevées, car il faut suffisamment d'énergie aux noyaux pour qu'ils puissent se heurter et fusionner. Ce genre de réaction nucléaire se trouve dans la nature au cœur des étoiles : deux noyaux d'hydrogène fusionnent pour donner un noyau de deutérium, puis deux noyaux de deutérium fusionnent pour donner de l'hélium (en réalité la réaction est un peu plus compliquée). La fusion nucléaire libère énormément d'énergie.



La fusion

*Schéma du processus de fusion. On voit bien que deux noyaux légers (deutérium et tritium) s'assemblent en un noyau d'hélium 5, qui va ensuite libérer un neutron pour donner de l'hélium 4.*

## La fission

La fission ne concerne qu'une poignée d'éléments, appelés « fissiles ». Ces éléments sont tous instables. Le seul à avoir subsisté à la surface de la terre est un isotope très minoritaire de l'uranium : l'uranium-235, dont la période est de 700 millions d'années. Il est présent en quantité minime dans la croûte terrestre.

La fission se produit exceptionnellement de manière spontanée. Plus souvent, elle est provoquée par l'introduction d'un neutron dans un noyau fissile. Cette désintégration provoquée est en réalité une réaction nucléaire.

Le neutron est l'agent idéal pour une fission. Du fait de sa neutralité électrique, cette particule s'introduit sans mal dans un noyau où elle se retrouve capturée. Dans la grande majorité des cas, la capture d'un neutron ne brise pas le noyau. Mais si le noyau est fragile parce que trop gros, l'arrivée d'un intrus suffit pour déclencher un cataclysme à son échelle, sa fragmentation. Un second noyau fissile important est un isotope du plutonium, le plutonium-239. Ce noyau artificiel est produit à partir de l'uranium dans le cœur des réacteurs nucléaires. Ses propriétés ont voisinnes de celles de l'uranium-235.

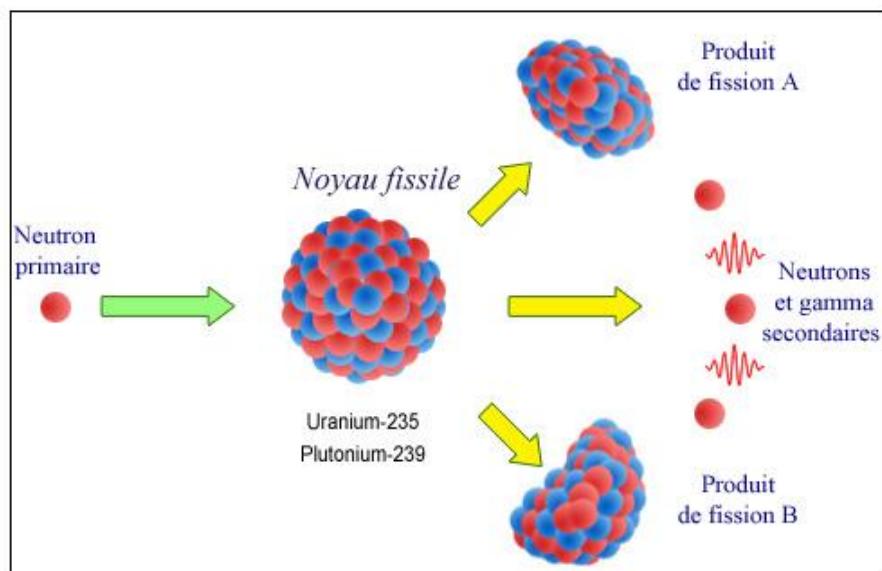
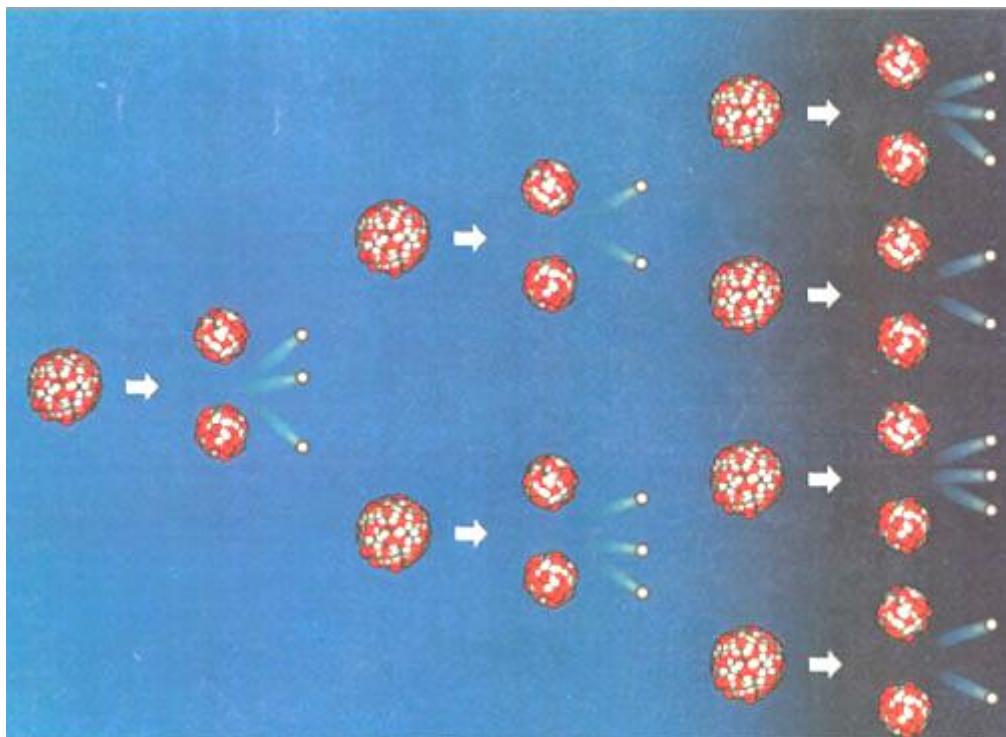


Schéma du processus de fission. Un neutron percute un noyau lourd qui va se séparer en deux noyaux plus légers, en libérant de l'énergie et deux ou trois neutrons.

## La réaction en chaîne

La fission serait restée un phénomène marginal s'il n'était possible de la multiplier à travers un mécanisme de réaction en chaîne. Deux à trois neutrons accompagnent en moyenne les produits

de fission. Si un de ces neutrons secondaires est absorbé par un noyau fissile, il peut y déclencher une seconde fission, source de nouveaux neutrons. C'est le principe de la réaction en chaîne.



Le plutonium-239 est le noyau qui produit le plus de neutrons secondaires : 2,91 en moyenne par fission. L'uranium-235 en produit 2,47 et l'uranium-233 2,55. Le nombre de neutrons disponibles pour de nouvelles fissions dépend de l'abondance des noyaux fissiles et des pertes dues aux neutrons qui quittent le cœur du réacteur ou sont piégés par d'autres noyaux.

Quand le nombre de neutrons « relayeurs » devient supérieur à un, une réaction en chaîne se développe d'une manière explosive. La fission ne concerne plus des noyaux individuels mais une fraction importante de la matière fissile. Les énergies mises en jeu dans les phénomènes nucléaires étant des dizaines de fois celles des phénomènes chimiques, l'explosion dégage une énergie énorme à l'échelle humaine.

Il faut donc maîtriser la capture des neutrons pour contrôler « à petit feu » la réaction dans les réacteurs nucléaires. Le fonctionnement d'un réacteur utilisant l'uranium naturel est délicat, car ce dernier ne contient qu'une faible proportion - 0,70 % - d'uranium-235 fissile. On a généralement recours à des procédés de séparation isotopique pour enrichir la proportion d'uranium-235 de 0,70 % à 3,5 %. Ceci permet de l'utiliser dans des réacteurs à eau pressurisée qui sont les plus répandus à l'heure actuelle.

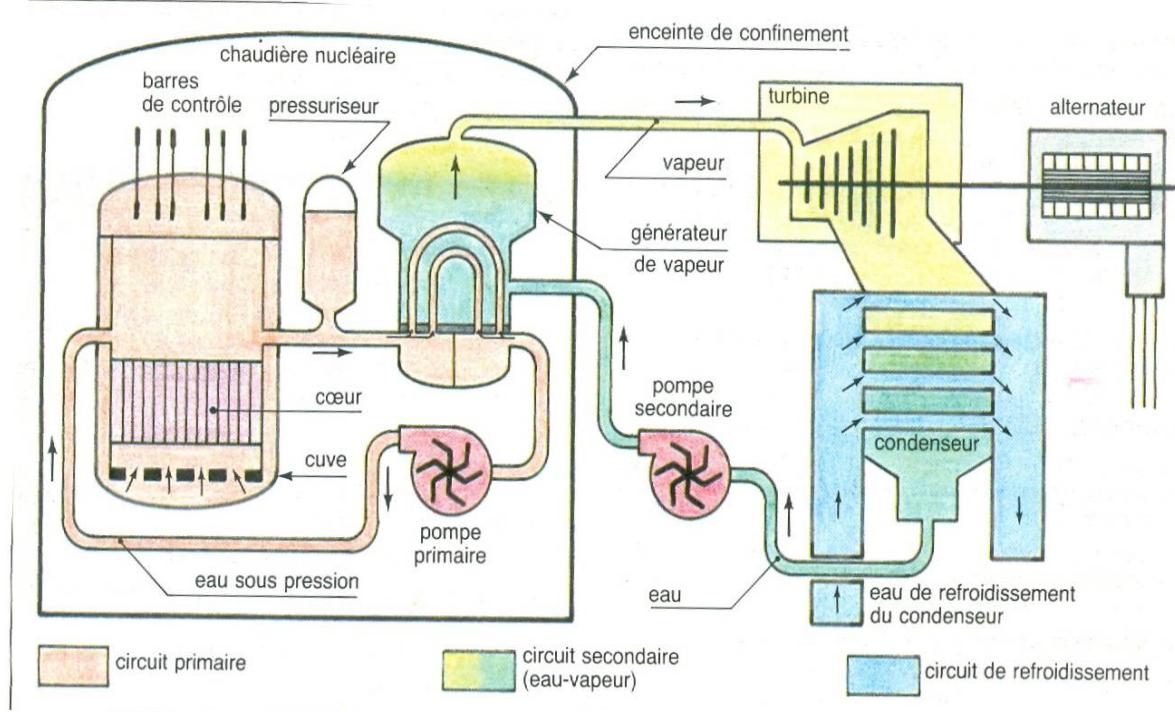
Ces derniers fonctionnent avec un uranium enrichi à 3,5 % en U-235 fissile. Pour que la réaction en chaîne puisse être entretenue, il faut éviter que la perte de neutrons soit importante dans les 97 % d'uranium non fissile restants et les matériaux constituant ou entourant le cœur du réacteur. Il faut surtout ralentir les neutrons jusqu'à une très faible énergie, pour que la proportion des neutrons qui fissionnent l'uranium-235 soit la plus favorable. A cet effet, les matières fissiles sont mises en présence d'un milieu ralentisseur (eau ou graphite), appelé « modérateur ».

Grâce au modérateur, on a la possibilité de disposer par fission d'un peu plus d'un neutron susceptible de donner une seconde fission. Afin d'éviter que la réaction ne diverge d'une manière explosive, le réacteur est conçu pour que la « criticité » (proportion de neutrons entretenant la réaction en chaîne) reste exactement égale à 1. Par exemple les réacteurs REP sont conçus pour qu'une excursion de la criticité au dessus de la valeur 1, qui pourrait prendre un tour dangereux, soit immédiatement et naturellement corrigée.

La fission met à la disposition de l'humanité une source d'énergie pratiquement inépuisable. Elle produit des corps radioactifs, les déchets nucléaires. Pour ces multiples raisons, même provoquée, elle est inséparable de la radioactivité.

A noter que la fusion nucléaire libère beaucoup plus d'énergie que la fission. C'est pourquoi les bombes à fusion (la bombe H) sont beaucoup plus destructrices que les bombes atomiques (la bombe A, utilisant le principe de fission).

Les Hommes se servent de l'énergie qui fait briller les étoiles pour détruire ...



**Schéma de principe d'une centrale nucléaire à eau sous pression (P.W.R.)**

**Source :** Adolphe TOMASINO et al, Physique Tle CE, Nathan 388, édition 1989