

# BAC 2004

4

## Physique Chimie

**S** Obligatoire et Spécialité

**Les Sujets**  
**non corrigés**

**A B C**  
**BAC**

- **Toutes les annales du bac 2003**
- **Des exercices supplémentaires**
- **Des sujets de concours**

**EXCLUSIF !**

- **Le dossier infos-bac, pour tout savoir sur l'écrit et sur l'oral**

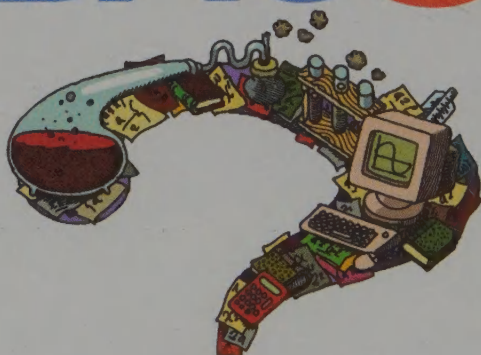
# La collection pour réussir votre orientation !

## l'Etudiant

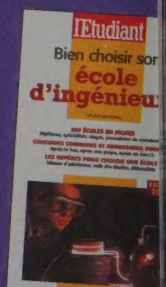
édition  
2003

JACQUES LINDECKER

# QUE FAIRE avec un BACS



■ **CONSTRUIRE SON ORIENTATION.** Choisir ses options en seconde, première et terminale ■ **LES FORMATIONS À LA LOUPE.** Classes prépas, écoles d'ingénieurs et de commerce, BTS-DUT, université... ■ **CHOISIR UN MÉTIER ET DES ÉTUDES.** Scientifiques (maths, informatique, physique, biologie, chimie...), commerciales, médicales, sociales, etc. ■ **PRATIQUE.** S'inscrire dans le supérieur, financer ses études.



LES GUIDES DE  
**l'Etudiant**

IL Y EN A FORCÉMENT UN QUI VOUS CONCERNE !  
En vente en librairie ou [www.letudiant.fr](http://www.letudiant.fr)



**BAC 2004**

# Physique-Chimie

**S** obligatoire et spécialité

***Les Sujets***

**Non corrigés**

**A B C**

**BAC**

**Michel FAYE**

Agrégé de Physique-Chimie

Professeur en Terminale S

au Lycée Louis Le Grand - Paris

**Nathan**

# P R É S E N T A T I O N

Ces **Sujets ABC BAC** ont été conçus pour vous aider à préparer efficacement l'épreuve de Physique-Chimie du baccalauréat S (obligatoire et spécialité). Ils vous permettent de vous entraîner sur les tous derniers sujets posés au bac, et contiennent aussi beaucoup d'informations utiles pour bien aborder l'épreuve.

## **109 EXERCICES DE BAC CONFORMES AU NOUVEAU PROGRAMME...**

- Sont présentés ici la totalité des sujets de la série S (obligatoire et spécialité) posés entre septembre 2002 et juin 2003 en France métropolitaine, dans les DOM-TOM et les Centres étrangers, soit au total 58 exercices.
- 51 exercices supplémentaires sont en outre proposés. Tirés de sessions antérieures, de sujets proposés par le Ministère ou sujets complémentaires inédits, ils sont tous strictement conformes au programme en vigueur par l'année scolaire 2003-2004.

## **...ET CLASSÉS PAR THÈMES**

- Tous les exercices proposés sont classés selon les thèmes du programme officiel, et recouvrent l'intégralité de ce programme, y compris l'enseignement de spécialité.
- Le sommaire détaillé permet de choisir un exercice se rapportant à la notion à approfondir.

## **7 SUJETS DE CONCOURS**

Dans la dernière partie de l'ouvrage, vous trouverez également 7 sujets de concours d'écoles d'ingénieurs ayant eu lieu en avril et mai 2003.



## DES COMPLÉMENTS UTILES

- Au début de chaque exercice de bac, un encadré précise les principales notions abordées.
- Un barème indicatif de correction est précisé à droite du texte. Il vous aidera à évaluer votre travail.

- Pour chaque exercice il est précisé si l'usage de la calculatrice est autorisé ou non :



: calculatrice autorisée



: calculatrice NON autorisée

- En début d'ouvrage, un tableau des exercices par académie permet de reconstituer une épreuve complète.
- En fin d'ouvrage, un formulaire de Physique et de Chimie, un tableau de données numériques ainsi que la classification périodique des éléments sont fournis.

## LE DOSSIER INFOS-BAC

Un dossier complet, rédigé en collaboration avec la rédaction du magazine « L'Étudiant ». Ce dossier rassemble :

- des informations sur le baccalauréat, l'organisation de l'épreuve, la correction et la notation des copies ;
- des conseils pratiques pour bien aborder l'écrit et préparer l'oral de rattrapage.

# SOMMAIRE

|                              |    |
|------------------------------|----|
| EXERCICES PAR ACADÉMIE ..... | 12 |
|------------------------------|----|

## INFOS-BAC

|                            |    |
|----------------------------|----|
| LE BAC .....               | 14 |
| L'ÉCRIT .....              | 15 |
| L'ORAL DE RATTRAPAGE ..... | 19 |
| L'ÉPREUVE DE TP .....      | 20 |

## EXEMPLE DE SUJET COMPLET

|          |                                                                                                                |    |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>1</b> | <b>FRANCE MÉTROPOLITAINE</b>  |    |
|          | (juin 2003) .....                                                                                              | 24 |
|          | <b>EXERCICE I</b> Obligatoire (4 points) <b>Étude de la vitamine C</b>                                         |    |
|          | <b>EXERCICE I</b> Spécialité (4 points) <b>Étude d'un médicament</b>                                           |    |
|          | <b>EXERCICE II</b> (7 points) <b>Charge d'un condensateur</b>                                                  |    |
|          | <b>à l'aide d'une pile</b>                                                                                     |    |
|          | <b>EXERCICE III</b> (5 points) <b>Autour du radium</b>                                                         |    |

## PHYSIQUE

### ENSEIGNEMENT OBLIGATOIRE

#### Propagation d'une onde ; ondes progressives

|          |                                                                                                                                                |    |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>2</b> | <b>Ondes ultrasonores</b>                                   |    |
|          | (Ministère, 5 points) .....                                                                                                                    | 36 |
| <b>3</b> | <b>Ondes sismiques</b>                                      |    |
|          | (Ministère, 5 points) .....                                                                                                                    | 40 |
| <b>4</b> | <b>Les ondes sismiques</b>                                  |    |
|          | (Centres étrangers I, juin 2003, 9,5 points) .....                                                                                             | 43 |
| <b>5</b> | <b>Des oscillations électriques à la cuve à ondes</b>       |    |
|          | (Polynésie, juin 2003, 9,5 points) .....                                                                                                       | 51 |
| <b>6</b> | <b>À la recherche d'une mesure du diamètre d'un cheveu</b>  |    |
|          | (France métropolitaine, septembre 2001, 5 points) .....                                                                                        | 56 |

## Transformations nucléaires

|           |                                                                                                                                              |    |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>7</b>  | <b>Datation d'un échantillon</b>                             |    |
|           | (Nouvelle-Calédonie – partiel, décembre 2002, 1 point) .....                                                                                 | 60 |
| <b>8</b>  | <b>Datation au carbone 14</b>                               |    |
|           | (Ministère, 4,5 points) .....                                                                                                                | 61 |
| <b>9</b>  | <b>Le radon 222</b>                                         |    |
|           | (Ministère, 5,5 points) .....                                                                                                                | 63 |
| <b>10</b> | <b>Décroissance radioactive du radon 220</b>                |    |
|           | (Ministère, 6 points) .....                                                                                                                  | 66 |
| <b>11</b> | <b>Datation de pierres lunaires</b>                         |    |
|           | (France métropolitaine, juin 1986, 4 points) .....                                                                                           | 71 |
| <b>12</b> | <b>Source radioactive de césium 137</b>                     |    |
|           | (France métropolitaine, juin 1991, 5 points) .....                                                                                           | 72 |
| <b>13</b> | <b>Les applications technologiques de la radioactivité</b>  |    |
|           | (Asie, juin 2003, 6,5 points) .....                                                                                                          | 73 |
| <b>14</b> | <b>Mécanisme de fusion de l'hydrogène dans une étoile</b>   |    |
|           | (La Réunion, juin 2003, 4 points) .....                                                                                                      | 77 |
| <b>15</b> | <b>Radioactivité dans la famille de l'uranium</b>           |    |
|           | (Antilles-Guyane, juin 2003, 5,5 points) .....                                                                                               | 79 |
| <b>16</b> | <b>Surrégénérateur</b>                                      |    |
|           | (France métropolitaine, juin 1986, 5,5 points) .....                                                                                         | 81 |

## Évolution des systèmes électriques

|           |                                                                                                                                                    |     |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>17</b> | <b>Étude de la décharge d'un condensateur</b>                     |     |
|           | (France métropolitaine, juin 2001, 5 points) .....                                                                                                 | 84  |
| <b>18</b> | <b>Le flash électronique</b>                                      |     |
|           | (Inde, avril 2003, 4 points) .....                                                                                                                 | 87  |
| <b>19</b> | <b>Condensateur d'un flash</b>                                   |     |
|           | (Antilles-Guyane, juin 2003, 4 points) .....                                                                                                       | 89  |
| <b>20</b> | <b>Qualité d'un capteur de tension</b>                          |     |
|           | (La Réunion, juin 2002, 5,5 points) .....                                                                                                          | 91  |
| <b>21</b> | <b>Comportement d'une bobine</b>                                |     |
|           | (Polynésie – partiel, septembre 2002, 3,5 points) .....                                                                                            | 96  |
| <b>22</b> | <b>Comportement d'une bobine dans un circuit</b>                |     |
|           | (Antilles-Guyane – partiel, septembre 2002, 4 points) .....                                                                                        | 98  |
| <b>23</b> | <b>Inductance d'une bobine</b>                                  |     |
|           | (Amérique du Sud, novembre 2002, 5 points) .....                                                                                                   | 101 |
| <b>24</b> | <b>Étude expérimentale de dipôles : condensateur et bobine</b>  |     |
|           | (France métropolitaine, septembre 2002, 6 points) .....                                                                                            | 103 |

 Ce symbole signifie que ce sujet est corrigé dans *Les Sujets ABC BAC 2004* n° 9 ou 10.



|           |                                                                                                                                              |     |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>25</b> | <b>Dipôle RLC</b>                                            | 107 |
|           | (Amérique du Nord, juin 2003, 4 points) .....                                                                                                |     |
| <b>26</b> | <b>Charge et décharge d'un condensateur</b>                 | 110 |
|           | (Inde, avril 2002, 5 points) .....                                                                                                           |     |
| <b>27</b> | <b>Détermination de l'inductance d'une bobine. Énergie</b>  | 113 |
|           | (Polynésie, septembre 2001, 5 points) .....                                                                                                  |     |
| <b>28</b> | <b>Oscillateur électrique</b>                               | 116 |
|           | (Polynésie, juin 2002, 5 points) .....                                                                                                       |     |
| <b>29</b> | <b>Oscillateur électrique</b>                               | 119 |
|           | (France métropolitaine, septembre 1999, 5 points) .....                                                                                      |     |
| <b>30</b> | <b>QROC : À propos d'énergie</b>                            | 122 |
|           | (Asie, juin 2003, 5,5 points) .....                                                                                                          |     |

## Évolution temporelle des systèmes mécaniques

|           |                                                                                                                                                            |     |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>31</b> | <b>Feu d'artifice</b>                                                     | 126 |
|           | (Amérique du Nord, juin 2001, 5 points) .....                                                                                                              |     |
| <b>32</b> | <b>Le jongleur à cheval</b>                                               | 127 |
|           | (La Réunion, juin 2002, 5,5 points) .....                                                                                                                  |     |
| <b>33</b> | <b>Étude de la chute d'une goutte d'eau</b>                               | 130 |
|           | (Polynésie, septembre 1998, 6 points) .....                                                                                                                |     |
| <b>34</b> | <b>Chute d'une balle de ping-pong</b>                                     | 133 |
|           | (Amérique du Nord, juin 2003, 5,5 points) .....                                                                                                            |     |
| <b>35</b> | <b>Toujours plus loin</b>                                                 | 137 |
|           | (France métropolitaine, septembre 2002, 5 points) .....                                                                                                    |     |
| <b>36</b> | <b>1969 : l'homme marche sur la Lune</b>                                  | 141 |
|           | (Polynésie, septembre 2001, 6 points) .....                                                                                                                |     |
| <b>37</b> | <b>Mise en orbite d'un satellite artificiel par la fusée Ariane</b>     | 143 |
|           | (Inde, avril 2003, 6 points) .....                                                                                                                         |     |
| <b>38</b> | <b>Météosat, Spot et les autres...</b>                                  | 145 |
|           | (Polynésie, septembre 2002, 5 points) .....                                                                                                                |     |
| <b>39</b> | <b>Le système mondial des satellites météorologiques opérationnels</b>  | 146 |
|           | (Antilles-Guyane, septembre 2002, 6 points) .....                                                                                                          |     |
| <b>40</b> | <b>Newton et les satellites de Jupiter</b>                              | 149 |
|           | (France métropolitaine, juin 2002, 5,5 points) .....                                                                                                       |     |
| <b>41</b> | <b>Saturne, ses satellites, ses anneaux</b>                             | 151 |
|           | (Polynésie, juin 2000, 5 points) .....                                                                                                                     |     |
| <b>42</b> | <b>Elastic bungee ou le saut à l'élastique</b>                          | 153 |
|           | (Polynésie, juin 2002, 6 points) .....                                                                                                                     |     |
| <b>43</b> | <b>Pendule simple et énergie</b>                                        | 156 |
|           | (Amérique du Sud, novembre 2002, 6 points) .....                                                                                                           |     |

|           |                                                                                                                                                                              |     |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>44</b> | <b>Évolution temporelle de deux oscillateurs</b>                                             |     |
|           | (Liban, juin 2003, 9 points) .....                                                                                                                                           | 159 |
| <b>45</b> | <b>Oscillateur mécanique</b>                                                                |     |
|           | (Nouvelle Calédonie, décembre 2002, 5 points) .....                                                                                                                          | 164 |
| <b>46</b> | <b>Oscillations libres et forcées</b>                                                       |     |
|           | (La Réunion, juin 2003, 5,5 points) .....                                                                                                                                    | 169 |
| <b>47</b> | <b>De la mécanique newtonienne à la mécanique quantique : étude de l'atome d'hydrogène</b>  |     |
|           | (France métropolitaine, septembre 1992, 5 points) .....                                                                                                                      | 173 |
| <b>48</b> | <b>Niveaux d'énergie atomiques</b>                                                          |     |
|           | (France métropolitaine, juin 1990, 4,5 points) .....                                                                                                                         | 174 |

## ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

### Produire des images - Observer

|           |                                                                                                                                          |     |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>49</b> | <b>Une carte plein cadre</b>                            |     |
|           | (France métropolitaine, septembre 2002, 4 points) .....                                                                                  | 176 |
| <b>50</b> | <b>Modélisation d'un microscope sur banc d'optique</b>  |     |
|           | (La Réunion, juin 2003, 4 points) .....                                                                                                  | 178 |
| <b>51</b> | <b>Modélisation du principe du microscope</b>           |     |
|           | (Amérique du Nord, juin 2003, 4 points) .....                                                                                            | 180 |
| <b>52</b> | <b>Quelle est votre optique ?</b>                       |     |
|           | (Nouvelle Calédonie, décembre 2002, 4 points) .....                                                                                      | 183 |
| <b>53</b> | <b>Utilisation d'une lunette d'approche</b>             |     |
|           | (Amérique du Sud, novembre 2001, 4 points) .....                                                                                         | 186 |
| <b>54</b> | <b>Notice d'une lunette astronomique</b>                |     |
|           | (France métropolitaine, septembre 2001, 4 points) .....                                                                                  | 188 |
| <b>55</b> | <b>Étude de la notice d'un télescope</b>               |     |
|           | (Ministère, 4 points) .....                                                                                                              | 190 |
| <b>56</b> | <b>Le télescope de Newton</b>                         |     |
|           | (Inde, avril 2003, 4 points) .....                                                                                                       | 194 |
| <b>57</b> | <b>Le télescope de Newton</b>                         |     |
|           | (Antilles-Guyane, juin 2003, 4 points) .....                                                                                             | 197 |

### Produire des sons - Écouter

|           |                                                                                                                                |     |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>58</b> | <b>Ondes progressives et stationnaires</b>  |     |
|           | (France métropolitaine, juin 1981, 4 points) .....                                                                             | 203 |
| <b>59</b> | <b>Vibrations d'une corde métallique</b>    |     |
|           | (Ministère, 4 points) .....                                                                                                    | 204 |
| <b>60</b> | <b>Un xylophone d'enfant</b>                |     |
|           | (France métropolitaine, juin 2002, 4 points) .....                                                                             | 206 |

 Ce symbole signifie que ce sujet est corrigé dans *Les Sujets ABC BAC 2004* n° 9 ou 10.

## Produire des signaux - Communiquer

|           |                                                                                                                                                       |     |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>61</b> | <b>Émission d'un <math>I_{a3}</math> par modulation d'amplitude</b>  |     |
|           | (Centres étrangers I, juin 2002, 4 points) .....                                                                                                      | 212 |
| <b>62</b> | <b>Récepteur radio à modulation d'amplitude</b>                      |     |
|           | (Antilles-Guyane, septembre 1996, 4 points) .....                                                                                                     | 216 |

## CHIMIE

### ENSEIGNEMENT OBLIGATOIRE

#### La transformation d'un système chimique est-elle toujours rapide ?

|           |                                                                                                                                               |     |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>63</b> | <b>Étude cinétique par suivi spectrophotométrique</b>        |     |
|           | (Polynésie, juin 2003, 2,5 points) .....                                                                                                      | 222 |
| <b>64</b> | <b>Suivi conductimétrique d'une transformation chimique</b>  |     |
|           | (Ministère, 5,5 points) .....                                                                                                                 | 224 |
| <b>65</b> | <b>Une réaction dans un verre d'eau</b>                      |     |
|           | (Antilles-Guyane – partiel, septembre 2002, 5 points) .....                                                                                   | 225 |
| <b>66</b> | <b>Étude cinétique d'une estérification</b>                  |     |
|           | (France métropolitaine, septembre 2002, 5,5 points) .....                                                                                     | 228 |
| <b>67</b> | <b>Étude cinétique d'une saponification</b>                  |     |
|           | (Amérique du Sud, novembre 2002, 5 points) .....                                                                                              | 231 |
| <b>68</b> | <b>L'eau de Javel – Précautions d'emploi. Stabilité</b>      |     |
|           | (Inde, avril 2002, 4 points) .....                                                                                                            | 233 |

#### La transformation d'un système chimique est-elle toujours totale ?

|           |                                                                                                                                                       |     |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>69</b> | <b>Solution aqueuse d'acide propanoïque</b>                        |     |
|           | (Antilles-Guyane – partiel, septembre 2002, 4 points) .....                                                                                           | 236 |
| <b>70</b> | <b>Dosage d'une solution commerciale</b>                           |     |
|           | (Polynésie, septembre 2002, 4 points) .....                                                                                                           | 237 |
| <b>71</b> | <b>Dilution de solutions acides</b>                                |     |
|           | (Sujet complémentaire, 5 points) .....                                                                                                                | 239 |
| <b>72</b> | <b>Couple acide benzoïque/ion benzoate</b>                         |     |
|           | (Inde, avril 2002, 5 points) .....                                                                                                                    | 240 |
| <b>73</b> | <b>Détermination d'une constante d'acidité par conductimétrie</b>  |     |
|           | (Ministère, 4 points) .....                                                                                                                           | 243 |
| <b>74</b> | <b>Réactions acido-basiques</b>                                    |     |
|           | (Centres étrangers I, juin 2003, 4 points) .....                                                                                                      | 244 |
| <b>75</b> | <b>Dosage d'un vinaigre</b>                                        |     |
|           | (Ministère, 6 points) .....                                                                                                                           | 247 |



|           |                                                                                                                                                       |     |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>76</b> | <b>Quelques surprises dues au dioxyde de carbone</b>                   |     |
|           | (France métropolitaine, juin 2002, 5 points) .....                                                                                                    | 249 |
| <b>77</b> | <b>Quelques propriétés de l'acide salicylique</b>                    |     |
|           | (Amérique du Nord, juin 2003, 6,5 points) .....                                                                                                       | 251 |
| <b>78</b> | <b>Usine à bulles</b>                                                |     |
|           | (Nouvelle Calédonie – partiel, décembre 2002, 3,5 points) ..                                                                                          | 254 |
| <b>79</b> | <b>Réactions en solution aqueuse</b>                                 |     |
|           | (Ministère, 6,5 points) .....                                                                                                                         | 255 |
| <b>80</b> | <b>Solubilité du chlorure d'argent dans une solution d'ammoniac</b>  |     |
|           | (Sujet complémentaire, 5 points) .....                                                                                                                | 257 |

### Le sens « spontané » d'évolution d'un système est-il prévisible ? peut-il être inversé ?

|           |                                                                                                                                                           |     |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>81</b> | <b>Étude de la pile cuivre-argent</b>                                    |     |
|           | (Liban, juin 2003, 3 points) .....                                                                                                                        | 259 |
| <b>82</b> | <b>La pile à combustible</b>                                             |     |
|           | (Centres étrangers I, juin 2003, 2,5 points) .....                                                                                                        | 260 |
| <b>83</b> | <b>Production industrielle du cadmium</b>                                |     |
|           | (Sujet complémentaire, 4 points) .....                                                                                                                    | 263 |
| <b>84</b> | <b>Élaboration du zinc par électrolyse</b>                               |     |
|           | (La Réunion, juin 2003, 6,5 points) .....                                                                                                                 | 264 |
| <b>85</b> | <b>Réalisation d'une pile Nickel-Zinc</b>                                |     |
|           | (Antilles-Guyane, juin 2003, 6,5 points) .....                                                                                                            | 266 |
| <b>86</b> | <b>Protection contre la corrosion</b>                                    |     |
|           | (Sujet complémentaire, 6 points) .....                                                                                                                    | 268 |
| <b>87</b> | <b>Dispositifs de contrôle industriel d'une concentration molaire</b>  |     |
|           | (Ministère, 4 points) .....                                                                                                                               | 271 |

### Comment le chimiste contrôle-t-il les transformations de la matière ?

|                                                                                   |                                                                                                                            |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>88</b>                                                                         | <b>L'aspirine</b>                       |     |
|                                                                                   | (Amérique du Sud, novembre 2002, 4 points) .....                                                                           | 274 |
|  | <b>Vitamine A. Chimie de la vision</b>  |     |
|                                                                                   | (Polynésie, septembre 2002, 5 points) .....                                                                                | 275 |
| <b>90</b>                                                                         | <b>Autour du carbone</b>                |     |
|                                                                                   | (France métropolitaine, septembre 2002, 3 points) .....                                                                    | 278 |

 Ce symbole signifie que ce sujet est corrigé dans *Les Sujets ABC BAC 2004* n° 9 ou 10.

|           |                                                                                                                                            |     |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>91</b> | <b>Protocoles et rendements</b>                             | 280 |
|           | (Nouvelle-Calédonie, décembre 2002, 5,5 points) .....                                                                                      |     |
| <b>92</b> | <b>Étude de l'estérification</b>                          | 282 |
|           | (Liban, juin 2003, 4 points) .....                                                                                                         |     |
| <b>93</b> | <b>Étude d'une estérification</b>                         | 283 |
|           | (Inde, avril 2003, 6 points) .....                                                                                                         |     |
| <b>94</b> | <b>Procédé discontinu de fabrication du savon</b>         | 285 |
|           | (Ministère, 5,5 points) .....                                                                                                              |     |
| <b>95</b> | <b>Fabrication et propriétés d'un savon</b>               | 288 |
|           | (Asie, juin 2003, 4 points) .....                                                                                                          |     |
| <b>96</b> | <b>Un biocarburant : l'ester méthylique de colza</b>      | 291 |
|           | (Nouvelle-Calédonie, novembre 2001, 5 points) .....                                                                                        |     |
| <b>97</b> | <b>Synthèse d'un additif alimentaire à odeur de rhum</b>  | 293 |
|           | (Polynésie, juin 2003, 4 points) .....                                                                                                     |     |

## ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

### Extraire et identifier des espèces chimiques

|           |                                                                                                                               |     |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>98</b> | <b>Extractions d'un arôme : la menthone</b>  | 296 |
|           | (Amérique du Nord, juin 2001, 4 points) .....                                                                                 |     |
| <b>99</b> | <b>Hydrodistillation de l'estragon</b>       | 299 |
|           | (France métropolitaine – partiel, juin 2001, 4 points) .....                                                                  |     |

### Créer et reproduire des espèces chimiques

|            |                                                                                                                                 |     |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>100</b> | <b>Synthèse d'un arôme : la vanilline</b>     | 302 |
|            | (Liban, juin 2003, 4 points) .....                                                                                              |     |
| <b>101</b> | <b>Synthèse du paracétamol</b>               | 304 |
|            | (Centres étrangers I, juin 2003, 4 points) .....                                                                                |     |
| <b>102</b> | <b>Synthèse de l'essence de Wintergreen</b>  | 308 |
|            | (Polynésie, juin 1998, 4 points) .....                                                                                          |     |

### Effectuer des contrôles de qualité

|            |                                                                                                                                                               |     |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>103</b> | <b>Dosage des ions <math>\text{Fe}^{2+}</math> par spectrophotométrie</b>  | 310 |
|            | (Antilles-Guyane, septembre 2002, 4 points) .....                                                                                                             |     |
| <b>104</b> | <b>Étude d'une poudre de lait</b>                                          | 313 |
|            | (Amérique du Sud, novembre 2002, 4 points) .....                                                                                                              |     |
| <b>105</b> | <b>Dosage d'une eau de Javel</b>                                           | 316 |
|            | (Asie, juin 2003, 4 points) .....                                                                                                                             |     |
| <b>106</b> | <b>Détermination de la formule brute d'un acide gras</b>                   | 318 |
|            | (Ministère, 4 points) .....                                                                                                                                   |     |
| <b>107</b> | <b>Détermination de l'indice acide d'une huile de table</b>                | 320 |
|            | (Asie, juin 2001, 4 points) .....                                                                                                                             |     |

## Élaborer un produit de consommation : de la matière première à la formulation

|            |                                                                                                                              |     |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>108</b> | <b>Dosage de l'étain dans le fer blanc</b>  |     |
|            | (Polynésie, juin 2003, 4 points) .....                                                                                       | 323 |
| <b>109</b> | <b>L'aspirine moins irritante</b>           |     |
|            | (Centres étrangers I – partiel, juin 1999, 4 points) .....                                                                   | 326 |

## ÉPREUVE DE CONCOURS

### ÉCOLES D'INGÉNIEURS

|            |                                                                                                                                   |     |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>110</b> | <b>Écoles d'ingénieurs du groupe FESIC</b><br><b>Épreuve de physique (QCM)</b><br>(16 exercices, mai 2003) .....                  | 330 |
| <b>111</b> | <b>Écoles d'ingénieurs du groupe FESIC</b><br><b>Épreuve de chimie (QCM)</b><br>(16 exercices, mai 2003) .....                    | 341 |
| <b>112</b> | <b>Écoles supérieure d'informatique, d'électronique<br/>et d'électrotechnique (ESIEE) (QCM)</b><br>(20 exercices, mai 2003) ..... | 352 |
| <b>113</b> | <b>Écoles polytechnique féminine (EPF)</b><br>(5 exercices, mai 2003) .....                                                       | 364 |
| <b>114</b> | <b>Groupeement d'écoles d'ingénieurs à préparation<br/>intégrée (GEIPI)</b><br>(8 exercices, mai 2003) .....                      | 370 |
| <b>115</b> | <b>École française de radio électricité et d'informatique (EFREI)</b><br>(12 exercices, avril 2003) .....                         | 379 |
| <b>116</b> | <b>Écoles Centrale d'Électricité (ECE) (QCM)</b><br>(60 exercices, avril/mai 2003) .....                                          | 389 |

## MÉMENTO

|                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------|-----|
| <b>FORMULAIRE DE PHYSIQUE</b> .....                           | 402 |
| <b>FORMULAIRE DE CHIMIE</b> .....                             | 406 |
| <b>CLASSIFICATION PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS CHIMIQUES</b> ..... | 409 |
| <b>TABLEAU DE DONNÉES</b> .....                               | 410 |
| <b>INDEX THÉMATIQUE</b> .....                                 | 411 |

 Ce symbole signifie que ce sujet est corrigé dans *Les Sujets ABC BAC 2004* n° 9 ou 10.



# EXERCICES PAR ACADÉMIES

## INDEX DES SUJETS DE BAC DE SEPTEMBRE 2002 À JUIN 2003

|                                                                                   | ACADÉMIES<br>(ou centres)             | SUJETS<br>COMMUNS<br>« OBLIGATOIRE ET<br>SPÉCIALITÉ » | SUJETS<br>« OBLIGATOIRE » | SUJETS<br>« SPÉCIALITÉ » |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------|
|    | France métropolitaine, juin 2003      | 1. II p. 30 ; 1. III p. 32                            | 1. Io p. 24               | 1. Is p. 27              |
|    | Antilles-Guyane, juin 2003            | 15 p. 79 ; 85 p. 266                                  | 19 p. 89                  | 57 p. 197                |
|    | Amérique du Nord, juin 2003           | 34 p. 133 ; 77 p. 251                                 | 25 p. 107                 | 51 p. 180                |
|    | Asie, juin 2003                       | 13 p. 73 ; 30 p. 122                                  | 95 p. 288                 | 105 p. 316               |
|    | Centres étrangers I, juin 2003        | 4 p. 43 ; 82 p. 260                                   | 74 p. 244                 | 101 p. 304               |
|    | Inde, avril 2003                      | 37 p. 143 ; 93 p. 283                                 | 18 p. 87                  | 56 p. 194                |
|    | Liban, juin 2003                      | 44 p. 159 ; 81 p. 259                                 | 92 p. 282                 | 100 p. 302               |
|    | Polynésie, juin 2003                  | 5 p. 51 ; 63 p. 222                                   | 97 p. 293                 | 109 p. 326               |
|    | France métropolitaine, septembre 2002 | 24 p. 103<br>66 p. 228 ; 90 p. 278                    | 35 p. 137                 | 49 p. 176                |
|   | Antilles-Guyane, septembre 2002       | 22 p. 98 ; 39 p. 146<br>65 p. 225                     | 69 p. 236                 | 103 p. 310               |
|  | Amérique du Sud, novembre 2002        | 43 p. 156<br>67 p. 231 ; 88 p. 274                    | 23 p. 101                 | 104 p. 313               |
|  | Nouvelle-Calédonie, décembre 2002     | 7 p. 60 ; 78 p. 254<br>91 p. 280                      | 45 p. 164                 | 52 p. 183                |
|  | Polynésie, septembre 2002             | 21 p. 96 ; 38 p. 145<br>70 p. 237 ; 89 p. 275         |                           |                          |
|  | La Réunion, juin 2003                 | 46 p. 169<br>84 p. 264                                | 14 p. 77                  | 50 p. 178                |



: Calculatrice autorisée



: Calculatrice non autorisée

# **Infos-bac**

**Un dossier réalisé  
en partenariat avec**

**l'Étudiant**

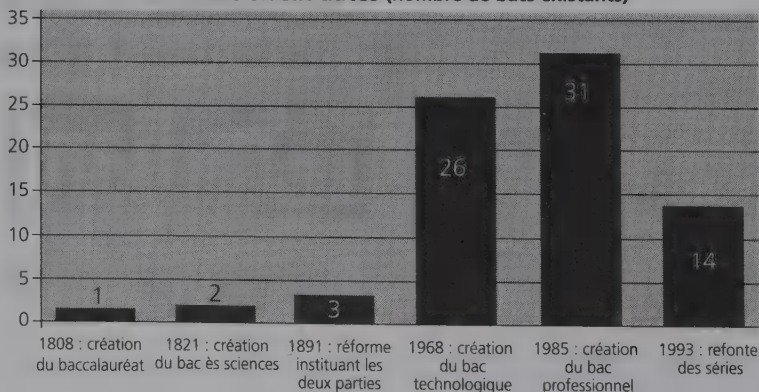
Joyeux anniversaire ! Le bac a 195 ans. Mais entre l'examen très élitiste créé par Napoléon, uniquement littéraire et à l'oral, et la grosse machine d'aujourd'hui, ouverte à tous ou presque, plus grand chose à voir... Reste l'esprit de l'examen : sanctionner la fin de vos études – plus ou moins – généralistes, et vous ouvrir les portes de l'enseignement supérieur.

Entre 1930 et aujourd'hui, le nombre de candidats a été multiplié par 20 ! Un phénomène de démocratisation accéléré vers la fin des années 1960, le taux de réussite au bac augmentant régulièrement depuis cette date : 67,2 % en 1970, 73,1 % en 1990, 80,1 % aujourd'hui. L'objectif avoué est de parvenir à 80 %.

Sur les 604 300 candidats qui ont passé le bac en 2003, plus de la moitié ont choisi les séries générales. La seule série S représente plus du quart du total des bacheliers, loin devant les ES (moins de 100 000 candidats), et les littéraires (moins de 60 000). Les séries technologiques ont attiré 179 335 aspirants, et les bacs pro 114 081. Les taux de réussite varient entre plus de 80 % d'admis (bacs L, S, STL, F11, hôtellerie et production agricole), et un peu plus de 75 % de reçus (bac STI).

Enfin, toutes les régions ne sont pas égales devant le bac : traditionnellement, le grand Ouest (Bretagne, Pays de la Loire), les régions Midi-Pyrénées, la Bourgogne et Rhône-Alpes obtiennent les meilleurs résultats. L'Île-de-France, la Champagne, la Picardie ou la Haute Normandie se situent en queue de peloton.

**Le bac en six dates (nombre de bacs existants)**



## L'ORGANISATION DE L'ÉPREUVE

Imaginez un peu : plus de 600 000 élèves qui passent leurs épreuves à peu près au même moment, dans plus de 3 000 centres d'examen (3 842 lycées en 2002). Ajoutez à cela les 137 000 correcteurs et examinateurs présents pour assurer la bonne marche de l'épreuve, la préparation des sujets avant le bac, la correction et la notation des 4 millions de copies des bacheliers... Cette épreuve est un investissement important pour l'Éducation Nationale : 230 millions d'euros au total. Un investissement qui s'élève à 40 euros pour un candidat en série générale, 66 euros en série professionnelle, et 72 euros en série technologique. C'est peu de dire que l'organisation du bac relève des travaux d'Hercule, le côté mécanique de précision en plus...

Le ministère, l'inspection générale et les inspecteurs d'académie, les services académiques au niveau local, et pour finir le chef du centre d'examen, c'est-à-dire le proviseur du lycée, sont les quatre intervenants d'un processus qui commence en mai, soit plus d'un an avant le bac. Le ministère assigne à chaque académie un certain nombre de sujets à préparer. Rien que pour une matière comme la philosophie, plus de cent sujets sont élaborés en « premier jet ». En juin, chaque académie fait siéger des commissions de choix des sujets, composées de professeurs et présidée par un inspecteur général et un universitaire. Ce sont ces commissions qui élaborent les sujets, dans la plus stricte confidentialité, jusqu'en décembre.

Durant les deux premiers mois de l'année deux professeurs n'ayant pas participé à son élaboration doivent plancher sur une épreuve, en moins de temps que les futurs candidats. À eux de repérer les erreurs et donner leur avis sur son niveau de difficulté, son intérêt... À l'issue de cette vérification, le recteur d'académie effectue le choix définitif des sujets : 4 000 sont retenus au total !

En avril, les académies se transmettent entre elles les sujets qu'elles ont préparés, les impriment et les stockent dans des locaux sécurisés, avant de les acheminer dans chaque centre d'examen quelques jours avant l'épreuve. En attendant le jour J, les sujets sont mis en sécurité dans le coffre du proviseur...



## CORRECTION ET NOTATIONS

Les dernières épreuves écrites terminées, c'est une véritable course contre la montre qui s'engage. L'objectif : corriger et noter vos copies suffisamment vite pour vous convoquer, éventuellement, à l'oral de rattrapage... ou vous envoyer en vacances.

■ **Première étape** : les concepteurs du sujet remettent à tous leurs collègues, en plus de l'énoncé de l'épreuve, des indications de correction et des propositions de barèmes si c'est nécessaire. C'est armé de ces indications-là que la centaine de milliers de correcteurs vont s'attaquer aux 4 millions de copies à noter...

■ **Problème** : même avec des indications précises, les notes peuvent varier considérablement d'un correcteur à l'autre. À chaque fois que l'on a fait des tests, en faisant subir à une même copie une double correction par deux professeurs différents, on s'est rendu compte qu'il y avait des variations importantes... Depuis 1995, l'Éducation Nationale a donc mis en place un système qui tente d'attribuer les notes de la façon la plus « égalitaire » possible, tout en ne touchant pas au sacro-saint principe du jury souverain. Immédiatement après les épreuves, une réunion d'entente par discipline est convoquée au sein de chaque centre d'examen. Objectif : rappeler les principes de notation, et tenter d'harmoniser par avance les critères de tous les correcteurs.

■ **Seconde étape** : la commission d'harmonisation, qui se tient suffisamment tôt pour réviser éventuellement les notes. On y compare les résultats, les copies à problème... L'harmonisation des notes se fait en fonction des statistiques de chaque correcteur (moyenne des copies corrigées...)

## VRAI/FAUX

■ **Le livret scolaire ne sert à rien.**

**FAUX.** Les jurys le consultent systématiquement, et relèvent (un peu) votre note si l'écart constaté entre vos performances de l'année scolaire et celles de l'épreuve est trop important. En revanche, jamais ils ne baissent la note.

■ **La décision du jury est définitive.**

**VRAI.** Vous avez le droit de demander à consulter vos copies corrigées, jusqu'à un an après la tenue du jury. Mais le jury est souverain, et rien ne peut remettre en cause sa décision.

## DÉFINITION DE L'ÉPREUVE

**Durée de l'épreuve : 3 h 30**

**Coefficient 6 (ou 8 si spécialité Physique-Chimie)**

- Un seul sujet est proposé

Il comporte 3 exercices :

- 2 exercices, communs à tous les candidats notés globalement sur 12 points.
- un troisième exercice, noté sur 4 points, qui diffère suivant que le candidat ait choisi ou non la spécialité physique-chimie.

Cependant ce troisième exercice est de même nature pour tous les candidats (il est soit physique, soit chimie pour tous).

Sur ces 3 exercices il y a toujours au moins un exercice de physique et au moins un de chimie.

L'ensemble de ces 3 exercices est donc noté sur 16 points, au demi-point près.

La note globale de l'épreuve de Physique-Chimie est obtenue en rajoutant la note obtenue lors de **l'épreuve d'évaluation des capacités expérimentales en physique-chimie**. Cette note est aussi au demi-point.

Remarque : la note globale de l'épreuve de Physique-Chimie est une note entière.

Dans le cas où la somme des 2 notes la composant est une note demi entière elle est systématiquement arrondie à la note entière supérieure.

Exemple : vous avez 12,5/16 à l'épreuve écrite et 3/4 à l'épreuve d'évaluation des capacités expérimentales. La note globale est 15,5/20 arrondie à 16/20.

Remarque pour tous les candidats qui n'ont pas pu passer, avec un motif valable, l'épreuve d'évaluation des capacités expérimentales, la note sur 16 est transformée en une note sur 20, arrondie en note entière.

## CONSEILS PRATIQUES

### 1. L'organisation du temps

La durée de l'épreuve est de 3 h 30 soit 210 min.

Prendre **10 min** pour lire attentivement le sujet **en entier**.

Puis choisir dans quel ordre vous allez résoudre les 3 exercices : commencez par celui qui vous paraît le plus facile.

Un bon truc : prévoyez environ **10 min par point**. Par exemple on consacrerait 50 min pour un exercice noté sur 5 points.

Évitez en tout cas de rester 2 heures ou plus sur un exercice : c'est l'affolement garanti pour faire les deux autres !

Une astuce : faites chaque exercice sur une copie double : ainsi, si vous devez recommencer un exercice, cela n'interviendra pas sur les autres.

Enfin prévoyez 10 minutes pour relire votre copie.

## 2. Présentation de la copie

Inutile de recopier l'énoncé.

Écrivez lisiblement : si vous écrivez mal, écrivez au moins assez gros (pas de « pattes de mouches ») et assez aéré.

Employez strictement les notations de l'énoncé : ne les changez pas.

Si vous introduisez de nouvelles notations, pensez à bien les définir. Faites des schémas clairs et grands, évitez le format « timbre-poste ».

## 3. Résultats et applications numériques

Faites un calcul littéral.

Pour l'application numérique, n'oubliez pas les unités. (L'absence des unités enlève au minimum la moitié et parfois tous les points prévus pour l'application numérique.)

Faites attention au nombre de chiffres significatifs : un résultat n'est jamais plus précis que les données.

## 4. À la fin de l'épreuve

Une fois que vous avez relu votre copie, classer dans l'ordre vos différentes copies et numérotez-les.

Faites attention à ne pas oublier de rendre une copie !

# L'ORAL DE RATTRAPAGE

Vous avez entre 8 et 10 de moyenne : les oraux de rattrapage sont pour vous. Pas de panique : s'ils vous ont offert cette chance – car c'en est une – c'est avant tout parce que les examinateurs estiment que vous n'aurez pas besoin d'une année supplémentaire pour décrocher votre diplôme... Le tout est d'adopter la bonne stratégie.

**Quelles matières choisir ?** Vous ne pourrez en rattraper que deux. Autant bien les choisir pour gagner un maximum de points ! Repasser la matière dans laquelle vous excellez n'est pas un bon calcul. Au contraire, choisissez les matières qui ont le plus fort coefficient, et dans lesquelles vous avez obtenu de mauvaises notes. En partant de 5/20 en mathématiques, par exemple, vous pouvez rattraper pas mal de points...

**Comment se préparer à l'oral ?** Dès la sortie de l'épreuve écrite, vous devez savoir si vous avez réussi ou non. N'attendez pas votre relevé de notes pour commencer à relire votre cours : il ne s'écoule que deux à dix jours entre la réception des résultats et les épreuves orales...

## DÉFINITION DE L'ÉPREUVE

En Physique-Chimie, l'épreuve se passe en principe dans une salle où il doit y avoir du matériel de physique-chimie (même si c'est en faible quantité).

L'examineur vous fera en principe tirer un sujet au sort : ce sujet consiste en général en un exercice de physique ou de chimie.

Vous aurez environ vingt minutes pour préparer cet exercice et ensuite l'interrogation orale durera environ vingt minutes.

## CONSEILS PRATIQUES

L'examineur appréciera la manière dont vous résolvez votre exercice et pourra vous poser des questions portant sur l'ensemble du programme de physique-chimie.

Comme vous aurez en général 48 heures entre l'annonce de votre passage au deuxième groupe d'épreuves et l'épreuve orale, vous n'aurez pas le temps de faire des révisions approfondies.

Le mieux est de revoir son cours, en particulier les points sur lesquels vous êtes le moins assurés et de ne pas passer une nuit blanche avant de l'épreuve !

Gardez à l'esprit qu'une grande fatigue ajoutée au stress est la meilleure manière d'échouer à cette épreuve orale.



# L'ÉPREUVE DE TP

## *Évaluation des capacités expérimentales en Physique-Chimie*

Cette épreuve, notée sur 4 points, dure 1 heure.

Vous la passez individuellement dans votre lycée. L'examineur est en général un professeur de votre lycée, mais ce ne peut pas être votre professeur de Terminale.

Vous tirez au sort un sujet de physique ou de chimie.

Cette épreuve se réalise avec le matériel du lycée, matériel que vous avez l'habitude d'utiliser en Travaux Pratiques.

Cette épreuve permet de vérifier si vous avez acquis les compétences ci-après.

## **A. COMPÉTENCES GÉNÉRALES**

### **1. Compétences expérimentales**

- Formuler une hypothèse sur un événement susceptible de se produire ou sur un paramètre pouvant influencer un phénomène
- Proposer une expérience susceptible de valider ou d'invalidier une hypothèse ou répondant à un objectif précis – Choisir et justifier l'utilisation du matériel de laboratoire
- Décrire une expérience, un phénomène
- Analyser les résultats expérimentaux et les confronter aux prévisions d'un modèle

### **2. Compétences manipulatoires**

- Reconnaître et nommer le matériel de laboratoire
- Suivre un protocole et utiliser le matériel prescrit
- Respecter les règles de sécurité élémentaires pour l'utilisation du matériel et des produits
- Faire le schéma d'un montage expérimental
- Réaliser un montage à partir d'un schéma ou d'un protocole

### **3. Compétences scientifiques**

- Identifier les paramètres jouant un rôle dans un phénomène physique ou chimique
- Associer un modèle à un phénomène
- Élaborer une argumentation, une démarche scientifique
- Discuter la pertinence, la cohérence et la logique d'une argumentation scientifique
- Utiliser des unités adaptées
- Utiliser l'analyse dimensionnelle
- Évaluer l'ordre de grandeur d'un résultat
- S'interroger sur la vraisemblance d'un résultat
- Utiliser un vocabulaire scientifique adapté
- Analyser, en termes scientifiques, une situation, une expérience, un document
- Construire une courbe à partir d'un ensemble de mesures et l'exploiter
- Savoir exploiter une courbe

## 4. Compétences transversales

- Utiliser un axe orienté et des mesures algébriques
- Utiliser les vecteurs et les opérations correspondantes (coordonnées, addition, produit scalaire)
- Utiliser les fonctions du programme de mathématiques
- Conduire un calcul de dérivée, de primitive et d'intégrale
- Utiliser la notion d'équation différentielle
- Utiliser les notions de statistique et de probabilité du programme de mathématiques
- Exploiter un tableau de valeurs
- Utiliser l'ordinateur pour acquérir et/ou traiter des données expérimentales
- Effectuer une recherche documentaire et savoir trier les informations selon des critères pertinents
- S'interroger sur la crédibilité d'une information
- Produire un document en utilisant les technologies de l'information et de la communication

## B. COMPÉTENCES EN PHYSIQUE

### 1. Connaissance des protocoles suivants :

- mesure :
  - d'un angle ;
  - d'une masse ;
  - d'une distance ;
  - d'une durée ;
  - d'une fréquence (fréquencemètre, stroboscope) ;
  - d'une intensité ;
  - d'une tension.
- mesure d'un retard ou d'une distance lors de la propagation d'une onde ;
- mise en évidence du phénomène de diffraction ;
- comptages relatifs à une désintégration radioactive ;
- repérage des tensions observables simultanément dans un circuit à l'aide d'un oscilloscope (en mode normal ou en mode mémoire) ou d'un système d'acquisition informatisé ;
- visualisation et détermination des caractéristiques d'une tension à l'aide d'un oscilloscope (en mode normal ou en mode mémoire) ou d'un système d'acquisition informatisé ;
- visualisation de l'image d'une intensité à l'aide d'un oscilloscope (en mode normal ou en mode mémoire) ou d'un système d'acquisition informatisé ;
- visualisation de deux tensions simultanément à l'aide d'un oscilloscope (en mode normal ou en mode mémoire) ou d'un système d'acquisition informatisé ;
- enregistrement et/ou exploitation d'un mouvement (vidéo, table à digitaliser, système à étincelage...) ;
- réalisation, à partir du schéma, d'un montage :
  - d'électricité ;

- de mécanique ;
- d'optique ;
- d'acoustique ;
- d'optoélectronique.

## 2. Connaissance des réglages des appareils ou des dispositifs suivants :

- réglage d'une cuve à ondes :
  - horizontalité ;
  - épaisseur d'eau ;
  - éclairage ;
  - fréquence de la source.
- réglage d'un oscilloscope :
  - mode balayage ;
  - finesse du trait ;
  - réglage du « zéro » ;
  - choix de la sensibilité verticale ;
  - choix d'une base de temps ;
- sélection des voies.
- réglage d'un G.B.F. :
  - fréquence ;
  - amplitude ;
  - forme du signal ;
  - tension de décalage.
- réglage d'un oscillateur mécanique ;
- réglage d'un montage sur banc d'optique :
  - alignement ;
  - netteté de l'image sur un écran.

## C. COMPÉTENCES EN CHIMIE

### Connaissance des protocoles suivants

- dilution
- mesure :
  - d'une température ;
  - d'un volume ;
  - d'une durée ;
  - d'une absorbance ;
  - d'une masse ;
  - d'une pression ;
  - d'un pH ;
  - d'une conductance ou d'une conductivité ;
    - de l'intensité d'un courant ;
    - d'une force électromotrice.
- dosage ;
- réalisation d'une pile ;
- réalisation d'une électrolyse ;
- chauffages simple et à reflux ;
- filtrations simple et sous vide ;
- chromatographie sur couche mince ;
- identification d'une espèce chimique par chromatographie ;
- séparation de deux phases liquides non miscibles ;
- distillation ;
- lavage d'une phase organique ;
- séchage d'une phase organique liquide ;
- extraction liquide/liquide ;
- séchage d'un solide ;
- cristallisation ;
- recristallisation.

## D. REMARQUES

Lors de cette épreuve, il faut apporter un soin particulier aux consignes de sécurité, avoir une paillasse ordonnée et remplir au fur et à mesure la fiche réponse, et de ne pas oublier d'appeler le professeur chaque fois que le protocole proposé l'exige.

## **Exemple de sujet complet**



**Exercice 1 (*obligatoire*) [4 pts]**

- Réaction acide/base
- Tableau d'avancement
- Choix d'un indicateur coloré
- Groupes caractéristiques

**Exercice 1 (*spécialité*) [4 pts]**

- Dosage spectrophotométriques
- Dilutions
- Formule d'une espèce chimique hydratée

**Exercice 2 [7 pts]**

- Modélisation d'une pile
- Constante de temps
- Équation différentielle caractéristique

**Exercice 3 [5 pts]**

- Composition d'un noyau
- Défaut de masse
- Radioactivité  $\alpha$
- Isotopie
- Radioactivité  $\beta$
- Demi-vie
- Activité

**EXERCICE 1** (*Obligatoire*)**> ÉTUDE DE LA VITAMINE C**

L'acide ascorbique, couramment dénommé vitamine C, est un réducteur naturel que l'on qualifie usuellement d'antioxydant. On le trouve dans de nombreux fruits et légumes. Une carence prolongée en vitamine C favorise le scorbut. On a montré que la vitamine C peut prévenir des petits maux quotidiens tels que le rhume ainsi qu'aider dans le traitement de certains cancers.

En pharmacie il est possible de trouver l'acide ascorbique, par exemple sous forme de comprimés « de vitamine C 500 ».

## I – Étude de la réaction entre une solution aqueuse d'acide ascorbique et une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium (ou soude)

Pour simplifier, l'acide ascorbique, de formule brute  $C_6H_8O_6$ , sera désigné par HA dans la suite de l'exercice.

Dans cette étude, on envisage la réaction très rapide entre une solution aqueuse d'acide ascorbique de concentration molaire en soluté apporté  $C_A = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  et une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium de concentration molaire en soluté apporté  $C_B = 2,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

Le volume initial de la solution aqueuse d'acide ascorbique est  $V_A = 20,0 \text{ mL}$  et on note  $V_B$  le volume de la solution aqueuse d'hydroxyde de sodium versée.

1. Écrire l'équation traduisant cette réaction. [0,25 pt]

2. On étudie le mélange, à  $25^\circ \text{C}$ , lorsque l'on a versé  $V_B = 5,0 \text{ mL}$  de solution aqueuse d'hydroxyde de sodium.

a. Le pH du mélange est alors égal à 4,0. En déduire la concentration en ions oxonium  $H_3O^+$  dans ce mélange. [0,25 pt]

b. Calculer la concentration en ions hydroxyde dans ce mélange. En déduire la quantité  $n_f(HO^-)$  d'ions hydroxyde présents à l'état final dans ce mélange.

Donnée : le produit ionique de l'eau à  $25^\circ \text{C}$  :  $K_e = 1,0 \times 10^{-14}$ . [0,25 pt]

c. Compléter le tableau 1 ci-après (à rendre avec la copie) : tableau descriptif de la réaction chimique entre l'acide ascorbique et les ions hydroxyde. En déduire la valeur numérique de l'avancement final  $x_f$ . [0,5 pt]

Tableau 1

| équation de la réaction |                   | HA + ..... = ..... + ..... |  |  |  |
|-------------------------|-------------------|----------------------------|--|--|--|
| état du système         | avancement en mol | quantité de matière en mol |  |  |  |
| état initial            | 0                 | $n_0(HA) =$                |  |  |  |
| état final              | $x_f$             | $n_f(HA) =$                |  |  |  |

d. La transformation est-elle totale ? La réaction associée à cette transformation peut-elle servir de support au dosage d'une solution aqueuse d'acide ascorbique par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ? [0,5 pt]

## II – Dosage colorimétrique d'un comprimé de vitamine C

On écrase un comprimé de « vitamine C 500 » dans un mortier. On dissout la poudre dans un peu d'eau distillée et l'on introduit l'ensemble dans une fiole jaugée de 100,0 mL ; on complète avec de l'eau distillée. Après homogénéisation, on obtient la solution S.

On prélève un volume  $V_A = 10,0$  mL de la solution S que l'on dose avec une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium de concentration molaire en soluté apporté  $C_B = 2,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  en présence d'un indicateur coloré convenablement choisi. L'équivalence est obtenue pour un volume de solution aqueuse d'hydroxyde de sodium  $V_{BE} = 14,4$  mL.

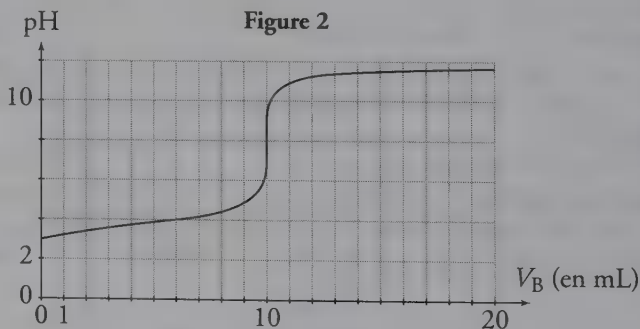
1. Représenter un schéma annoté du dispositif pour réaliser ce titrage.

[0,25 pt]

2. Quel indicateur coloré doit-on choisir parmi les trois proposés ci-après ? On pourra s'aider de la courbe  $\text{pH} = f(V_B)$  donnée sur la figure 2 ci-après (à rendre avec la copie) pour justifier la réponse à cette question.

[0,25 pt]

Cette courbe a été obtenue à partir d'un logiciel de simulation, indépendamment des quantités dosées dans l'exercice.



Évolution du pH au cours de la réaction entre un volume  $V_A = 20,0$  mL de solution aqueuse d'acide ascorbique de concentration molaire en soluté apporté  $1,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  et un volume  $V_B$  de solution aqueuse de soude de concentration molaire en soluté apporté  $2,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

On donne la zone de virage de quelques indicateurs colorés :

| indicateur coloré   | zone de virage |
|---------------------|----------------|
| rouge de méthyle    | 4,2 – 6,2      |
| bleu de bromophénol | 3,0 – 4,6      |
| rouge de crésol     | 7,2 – 8,8      |

3. Définir l'équivalence.

[0,25 pt]

4. Calculer la quantité d'acide ascorbique dans les 10,0 mL de solution titrée en utilisant les données introductives de la question 2.

[0,5 pt]

5. En déduire la masse  $m$ , en mg, d'acide ascorbique contenu dans un comprimé.

Expliquer l'indication du fabricant « vitamine C 500 ».

[0,5 pt]

Données : les masses molaires atomiques en  $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$  :

$M(\text{C}) = 12,0$  ;  $M(\text{H}) = 1,0$  ;  $M(\text{O}) = 16,0$ .

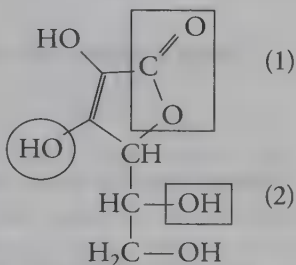
### III – Étude de la molécule de l'acide ascorbique

La formule semi-développée de l'acide ascorbique est la suivante :

Les propriétés acido-basiques de cette molécule sont dues à l'hydrogène du groupe caractéristique (ou fonctionnel) entouré par un cercle. Cette molécule possède d'autres groupes caractéristiques.

À quelle famille de composés correspondent respectivement les groupes caractéristiques (ou fonctionnels) encadrés dans la formule de l'acide ascorbique et notés (1) et (2) ?

[0,5 pt]



## EXERCICE 1

(Spécialité)

### > ÉTUDE D'UN MÉDICAMENT

Le fer est un élément vital... et toxique pour la santé. Il intervient dans de nombreuses réactions biochimiques et permet, notamment, le transport de l'oxygène par l'hémoglobine des globules rouges.

Cet exercice concerne l'étude d'un médicament qui contient l'élément fer sous forme d'ions fer (II) :  $\text{Fe}^{2+}$ . Il se présente sous forme de comprimés, dont l'enrobage contient un colorant alimentaire (code E 127) de couleur rose. La notice de ce médicament mentionne la composition quantitative d'un comprimé : « sulfate ferreux sesquihydraté : 256,30 mg soit 80 mg en ions  $\text{Fe}^{2+}$  ». Nous proposons de vérifier la teneur en élément fer dans ce comprimé.

### I – Principe

On effectue un dosage spectrophotométrique des ions  $\text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})}$  contenus dans un comprimé dissous dans l'eau.



En présence d'o-phénanthroline, les ions  $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$  réagissent avec apparition d'une coloration rouge. La concentration des ions  $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$  de cette solution peut alors être déterminée par la mesure de son absorbance à une certaine longueur d'onde (ici 500 nm). Il faut préalablement réaliser une échelle de teintes. Les ions  $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$  sont facilement oxydés à l'état d'ions fer (III) :  $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{3+}$ . Afin d'éviter cette oxydation, on ajoute, dans la solution d'ions  $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$ , un réducteur approprié en excès, l'hydroquinone. L'hydroquinone restante n'absorbe pas à la longueur d'onde de 500 nm et la forme oxydée de l'hydroquinone non plus.

Écrire la demi-équation de réduction de l'ion  $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{3+}$  en ion  $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$ . [0,25 pt]

## II – Préparation de l'échelle de teintes

À partir d'une solution S contenant 20,0 mg d'ions  $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$  par litre (soit une concentration massique  $t = 20,0 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ), on réalise les mélanges présentés dans le tableau, on les complète à 50,0 mL avec de l'eau distillée puis on mesure l'absorbance A de chaque solution obtenue.

| mélange n°                                    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
|-----------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| volume de solution S (en mL)                  | 25,0 | 22,5 | 20,0 | 17,5 | 15,0 | 12,5 |
| volume de solution d'o-phénanthroline (en mL) | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 |
| volume d'hydroquinone (en mL)                 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| volume total (en mL)                          | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 |
| absorbance                                    | 1,80 | 1,60 | 1,45 | 1,25 | 1,05 | 0,90 |

Pour réaliser les différents mélanges, on dispose :

- d'une solution d'o-phénanthroline à  $0,015 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  ;
- d'une solution d'hydroquinone à 1 % ;
- de la verrerie suivante :
  - pipettes jaugées de 1,00 et 2,00 mL ;
  - burette graduée de 25,0 mL ;
  - éprouvettes graduées de 25 et 50 mL ;
  - béchers de 25, 50 et 100 mL ;
  - fioles jaugées de 50,0 et 100,0 mL.

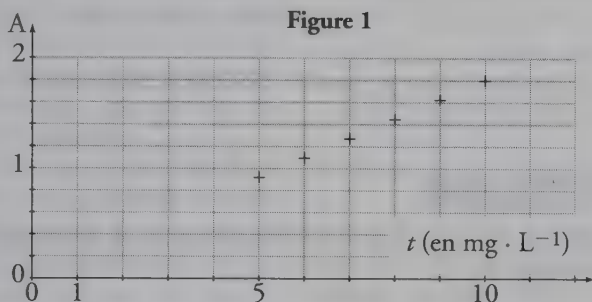
1. Indiquer la verrerie qu'il faut utiliser pour préparer le mélange n° 1. [0,5 pt]

2. Calculer la concentration massique  $t_1$  en ion  $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$  introduit dans le mélange n° 1. [0,5 pt]

3. On veut disposer d'une échelle de teintes indicatrice de la concentration en ions  $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$  de chaque mélange.

Pourquoi la solution incolore d'o-phénanthroline ne doit-elle pas être introduite en défaut ? [0,25 pt]

4. Le graphe donnant l'évolution de l'absorbance  $A$  en fonction de la concentration massique  $t$  en ions  $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$  est représentée sur la figure 1 ci-après (à rendre avec la copie). [0,5 pt]



En exploitant ce graphe, donner la relation numérique qui existe entre les grandeurs  $A$  et  $t$ , en précisant les unités.

### III – Détermination expérimentale de la teneur en élément fer

On lave rapidement à l'eau distillée un comprimé de façon à retirer la totalité du colorant. On écrase ensuite ce comprimé dans un mortier. La totalité du comprimé écrasé est introduite dans une fiole jaugée de 1 000,0 mL. On complète avec de l'eau distillée et on agite longuement la solution. Soit  $S_0$  la solution incolore obtenue. On réalise ensuite le mélange suivant puis on mesure son absorbance  $A$  à 500 nm :

|                                               |             |
|-----------------------------------------------|-------------|
| volume de solution $S_0$ (en mL)              | 5,00        |
| volume de solution d'o-phénanthroline (en mL) | 2,00        |
| volume d'hydroquinone (en mL)                 | 1,00        |
| volume total (en mL)                          | 50,0        |
| <b>absorbance</b>                             | <b>1,35</b> |

1. Pourquoi retire-t-on la totalité du colorant avant d'écraser le comprimé ? [0,25 pt]

2. En utilisant le graphe ou la relation établie à la question II.4., déterminer la concentration massique  $t'_0$  en ion  $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$  dans le mélange.

En déduire la valeur  $t_0$  de la concentration massique en ion  $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$  dans la solution  $S_0$ . [0,5 pt]

3. Calculer la masse d'ions  $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$  contenue dans un comprimé. Calculer l'écart relatif entre le résultat expérimental et l'indication du fabricant.

On précise que l'écart relatif =  $\frac{| \text{valeur indiquée} - \text{valeur expérimentale} |}{\text{valeur indiquée}}$

[0,5 pt]

4. D'après la notice, la masse de « sulfate ferreux sesquihydraté » dans un comprimé est de 256,30 mg alors que la masse d'ions  $\text{Fe}^{2+}$  est de 80 mg. En notant  $\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  la formule du sulfate ferreux sesquihydraté, montrer que  $x = 1,5$ .

[0,75 pt]

Données : masse molaire en  $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$  :  $M(\text{Fe}) = 55,8$  ;  $M(\text{S}) = 32,1$  ;  $M(\text{O}) = 16,0$  ;  $M(\text{H}) = 1,0$ .

## EXERCICE 2

### > CHARGE D'UN CONDENSATEUR À L'AIDE D'UNE PILE

#### I – Réalisation de la pile

On souhaite réaliser une pile au laboratoire. Pour cela, on dispose d'une lame de zinc et d'une lame de cuivre ainsi que d'un volume  $V_1 = 100 \text{ mL}$  d'une solution aqueuse de sulfate de zinc de concentration molaire en soluté apporté  $C_1 = 1,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  et d'un volume  $V_2 = 100 \text{ mL}$  d'une solution aqueuse de sulfate de cuivre de concentration molaire en soluté apporté  $C_2 = 1,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  et d'un pont salin. L'expérience est réalisée à la température de  $25^\circ\text{C}$ . À cette température, la constante d'équilibre associée à l'équation :  $\text{Cu}_{(\text{aq})}^{2+} + \text{Zn}_{(\text{s})} = \text{Zn}_{(\text{aq})}^{2+} + \text{Cu}_{(\text{s})}$  est  $K = 4,6 \times 10^{36}$ .

La pile ainsi réalisée est placée dans un circuit électrique comportant une résistance et un interrupteur. On ferme ce circuit électrique à l'instant de date  $t_0 = 0 \text{ s}$ .

1. Faire un schéma légendé de cette pile. Compléter le schéma avec la résistance et l'interrupteur.

[0,5 pt]

2. Déterminer le quotient de réaction  $Q_r$  du système ainsi constitué à l'instant de date  $t_0$ . En déduire le sens d'évolution spontanée du système.

[0,75 pt]

3. Pour chaque électrode, écrire la demi-équation correspondant au couple qui intervient.

[0,5 pt]

4. En déduire, en justifiant la réponse, à quel métal correspond le pôle + de la pile et à quel métal correspond le pôle - .

[0,5 pt]

5. D'après la théorie, on considère que la pile s'arrête de fonctionner quand le réactif limitant, constitué soit par les ions  $\text{Cu}^{2+}$ , soit par les ions  $\text{Zn}^{2+}$ , a été complètement consommé. En utilisant l'équation de la réaction se produisant à l'une des électrodes, calculer la quantité maximale d'électricité que pourrait théoriquement débiter cette pile.

[0,75 pt]

On donne la constante d'Avogadro  $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ , la charge électrique élémentaire  $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ .

## II – Charge d'un condensateur

On réalise un circuit électrique en montant en série la pile étudiée précédemment, un condensateur de capacité  $C = 330 \mu\text{F}$  et un interrupteur K. Le schéma est représenté ci-contre :

Pour visualiser l'évolution de la tension  $u_C$  aux bornes du condensateur en fonction du temps, on

utilise un dispositif d'acquisition comme un oscilloscope à mémoire ou un ordinateur avec une interface. À l'instant de date  $t_0 = 0 \text{ s}$  on ferme l'interrupteur K et on obtient l'enregistrement  $u_C = f(t)$  présenté sur la figure 3 ci-après (à rendre avec la copie).

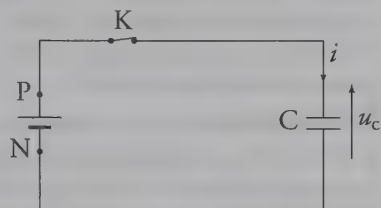


Schéma 1

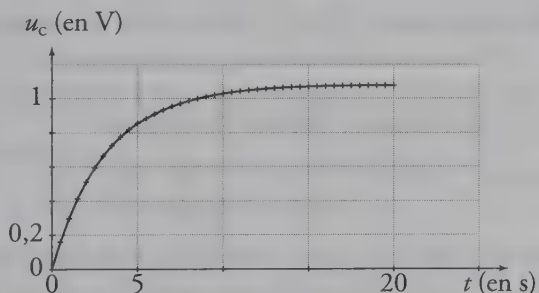


Figure 3

Pour interpréter cette courbe, on modélise la pile par l'association en série d'une résistance  $r$  et d'un générateur idéal de tension de force électromotrice  $E$ .

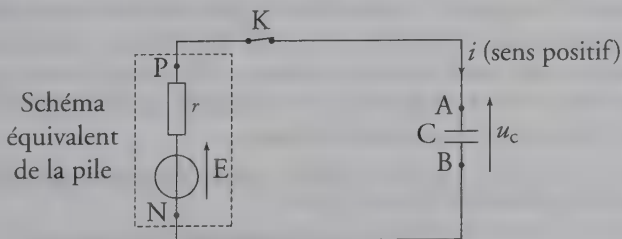


Schéma 2

1. À l'instant de date  $t_1 = 20 \text{ s}$ , on considère que le condensateur est chargé complètement.

Quelle est la valeur de l'intensité du courant qui circule alors dans le circuit ?

La force électromotrice  $E$  est la valeur de la tension aux bornes de la pile lorsqu'elle ne débite pas de courant.

À partir de l'enregistrement  $u_c = f(t)$  sur la figure 3 (à rendre avec la copie), donner la valeur de  $E$ . [0,5 pt]

## 2. Détermination de la résistance interne de la pile

a. Donner l'expression littérale de la constante de temps  $\tau$ . Justifier que cette grandeur est de même dimension qu'une durée. [0,75 pt]

b. Déterminer graphiquement la valeur de  $\tau$ , par la méthode de votre choix qui apparaîtra sur la figure 3 (à rendre avec la copie). [0,5 pt]

c. En déduire la valeur de la résistance interne  $r$  de la pile. [0,25 pt]

## 3. Expression de $u_c(t)$

a. En respectant l'orientation du circuit indiquée sur le schéma 2, donner la relation entre l'intensité  $i$  du courant et la charge  $q$  portée par l'armature A. [0,25 pt]

b. Donner la relation entre la charge  $q$  et la tension  $u_c$  aux bornes du condensateur. [0,25 pt]

c. Montrer qu'à partir de l'instant de date  $t_0$  où l'on ferme l'interrupteur, la tension  $u_c$  vérifie l'équation différentielle suivante :

$$E = u_c + r \cdot C \cdot \frac{du_c}{dt}. \quad \text{[0,75 pt]}$$

d. La solution générale de cette équation différentielle est de la forme :  $u_c(t) = E(1 - e^{-\alpha \cdot t})$ . En déduire l'expression littérale de  $\alpha$ . [0,75 pt]

## EXERCICE 3

### > AUTOUR DU RADIUM

Cet exercice comporte 10 affirmations indépendantes concernant les transformations radioactives. Toute réponse doit être accompagnée de justifications ou de commentaires. À chaque affirmation, vous répondrez donc par **vrai** ou **faux**, en justifiant votre choix à l'aide de définitions, de calculs, d'équations de réactions nucléaires, ...

À la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, Pierre et Marie Curie découvrent deux éléments chimiques : le polonium puis le radium.

Marie Curie obtient en 1903 le prix Nobel de physique et, en 1911, celui de chimie.



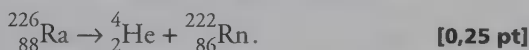
Le radium  $^{226}_{88}\text{Ra}$  se désintègre spontanément en émettant une particule  $\alpha$ . Le noyau fils est un isotope du radon (Rn). Le radon est un gaz dans les conditions ordinaires de température et de pression.

Le  $^{228}_{88}\text{Ra}$  est radioactif  $\beta^-$ .

**1. Affirmation :** Le noyau de polonium noté  $^{208}_{84}\text{Po}$  est composé de 84 neutrons et 124 protons. **[0,5 pt]**

**2. Affirmation :** La masse d'un noyau de radium est égale à la somme des masses de ses nucléons. **[0,25 pt]**

**3. Affirmation :** L'équation de désintégration du radium est :



**4. Affirmation :** Le radium  $^{226}_{88}\text{Ra}$  et le radon  $^{226}_{86}\text{Rn}$  sont isotopes. **[0,25 pt]**

**5. Affirmation :** Puisque le radium  $^{228}\text{Ra}$  est radioactif  $\beta^-$ , son noyau fils est donc un noyau de francium. **[0,5 pt]**

**6. La demi-vie du radon  $^{222}_{86}\text{Rn}$  est 3,8 jours.**

**Affirmation :** Au bout de 11,4 jours, le pourcentage de noyaux de radon  $^{222}_{86}\text{Rn}$  restant par rapport au nombre initial est de 12,5 %. **[0,5 pt]**

**7. Le noyau de radium  $^{226}_{88}\text{Ra}$  est obtenu à partir d'une suite de désintégrations radioactives  $\alpha$  et  $\beta^-$  du noyau d'uranium  $^{238}_{92}\text{U}$ .**

**Affirmation :** Au cours de ces désintégrations successives deux particules  $\alpha$  et trois électrons sont émis. **[0,75 pt]**

**8. Un échantillon de « radium 226 » a une activité de  $6,0 \times 10^5$  Bq.**

**Affirmation :**  $2,0 \times 10^4$  noyaux de radium  $^{226}_{88}\text{Ra}$  se sont désintégrés en une minute. **[0,5 pt]**

**9. Affirmation :** L'énergie libérée par la réaction  $^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^{222}_{86}\text{Rn}$  est égale à 8 MeV. **[0,75 pt]**

**10. La teneur en radon  $^{222}\text{Rn}$  dans les gaz du sol a été déterminée en mesurant une activité de  $3,75 \times 10^3$  Bq par  $\text{m}^3$  de gaz prélevé. La constante radioactive  $\lambda$  du radon  $^{222}\text{Rn}$  est  $2,10 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ .**

**Affirmation :** La quantité de matière en radon  $^{222}\text{Rn}$  dans  $1 \text{ m}^3$  responsable de cette activité est d'environ  $3 \times 10^{-15} \text{ mol}$ . **[0,75 pt]**

*Données :*

L'activité  $A$  d'un échantillon radioactif est le nombre de désintégrations

qu'il produit par seconde soit  $A(t) = \frac{|\Delta N(t)|}{\Delta t}$ .

À un instant de date  $t$ ,  $A$  est proportionnelle au nombre  $N(t)$  de noyaux radioactifs contenus dans l'échantillon à cet instant et à la constante de radioactivité  $\lambda$  :  $A(t) = \frac{|\Delta N(t)|}{\Delta t} = \lambda \times N(t)$ .

La particule  $\alpha$  est un noyau d'hélium noté  ${}^4_2\text{He}$ .

Célérité de la lumière dans le vide  $c = 2,998 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

$1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$ .

$1 \text{ an} = 3,156 \times 10^7 \text{ s}$ .

Constante d'Avogadro  $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

| éléments     | symbole | numéro atomique Z |
|--------------|---------|-------------------|
| radon        | Rn      | 86                |
| francium     | Fr      | 87                |
| radium       | Ra      | 88                |
| actinium     | Ac      | 89                |
| thorium      | Th      | 90                |
| protactinium | Pa      | 91                |

| entités                   | masse en kg                  |
|---------------------------|------------------------------|
| neutron                   | $1,674\,927 \times 10^{-27}$ |
| proton                    | $1,672\,621 \times 10^{-27}$ |
| noyau ${}^4_2\text{He}$   | $6,644\,65 \times 10^{-27}$  |
| noyau ${}^{226}\text{Ra}$ | $3,752\,438 \times 10^{-25}$ |
| noyau ${}^{222}\text{Rn}$ | $3,685\,904 \times 10^{-25}$ |

# Physique

# Enseignement Obligatoire

## PROPAGATION D'UNE ONDE ; ONDES PROGRESSIVES

(Ministère) / 5 points

2

### ONDES ULTRASONORES

- Ultrasons dans l'air
- Diffraction
- Principe du sonar

#### Calculatrice autorisée

On étudie dans cet exercice différents phénomènes liés à la propagation des ultrasons. Dans la première partie, les expériences sont réalisées dans l'air ; dans la seconde partie, on s'intéresse au principe du sonar, le milieu de propagation étant l'eau. On peut décrire sommairement le principe de fonctionnement de l'ensemble émetteur-récepteur d'ultrasons de la manière suivante : l'émetteur contient une plaquette de céramique qui est mise en vibration par application d'une tension électrique sinusoïdale. Les vibrations de la plaquette sont communiquées au fluide qui l'entoure et engendrent une onde ultrasonore sinusoïdale de fréquence identique à celle de la tension imposée à l'émetteur.

Le récepteur est constitué, comme l'émetteur, d'une plaquette de céramique réceptrice qui détecte l'onde ultrasonore venant de l'émetteur. La tension électrique qui apparaît aux bornes du récepteur est de même fréquence que l'onde détectée. Cette tension est proportionnelle à la pression exercée par le fluide (ici l'air ou l'eau) sur la plaquette réceptrice.

#### I. Ultrasons dans l'air

*Données numériques :*

Valeur de la célérité des ultrasons dans l'air à 25 °C :  $v_{\text{air}} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

La fréquence  $f$  de l'émetteur est réglée à la valeur 40 kHz, on utilise cette source dans l'air à 25 °C.

1. Déterminer la longueur d'onde  $\lambda$  de l'onde ultrasonore générée. **[0,5 pt]**

2. La source est disposée à une distance  $d$  du récepteur lui faisant face. Déterminer le retard avec lequel les vibrations de la source sont transmises au récepteur.

Calculer ce retard pour une distance  $d = 50$  cm.

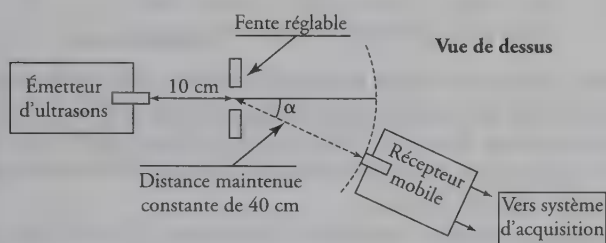
[0,75 pt]

3. Avec quel instrument de mesure ce retard peut-il être correctement évalué ? Justifier la réponse.

[0,25 pt]

4. Face à la source ultrasonore, réglée comme précédemment, on place à 10 cm une plaque de métal trouée d'une fente rectangulaire verticale de largeur réglable, disposée selon le schéma ci-dessous.

On déplace le récepteur en le maintenant à une distance constante de 40 cm de la fente.



Un système d'acquisition permet de mesurer la tension aux bornes du récepteur. On repère la valeur de l'angle  $\alpha$  correspondant aux maxima et aux minima d'amplitude successifs de la tension sinusoïdale mesurée.

Les résultats obtenus pour une largeur de fente égale à 40 mm sont consignés dans le tableau ci-dessous :

| Angle $\alpha$ en degrés                    | 0       | 12      | 18      | 25      |
|---------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Amplitude de la tension sinusoïdale mesurée | Maximum | Minimum | Maximum | Minimum |

a. Quel phénomène physique est mis en évidence par cette expérience ? La largeur de la fente a-t-elle une influence sur ce phénomène ?

[0,75 pt]

b. Tous les autres paramètres de l'expérience restant inchangés, la largeur de la fente est réduite à 20 mm.

Dans quel sens varie la valeur de l'angle d'observation du premier minimum ?

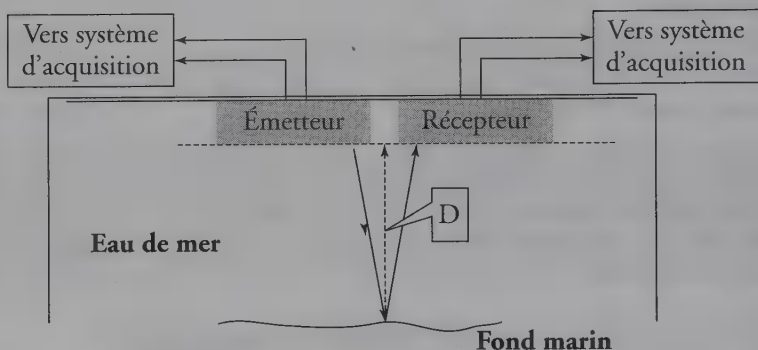
[0,5 pt]

## II. Principe du sonar

Le sonar est un dispositif émetteur-récepteur d'ondes ultrasonores qui, remorqué par un navire, permet d'obtenir des enregistrements donnant une image à deux dimensions des fonds marins.



Les dispositions de l'émetteur et du récepteur sont représentées schématiquement ci-dessous :



Les « rayons ultrasonores » qui matérialisent la direction et le sens de propagation de l'onde ultrasonore sont très peu inclinés par rapport à la verticale. On considérera donc que le trajet accompli par l'onde (de l'émetteur vers le fond marin puis, après réflexion, du fond marin vers le récepteur) se fait quasiment selon la verticale.

On utilise ici une tension sinusoïdale de fréquence  $f' = 20 \text{ kHz}$  pour alimenter l'émetteur, la longueur d'onde dans le milieu marin étant alors  $\lambda' = 7,5 \text{ cm}$ .

1. Calculer la célérité  $v_{\text{eau}}$  des ondes émises.

[0,25 pt]

2. L'onde n'est pas générée par l'émetteur en continu mais par trains d'ondes d'une durée de  $0,010 \text{ s}$  émis toutes les secondes.

Un système d'acquisition permet de visualiser la tension  $U_e$  aux bornes de l'émetteur en fonction du temps. On obtient la représentation suivante montrant deux trains d'ondes successifs  $S_0$  et  $S_1$  (figure 1).

Une visualisation de  $S_0$  est également proposée avec une échelle de temps plus petite afin de voir les détails du signal (figure 2).

Utiliser les données du texte précédent pour déterminer les durées  $T'$ ,  $T_1$  et  $T_2$  indiquées sur les schémas. Justifier, le cas échéant, par des calculs.

[0,75 pt]

3. On visualise maintenant une acquisition qui superpose la tension  $U_e$  aux bornes de l'émetteur (signaux  $S_0$ ,  $S_1$  ...) et la tension  $U_s$  aux bornes du récepteur (signaux  $e_0$ ,  $e_1$ ...). Les traces  $e_0$ ,  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $e_3$  matérialisent les différents échos détectés par le récepteur. (Voir Figure 3)

a. On appelle  $\Delta t$  le décalage de temps du premier écho  $e_0$  avec le déclenchement du premier signal électrique à  $t = 0 \text{ s}$ . La valeur de  $\Delta t$  est suffisamment faible pour que l'on considère l'ensemble émetteur-récepteur comme fixe par rapport au fond pendant cette durée. Calculer la profondeur  $D$  du fond marin en un lieu où  $\Delta t = 0,10 \text{ s}$ .

[0,5 pt]

b. Proposer une explication pour l'existence d'échos multiples à intervalles de temps réguliers. Pourquoi leur amplitude décroît-elle ? [0,75 pt]

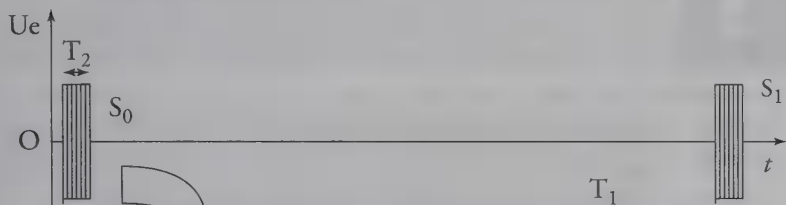


Figure 1

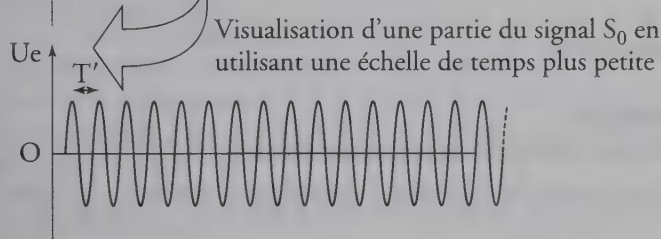


Figure 2

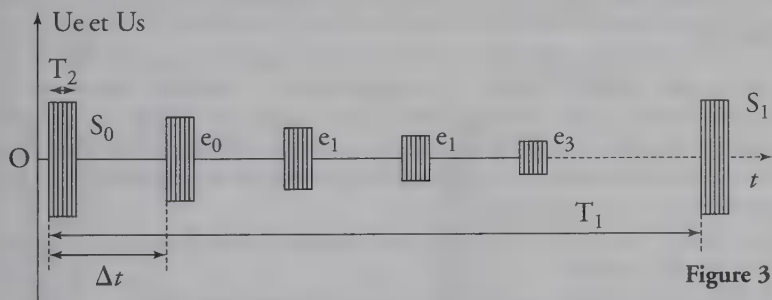


Figure 3

(Ministère) / 5 points

3

## ONDES SISMIQUES

- Caractéristiques d'une onde
- Célérité d'une onde
- Épicentre et foyer d'un séisme

Calculatrice autorisée

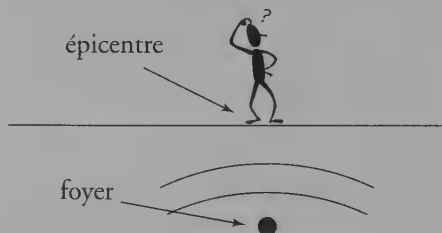
## &gt; DOCUMENT

Comment les ondes sismiques se propagent-elles ?

Quand la Terre tremble, les vibrations se propagent dans toutes les directions à partir du foyer du tremblement de terre situé dans les profondeurs de la couche terrestre. Les vibrations sont initialement de deux types : celles qui compriment et détendent alternativement les roches, à la manière d'un accordéon, et celles plus destructrices qui les cisailent. Les premières, les plus rapides (appelées ondes P), voyagent dans la croûte à une vitesse de 6 km/s environ, mais peuvent être ralenties dans les roches peu consolidées. Les secondes (appelées ondes S) sont, à cause des propriétés élastiques des roches, systématiquement deux fois plus lentes mais environ cinq fois plus fortes que les premières.

Ainsi, lors d'un séisme lointain, ayant ressenti l'onde P, on peut anticiper l'arrivée des ondes S.

Peut-on les distinguer quand un séisme a lieu sous nos pieds ?



Oui : les ondes P vibrent dans leur direction de propagation, elles soulèvent ou affaissent le sol, tandis que les ondes S vibrent perpendiculairement et nous secouent horizontalement.

Heureusement, lors de leur voyage à travers le sous-sol, les ondes perdent de leur énergie. En s'éloignant du foyer, elles s'amortissent et leurs effets s'atténuent. Voilà pourquoi les séismes superficiels, trop proches pour être affaiblis, sont les plus destructeurs.

*D'après La Recherche (n° exceptionnel août-octobre 2001, Les séismes).*

## > QUESTIONS

### I – Ondes mécaniques

1. Les ondes sismiques appartiennent au domaine des ondes mécaniques. Donner la définition générale d'une onde mécanique. [0,5 pt]

2. Dans le texte, on peut lire : « les premières voyagent dans la croûte à une vitesse de 6 km/s environ ». Quel terme plus approprié que « vitesse » devrait-on utiliser ? [0,25 pt]

II – Les ondes sismiques peuvent être, selon les cas, qualifiées par les termes suivants :

- ondes longitudinales ;
- ondes de cisaillement ;
- ondes transversales ;
- ondes de compression.

1. En utilisant deux termes de la liste ci-dessus, caractériser une onde P. Justifier la réponse. [0,5 pt]

2. En utilisant deux termes de la liste ci-dessus, caractériser une onde S. Justifier la réponse. [0,5 pt]

3. Associer chacun des deux schémas ci-dessous aux ondes P ou S. Justifier la réponse. [0,5 pt]

Schéma 1

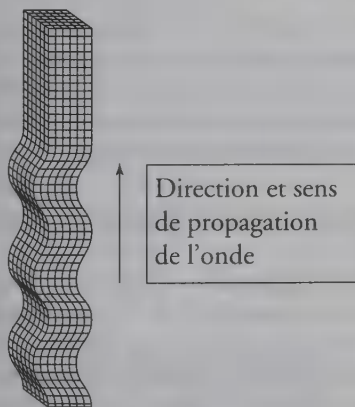
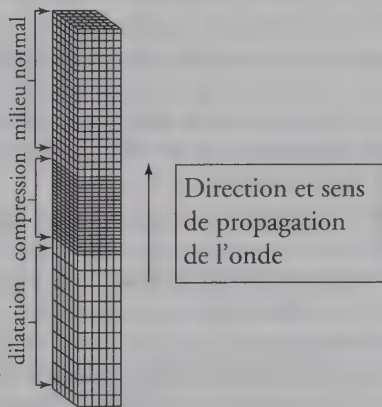


Schéma 2



III – Les expériences ci-dessous peuvent modéliser les ondes P ou S. Associer chaque expérience à l'un des deux types d'onde. [0,5 pt]

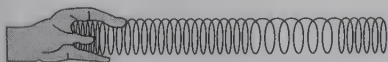


Schéma 3

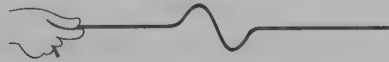
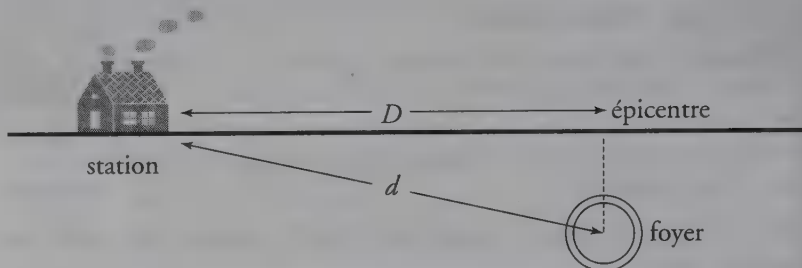


Schéma 4

## IV – Épicentre et foyer du séisme



Une onde sismique commence à se propager à partir du foyer à la date  $t = 0$ . Une station enregistreuse est située à une distance  $D$  de l'épicentre et à une distance  $d$  du foyer. On note  $V_P$  la célérité de l'onde P et  $V_S$  la célérité de l'onde S dans la croûte.

1. Donner l'expression de  $t_P$  et  $t_S$ , dates d'arrivée respectivement des ondes P et S à la station enregistreuse. **[0,75 pt]**
2. On ne peut pas connaître précisément  $V_P$  et  $V_S$ . Cependant, on sait qu'elles obéissent à la relation :

$$\left( \frac{1}{V_S} - \frac{1}{V_P} \right) \approx \frac{1}{8}$$

$V_S$  et  $V_P$  étant exprimées en  $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ .

- a. Si on mesure les dates  $t_S$  et  $t_P$ , établir, en utilisant la relation qui existe entre les vitesses, l'expression de la distance  $d$  en fonction de ces dates. **[0,5 pt]**
- b. Un capteur de la station mesure l'intervalle de temps séparant l'arrivée des deux ondes à la station :  $\Delta t = 25 \text{ s}$ . En déduire la distance de la station au foyer du séisme. **[0,25 pt]**

3. On appelle foyer superficiel un foyer très proche de la surface terrestre. Dans ce cas, on peut considérer que  $d \approx D$ .

Une des méthodes utilisées pour localiser l'épicentre du séisme dans ce cas est la méthode dite des trois cercles : trois stations  $S_1$ ,  $S_2$  et  $S_3$  mesurent la distance à laquelle elles se trouvent du foyer d'un séisme. On note des distances respectivement  $d_1$ ,  $d_2$  et  $d_3$ . On suppose que le milieu est isotrope, c'est-à-dire que les ondes se propagent à la même vitesse dans toutes les directions.

- Expliquer le principe de la méthode dite « des trois cercles ». **[0,75 pt]**



Centres étranger I, juin 2003 / 9,5 points

4

## LES ONDES SISMQUES

- Ondes transversales
- Ondes S et ondes P
- Oscillateur mécanique horizontal
- Période d'un oscillateur
- Oscillations mécaniques libres
- Oscillations mécaniques forcées
- Ondes transversales

Calculatrice autorisée

*Les parties I et II sont indépendantes.*

## I – Étude d'un séisme

Lors d'un séisme, la Terre est mise en mouvement par des ondes de différentes natures, qui occasionnent des secousses plus ou moins violentes et destructrices en surface.

On distingue :

- les **ondes P**, les plus rapides, se propageant dans les solides et les liquides ;
- les **ondes S**, moins rapides, ne se propageant que dans les solides.

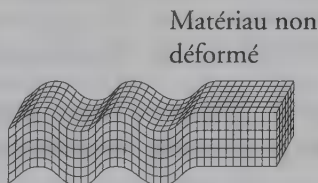
L'enregistrement de ces ondes par des sismographes à la surface de la Terre permettent de déterminer l'épicentre du séisme (lieu de naissance de la perturbation).

Les schémas A et B modélisent la progression des ondes sismiques dans une couche terrestre.



→  
Sens de propagation de l'onde

Schéma A



→  
Sens de propagation de l'onde

Schéma B

1. Les ondes P, appelées aussi ondes de compression, sont des ondes longitudinales.

Les ondes S, appelées aussi ondes de cisaillement, sont des ondes transversales.

a. Définir une onde transversale.

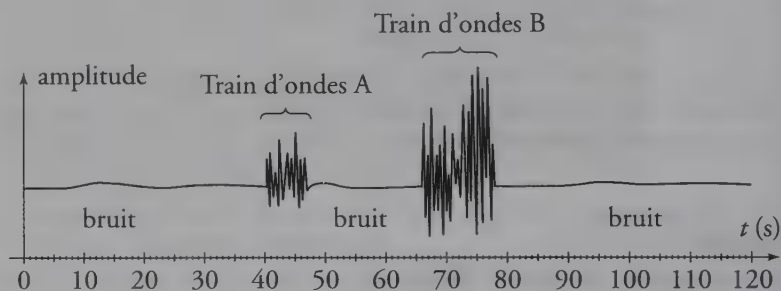
[0,5 pt]

b. Indiquer le schéma correspondant à chaque type d'onde.

[0,25 pt]

2. Un séisme s'est produit à San Francisco (Californie) en 1989.

Le document ci-dessous présente le sismogramme obtenu, lors de ce séisme à la station EUREKA.



Sismogramme : Station EUREKA

Le sismogramme a été enregistré à Eureka, station sismique située au nord de la Californie. L'origine du repère ( $t = 0$  s) a été choisie à la date du début du séisme à San Francisco.

Le sismogramme présente deux trains d'ondes repérés par A et B.

a. À quel type d'onde (S ou P) correspond chaque train ?

Justifier votre réponse à l'aide du texte d'introduction.

[0,25 pt]

b. Sachant que le début du séisme a été détecté à Eureka à 8 h 15 min 20 s TU (Temps Universel), déterminer l'heure TU (h ; min ; s) à laquelle le séisme s'est déclenché à l'épicentre.

[0,25 pt]

c. Sachant que les ondes P se propagent à une célérité moyenne de  $10 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ , calculer la distance séparant l'épicentre du séisme de la station Eureka.

[0,375 pt]

d. Calculer la célérité moyenne des ondes S.

[0,375 pt]

## II – Oscillateur mécanique susceptible d'être excité par une onde sismique longitudinale

L'onde sismique longitudinale est modélisée par une onde sinusoïdale d'amplitude  $A_s$  et de période  $T_s$ , qui se propage suivant une direction horizontale.

On peut considérer que cette onde agit sur un oscillateur mécanique horizontal et provoque des oscillations horizontales d'amplitude  $A$  et de période  $T$ .

On cherche à savoir comment l'amplitude  $A_s$  et la période  $T_s$  de l'onde sinusoïdale vont agir sur l'amplitude et la période des oscillations de l'oscillateur mécanique.

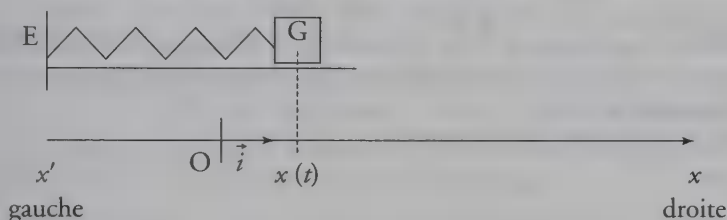
On étudie le comportement de l'oscillateur horizontal dans différentes situations.

### 1. Oscillateur libre

L'oscillateur mécanique horizontal est constitué d'un ressort de constante de raideur  $k$  et d'un solide de masse  $m$ . La masse du ressort est négligeable devant la masse  $m$  du solide.

L'extrémité E du ressort est fixe. L'autre extrémité est accrochée au solide. L'ensemble se déplace sur une surface plane et horizontale comme schématisé ci-après :

Schéma de l'oscillateur horizontal en mouvement



Le centre d'inertie G du solide est repéré sur un axe horizontal  $x'x$  d'origine O par l'abscisse  $x(t)$ . Le point d'origine O correspond à la projection de la position de G à l'équilibre du système solide – ressort au repos. Tous les frottements sont négligés. Dans ces conditions, on détermine le mouvement du solide.

a. Donner le nom des forces qui s'exercent sur le solide lorsqu'il occupe sa position d'équilibre. Faire un schéma illustrant la réponse. **[0,50 pt]**

b. Le système étant mis en oscillation, donner le nom des forces qui s'exercent sur le solide à un instant  $t$ , date à laquelle l'élongation du centre d'inertie est  $x(t)$ . Faire un schéma illustrant la réponse en considérant  $x(t) > 0$ . **[0,375 pt]**

c. En appliquant la deuxième loi de Newton au solide, écrire l'équation différentielle du mouvement du centre d'inertie. **[1 pt]**

La solution de l'équation différentielle est de la forme :

$x(t) = x_{\max} \cos\left(\frac{2\pi}{T_0} t + \phi_0\right)$  et correspond au mouvement du centre d'inertie de l'oscillateur.

d. Donner le nom, la signification et l'unité des grandeurs dans le système d'unités internationales (S.I.) qui interviennent dans cette équation :  $x_{\max}$ ,  $T_0$ ,  $t$  et  $\phi_0$ . **[0,5 pt]**

e. Donner l'expression de la période propre de l'oscillateur en fonction de la constante de raideur  $k$  et de la masse  $m$ . [0,25 pt]

**2. Pour étudier les facteurs qui pourraient influencer sur la période de l'oscillateur, on réalise plusieurs expériences.**

• *Expérience 1* :  $m = 250 \text{ g}$  et  $k = 10 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$

On écarte l'oscillateur de 5 cm vers la droite et à l'instant  $t = 0$ , on le lâche sans vitesse initiale. Un système d'acquisition permet d'enregistrer la courbe  $x(t)$ . Celle-ci est reportée sur le graphe 1.

• *Expérience 2* :  $m = 250 \text{ g}$  et  $k = 10 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$

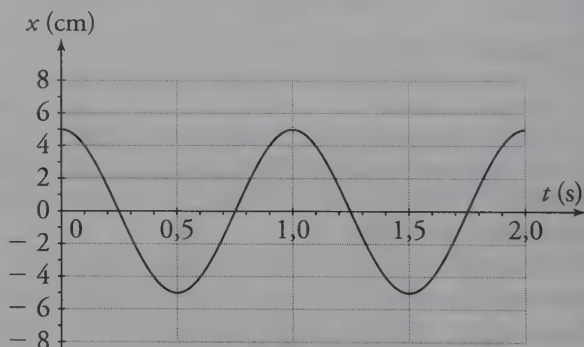
On écarte l'oscillateur de 5 cm vers la droite et à l'instant  $t = 0$ , on le lance vers la gauche avec une vitesse initiale non nulle. Le système d'acquisition permet d'enregistrer une nouvelle courbe  $x(t)$ . Celle-ci est reportée sur le graphe 2.

• *Expérience 3* :  $m = 250 \text{ g}$  et  $k = 10 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$

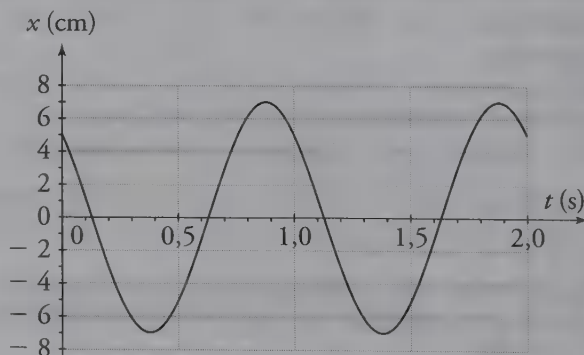
On écarte l'oscillateur de 7 cm vers la droite et à l'instant  $t = 0$ , on le lâche sans vitesse initiale. Le système d'acquisition permet d'enregistrer une nouvelle courbe  $x(t)$ .

Celle-ci est reportée sur le graphe 3.

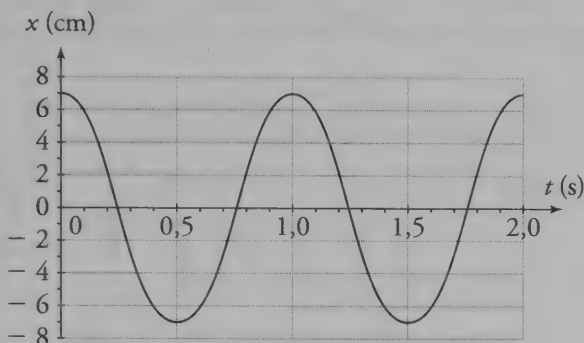
**Graphe 1,**  
 $x_0(1) = 5 \text{ cm}$ ,  
 $v_0(1) = 0$



**Graphe 2,**  
 $x_0(2) = 5 \text{ cm}$ ,  
 $v_0(2) = 0$



Graphe 3,  $x_0(3)$ ,  
 $v_0(3)$  à déterminer



a. La période des oscillations déterminée graphiquement pour les expériences 1, 2 et 3 est d'environ 1 s.

Vérifier par le calcul la valeur de  $T_0$ .

[0,25 pt]

b. Les conditions initiales ( $x_0$  et  $v_0$ ) pour les expériences 1 et 2 étant données, déterminer celles de l'expérience 3, notées  $x_0(3)$  et  $v_0(3)$ .

[0,25 pt]

c. La période de l'oscillateur dépend-elle des conditions initiales de mise en oscillation ? Justifier votre réponse avec les graphes.

[0,5 pt]

d. Pour chacune des expériences 1, 2 et 3 précédentes, déterminer graphiquement l'amplitude des oscillations.

En utilisant les conditions initiales indiquées ou déterminées à la question 2.b. pour ces 3 expériences :

$\alpha$ . Préciser si l'amplitude dépend de la vitesse initiale.

[0,5 pt]

$\beta$ . Préciser si l'amplitude dépend de l'élongation initiale.

[0,5 pt]

**3. Pour étudier les facteurs qui pourraient influencer sur l'amplitude du mouvement de l'oscillateur, on réalise de nouvelles expériences.**

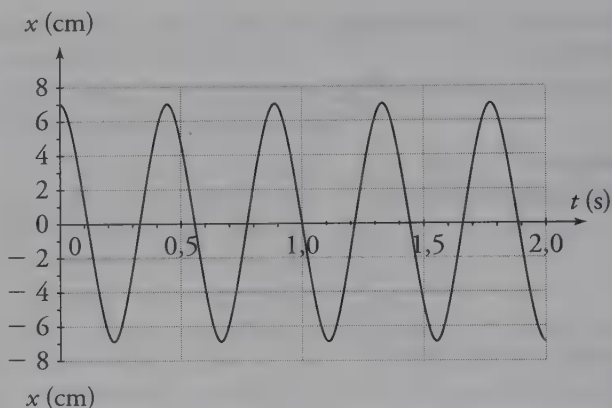
• *Expérience 4* : On modifie la masse,  $m = 50$  g et  $k = 10$  N  $\cdot$  m $^{-1}$ .

On écarte l'oscillateur de 7 cm vers la droite et à l'instant  $t = 0$ , on le lâche sans vitesse initiale. Le système d'acquisition permet d'enregistrer une nouvelle courbe  $x(t)$ . Celle-ci est reportée sur le graphe 4.

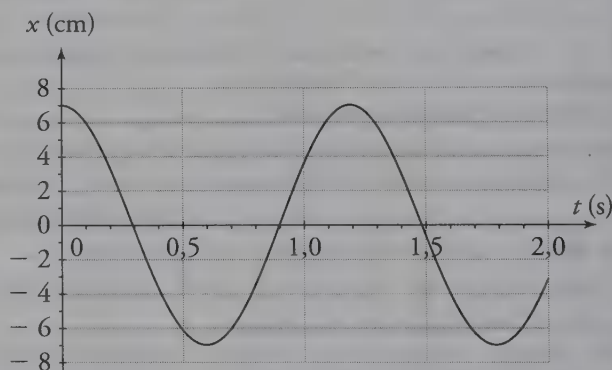
• *Expérience 5* :  $m = 250$  g, on modifie la constante de raideur  $k = 7$  N  $\cdot$  m $^{-1}$ . On écarte l'oscillateur de 7 cm vers la droite et à l'instant  $t = 0$ , on le lâche sans vitesse initiale. Le système d'acquisition permet d'enregistrer une nouvelle courbe  $x(t)$ . Celle-ci est reportée sur le graphe 5.



Graphe 4



Graphe 5



Pour chacune des expériences 4 et 5 l'amplitude des oscillations est de 7 cm. Déterminer graphiquement la valeur de la période de l'oscillateur pour chaque expérience.

L'amplitude des oscillations dépend-elle de la période de l'oscillateur ? [0,5 pt]

#### 4. Oscillateur élastique soumis à des oscillations forcées

L'oscillateur élastique est soumis à des oscillations provoquées par un système extérieur appelé exciteur.

L'exciteur oscille avec une période  $T_E$  et une amplitude  $A_E$ .

On considère l'oscillateur élastique constitué du solide de masse  $m = 250 \text{ g}$  et du ressort de constante de raideur  $k = 10 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ .

Après un régime transitoire, l'oscillateur atteint un régime d'oscillations sinusoïdales de période  $T$ .

Pour étudier les facteurs qui influent sur la période et l'amplitude on réalise trois autres expériences.

- *Expérience 6* : période de l'exciteur  $T_E = 0,60 \text{ s}$ , amplitude de l'exciteur  $A_E = 5 \text{ cm}$ .

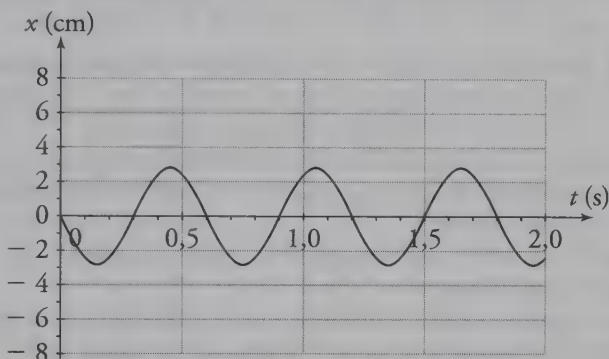
Après le régime transitoire, le système d'acquisition permet d'enregistrer pour l'oscillateur élastique une nouvelle courbe  $x(t)$ . Celle-ci est reportée sur le graphe 6.

• *Expérience 7* : On modifie la période de l'excitateur ; on conserve l'amplitude  $A_E$ . Après le régime transitoire on mesure la période de l'oscillateur élastique en fonction de la période de l'excitateur. On obtient le graphe 7 :  $T = f(T_E)$ .

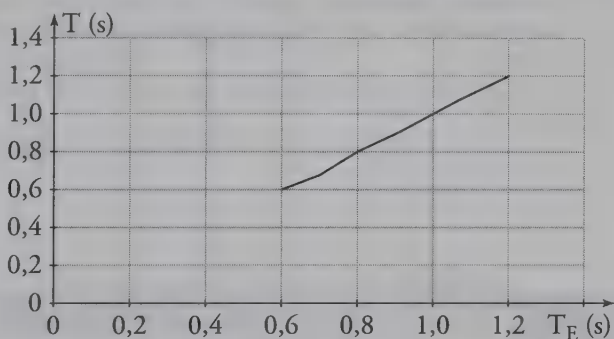
• *Expérience 8* : On modifie la période de l'excitateur, on conserve l'amplitude  $A_E$ . On mesure l'amplitude de l'oscillateur élastique en fonction de la période de l'excitateur.

On obtient le graphe 8 :  $x_{\max} = f(T_E)$ .

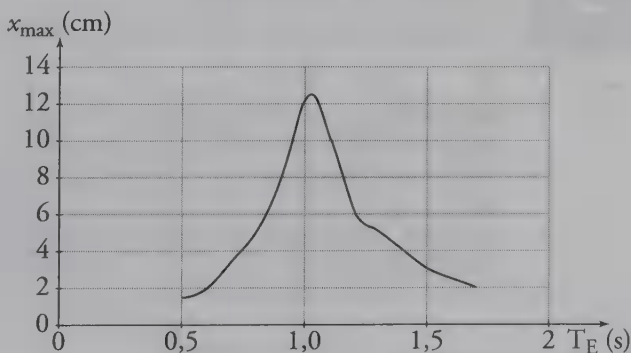
Graphe 6



Graphe 7



Graphe 8



- a. En utilisant le graphe 6, déterminer l'amplitude  $x_{\max}$  et la période  $T$  de l'oscillateur élastique. Comparer ces valeurs à  $A_E$  et  $T_E$ . [0,5 pt]
- b. Quel renseignement sur la période de l'oscillateur élastique nous donne le graphe de l'expérience 7 ? Justifier en utilisant ce graphe. [0,25 pt]
- c. Quel phénomène le graphe de l'expérience 8 met-il en évidence ? Évaluer graphiquement la période caractéristique  $T_R$  de ce phénomène. Comparer à la période propre  $T_0$  de l'oscillateur élastique calculée à la question 2.a. [0,75 pt]

### 5. Oscillateur soumis à une onde sismique longitudinale

L'onde sismique longitudinale est assimilée à une excitation sinusoïdale de période constante  $T_S$  et d'amplitude constante  $A_S$ .

- a. L'oscillateur est dans le plan horizontal. Pour que l'excitation de l'oscillateur soit maximale, quelle doit être la direction privilégiée de l'onde sismique longitudinale ? [0,125 pt]
- b. L'oscillateur est soumis à l'onde sismique de période  $T_S$  et d'amplitude  $A_S$ .
- α. Après le régime transitoire, quelle sera la période  $T$  des oscillations de l'oscillateur soumis à l'onde sismique de période  $T_S$  ?
- β. En utilisant le graphe de l'expérience 8, que peut-on dire de l'amplitude des oscillations de l'oscillateur pour une même amplitude  $A_S$  de l'onde sismique :
- si la période de l'onde sismique est égale à la période propre de l'oscillateur ?
  - si la période de l'onde sismique est supérieure ou inférieure à la période propre de l'oscillateur ? [0,5 pts]

Polynésie, juin 2003 / 9,5 points

**5**

## DES OSCILLATIONS ÉLECTRIQUES À LA CUVE À ONDES

- Énergie emmagasinée par un condensateur
- Entretien d'oscillations
- Célérité d'une onde
- Réfraction
- Ondes circulaires
- Ondes planes

Calculatrice autorisée

Les différentes parties du problème sont indépendantes.

Pour étudier les ondes progressives sinusoïdales à la surface de l'eau, on utilise une cuve à ondes.

Un vibreur permet de générer des ondes planes circulaires de fréquence  $N$  à la surface de l'eau. Les crêtes des vagues donnent des rides brillantes et les creux des rides sombres sur un écran que l'on photographie.

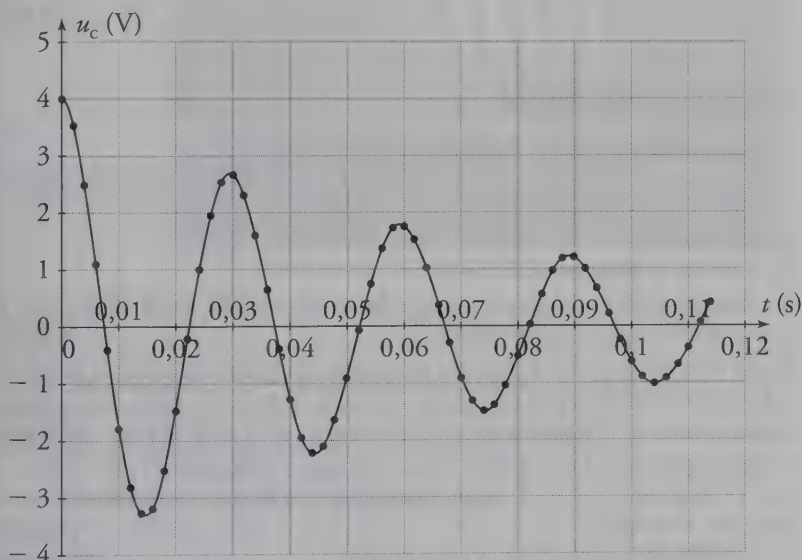
Afin d'apprécier l'échelle, 2 marques A et B ont été faites sur l'écran qui correspondent à une distance  $AB = 7,0 \text{ cm}$  dans la cuve.

## I - Étude du vibreur

La surface de l'eau est excitée par de l'air pulsé : les pulsations sont créées par une petite pompe. Leur fréquence peut être réglée de 10 à 40 Hz grâce à un oscillateur électrique entretenu.

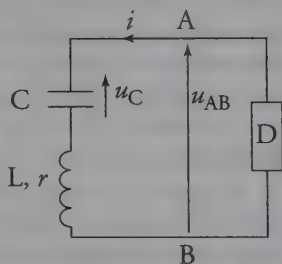
Les oscillations électriques peuvent être obtenues à l'aide d'un condensateur de capacité  $C = 30 \mu\text{F}$  relié à une bobine d'auto-inductance  $L$  et de résistance  $r$ .

1. À l'instant  $t = 0 \text{ s}$ , on relie le condensateur portant la charge  $Q_0$  à la bobine. On peut, à l'aide d'une interface appropriée, visualiser  $u_C(t)$  : tension aux bornes du condensateur, sur l'écran d'un ordinateur et on obtient la courbe 1 ci-après :



Courbe 1.  $u_C = f(t)$

- a.  $u_C(t)$  est-elle une fonction périodique ?  
Comment qualifie-t-on un tel régime d'oscillations ? **[0,5 pt]**
- b. Calculer l'énergie  $E_0$  emmagasinée par le condensateur à l'instant  $t_0 = 0$  s. **[0,25 pt]**
- c. Calculer l'énergie  $E_1$  emmagasinée par le condensateur à l'instant  $t_1 = 30$  ms. **[0,25 pt]**
- d. Interpréter la variation de l'énergie entre les instants  $t_0$  et  $t_1$ . **[0,25 pt]**
- e. Ce dispositif peut-il être utilisé pour créer les oscillations à la surface de l'eau ? **[0,25 pt]**
2. On désire entretenir les oscillations.
- a. Que signifie : « entretenir les oscillations » ? **[0,25 pt]**
- b. Pour ce faire, on introduit un montage équivalent à un dipôle D fournissant une puissance  $p = ri^2$  où  $r$  a la même valeur que la résistance de la bobine. Quel est le nouveau régime des oscillations ? **[0,5 pt]**
- c. Quelle est alors la forme de  $u_C(t)$  ? Ce montage peut-il être utilisé pour générer des ondes sinusoïdales dans la cuve ? (justifier). **[0,75 pt]**
- d. Quelle est la fréquence propre des oscillations si  $L = 0,75$  H et  $C = 30$   $\mu$ F ? **[0,5 pt]**



## II – Étude des ondes

### 1. Mesure de la célérité des ondes

- a. À l'aide du vibreur, on crée des ondes progressives sinusoïdales de fréquence  $N$  à la surface de l'eau. Le phénomène observé possède une longueur d'onde  $\lambda$ .
- $\alpha$ . Définir la longueur d'onde  $\lambda$ .
- $\beta$ . Quelle relation existe-t-il entre la longueur d'onde  $\lambda$ , la fréquence  $N$  et la célérité  $v$  des ondes observées ? **[0,5 pt]**
- b. À l'aide de la photo 1 ci-après déterminer le plus précisément possible la longueur d'onde  $\lambda_1$  et calculer la célérité  $v_1$  des ondes sachant que pour cette expérience 1 la fréquence des vibrations est  $N_1 = 8,0$  Hz. **[0,75 pt]**
- c. Une expérience 2 est réalisée à une fréquence différente  $N_2 = 17$  Hz.
- $\alpha$ . À l'aide de la photo 2 ci-après montrer que la célérité des ondes varie avec leur fréquence. **[0,5 pt]**
- $\beta$ . Comment appelle-t-on ce phénomène ? **[0,25 pt]**
- $\gamma$ . Décrire une expérience permettant d'observer ce phénomène avec des ondes lumineuses. **[0,5 pt]**



Photo 1

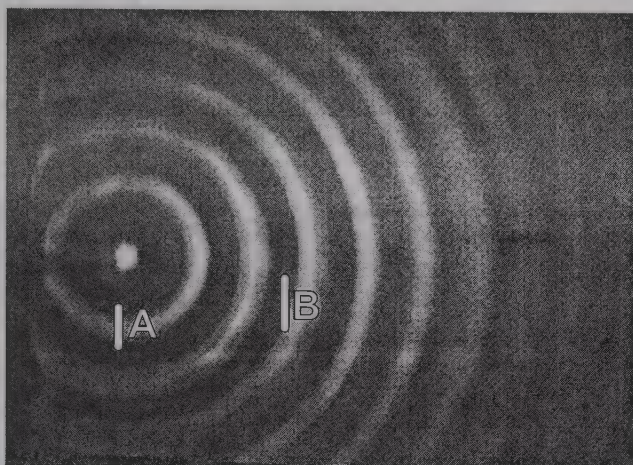
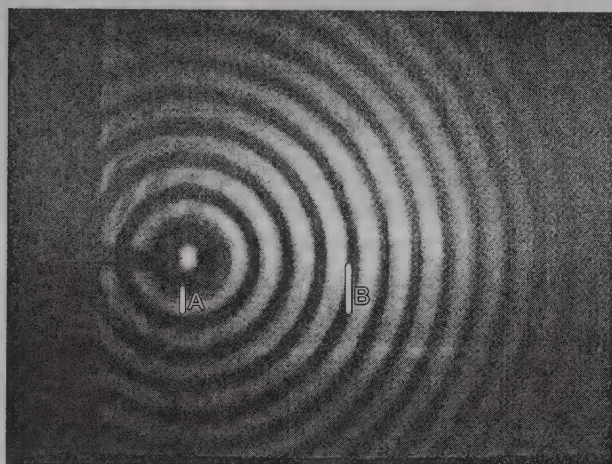


Photo 2



## 2. Influence de la profondeur de l'eau sur la célérité des ondes

a. Pour étudier l'influence de la profondeur  $h$  de l'eau sur la célérité des ondes, on place sur le fond de la cuve une plaque (P) de plexiglas transparent. On délimite ainsi des zones de profondeur  $h$  et  $h'$  ( $h' < h$ ). On génère des ondes incidentes planes sinusoïdales de fréquence  $N = 11$  Hz :



Montrer, en utilisant la photo 3 ci-après, que la célérité des ondes dépend de la profondeur de l'eau. **[0,5 pt]**

**b.** On remplace la plaque P par une plaque P', on obtient la photo 4 ci-dessous. Quel phénomène observe-t-on ? (On pourra se référer à des phénomènes lumineux abordés en seconde). **[0,5 pt]**

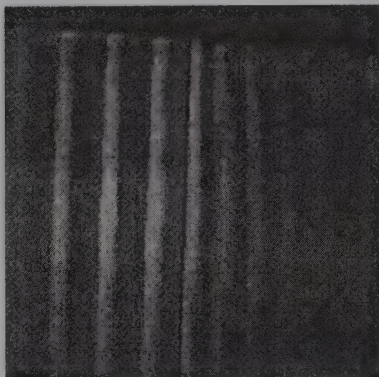


Photo 3



Photo 4

**c. α.** En eau très profonde, pour des vagues de basse fréquence, on peut démontrer que la célérité  $v$  des ondes ne dépend pratiquement plus de  $h$ . Elle varie alors proportionnellement à la période  $T$  suivant la loi :

$$v = \frac{g}{2\pi} T, \text{ où } g \text{ est l'intensité de la pesanteur } g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}.$$

Calculer  $v_1$  et  $v_2$  pour les fréquences  $N_1 = 5,0 \text{ Hz}$  et  $N_2 = 10 \text{ Hz}$ , ainsi que les longueurs d'onde  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$  correspondantes. **[1 pt]**

**β.** On excite sinusoïdalement un point S à partir de l'instant  $t = 0 \text{ s}$ . On observe un point M à 10 m de S. À quel instant  $t_1$  le point M entre-t-il en vibration si la fréquence excitatrice en S est  $N_1 = 5 \text{ Hz}$  ?

Calculer de même l'instant  $t_2$  pour une fréquence  $N_2 = 10$  Hz. [1 pt]  
 $\gamma$ . En fait, on lance une pierre au point S ; l'ébranlement est supposé être constitué par la superposition d'ondes sinusoïdales de différentes fréquences allant de quelques Hertz à une dizaine de Hertz.

Le point M (au centre des photographies 5 et 6 ci-après) est photographié à des instants différents.



Photo 5



Photo 6

Donner, en le justifiant, l'ordre chronologique des deux prises de vue. [0,5 pt]

**6****À LA RECHERCHE D'UNE MESURE DU  
DIAMÈTRE D'UN CHEVEU**

- Diffraction d'un faisceau lumineux
- Analyse dimensionnelle
- Taches de diffraction

**Calculatrice NON autorisée****> DOCUMENT**

En juillet 1969, les astronautes d'Apollo 11 ont déposé sur la Lune cent réflecteurs permettant ainsi la mesure de la distance Terre – Lune avec une grande précision. Un laser envoie des impulsions qui sont rétrodiffusées par un réflecteur : le temps mis par une impulsion pour l'aller et retour permet de mesurer la distance du réflecteur connaissant la vitesse de la lumière... Pour réduire le plus possible les effets de l'absorption atmosphérique, on utilise des longueurs d'onde comprises entre 8 et 12  $\mu\text{m}$  ... Les lasers à  $\text{CO}_2$ , qui opèrent entre 9 et 11,5  $\mu\text{m}$ , sont donc bien adaptés au radar optique.

*D'après M. Françon, « L'optique moderne et ses développements depuis l'apparition du laser », Hachette/CNRS, Paris, 1986.*

**> QUESTIONS**

*Cet exercice ne nécessite aucune connaissance sur le fonctionnement d'un laser.*

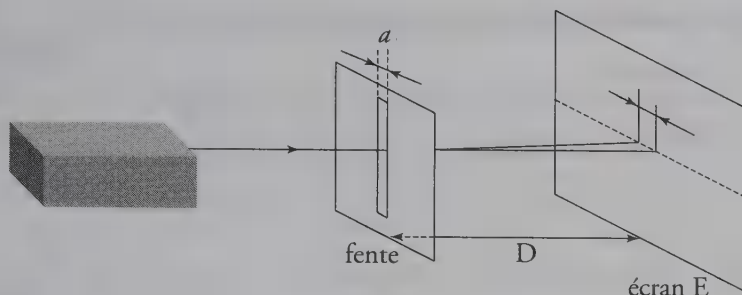
**I – Propriétés du laser**

1. Citer deux propriétés du laser. **[0,25 pt]**
2. Le domaine du visible s'étend dans la bande :  $400 \text{ nm} < \lambda < 800 \text{ nm}$ . Le laser à  $\text{CO}_2$  opère entre 9 et 11,5  $\mu\text{m}$ . Ces radiations lumineuses font-elles partie du domaine des UV (ultraviolets) ? des IR (infrarouges) ? du visible ? **[0,25 pt]**
3. Citer une autre utilisation du laser. **[0,25 pt]**

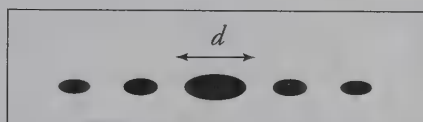
**II – Observation d'un phénomène lié au laser**

On utilise un laser produisant une lumière de longueur d'onde  $\lambda$  placé devant une fente de largeur  $a$  (voir schéma ci-après, document 1). On observe la figure suivante (document 2), constituée de taches lumineuses, sur un écran E placé à la distance D de la fente.





Document 1



Document 2

1. Quel est le nom du phénomène observé ? [0,25 pt]
2. Quelle condition doit satisfaire la taille de la fente pour que l'on obtienne cette figure ? [0,25 pt]
3. La largeur de la tache centrale  $d$  sur l'écran varie lorsque l'on fait varier la distance  $D$  entre la fente et l'écran, la longueur d'onde  $\lambda$  de la lumière, ou la largeur  $a$  de la fente. Une série d'expériences effectuées montrent que  $d$  est proportionnelle à la longueur d'onde de la lumière.  $k$  étant une constante sans dimension, on propose les formules (1), (2), (3), (4) et (5) ci-dessous. Lesquelles peut-on éliminer ?

$$d = \frac{k\lambda D}{a} \quad (1) ; \quad d = \frac{k\lambda D}{a^2} \quad (2) ; \quad d = \frac{kaD}{\lambda} \quad (3) ;$$

$$d = \frac{k\lambda D^2}{a^2} \quad (4) ; \quad d = ka\lambda D \quad (5). \quad \text{[0,5 pt]}$$

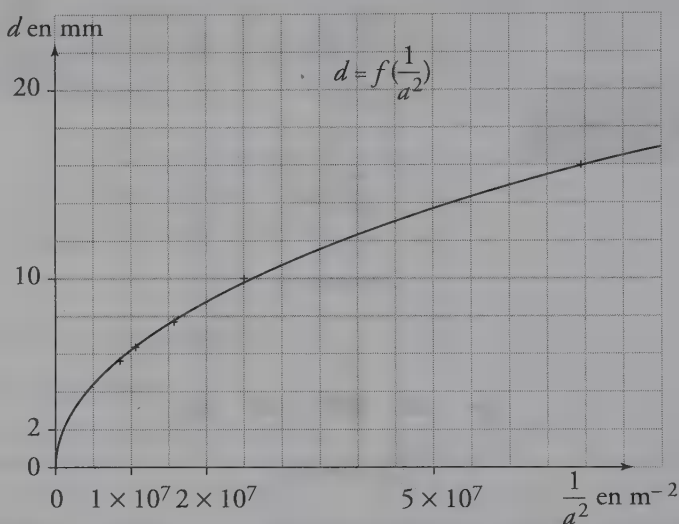
### III – Influence de la largeur $a$ de la fente

Tous les autres paramètres restant inchangés pendant les mesures, on fait varier la largeur  $a$  de la fente et on mesure les valeurs de  $d$  correspondantes. Les résultats sont consignés dans le tableau 1.

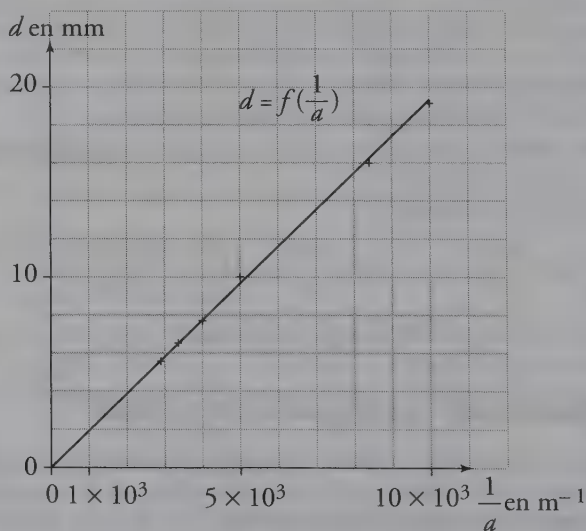
|                         |     |     |     |     |     |     |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $a$ (en $\mu\text{m}$ ) | 100 | 120 | 200 | 250 | 300 | 340 |
| $d$ (en mm)             | 19  | 16  | 10  | 7,5 | 6,5 | 5,5 |

Tableau 1

Grâce à ces résultats, on obtient les courbes suivantes :



Document 3



Document 4

Préciser laquelle ou lesquelles des formules proposées à la question II.3. sont encore possibles. Pourquoi ?

[0,5 pt]



## IV – Influence de la distance $D$ entre la fente et l'écran

On fixe  $\lambda$  et  $a$  ; on déplace l'écran et on obtient les résultats suivants :

|             |      |      |      |      |
|-------------|------|------|------|------|
| $D$ (en m)  | 1,70 | 1,50 | 1,20 | 1,00 |
| $d$ (en mm) | 21   | 19   | 15   | 13   |

Tableau 2

1. Quelle(s) courbe(s) est-il judicieux de tracer pour vérifier la réponse à la question III ? Justifier. **[0,25 pt]**
2. Tracer la représentation graphique de  $d = f(D)$  en respectant l'échelle suivante : – abscisse : 1 cm représente 0,1 m ;  
– ordonnée : 1 cm représente 1 mm. **[0,75 pt]**
3. Expliquer avec soin comment calculer le coefficient directeur  $p$  de cette droite.  
Choisir sa valeur parmi les propositions suivantes, en justifiant la réponse :  
(1)  $p = 12,5 \times 10^{-3}$  ; (2)  $p = 12,5$  ; (3)  $p = 12,5 \times 10^3$ . **[0,75 pt]**
4. En déduire la valeur de  $k$ , sachant que  $c$ 'est un entier, et que l'on a fait les mesures pour  $\lambda = 633 \text{ nm}$  et  $a = 100 \text{ }\mu\text{m}$ . **[0,5 pt]**

## V – Détermination d'une dimension

Un fil placé à la position exacte de la fente du dispositif précédent produit exactement la même figure sur l'écran. Des élèves disposant d'une diode laser ( $\lambda = 670 \text{ nm}$ ) décident de mettre en œuvre cette expérience pour mesurer le diamètre  $a$  d'un cheveu qu'ils ont placé sur un support. Ils obtiennent une tache centrale de largeur  $d = 20 \text{ mm}$  lorsque l'écran est à  $D = 1,50 \text{ m}$  du cheveu.

Calculer approximativement le diamètre du cheveu (le diamètre joue un rôle analogue à celui de la dimension  $a$  de la fente). **[0,5 pt]**

## TRANSFORMATIONS NUCLÉAIRES

NOUVELLE-CALÉDONIE, décembre 2002 / 1 point

7

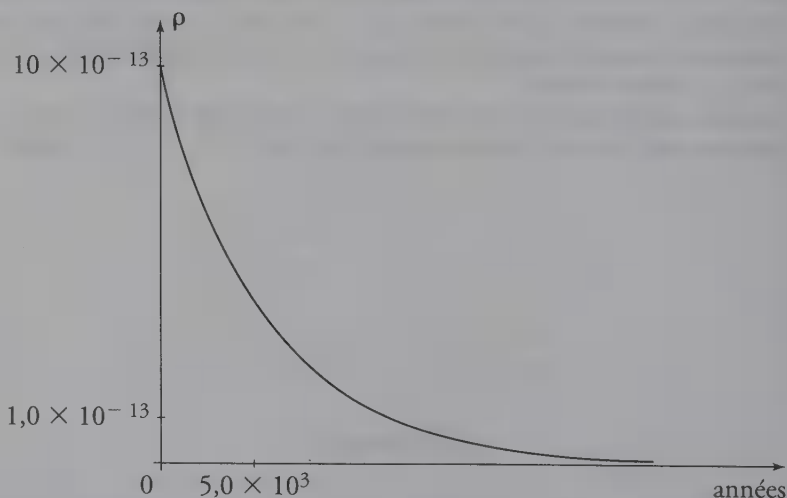
### DATATION D'UN ÉCHANTILLON (SUJET PARTIEL)

- Rapport isotopique
- Décroissance radioactive

#### Calculatrice non autorisée

La datation d'un échantillon préhistorique est possible à partir de sa teneur en isotope radioactif  $^{14}\text{C}$  de l'élément carbone. Le traitement d'un os préhistorique contenant  $n(^{12}\text{C}) = 5,0 \times 10^{19}$  atomes de  $^{12}\text{C}$ , a permis le comptage de  $n(^{14}\text{C}) = 5,0 \times 10^6$  impacts d'ions  $^{14}\text{C}^+$  sur la cible (4).

1. Calculer le rapport isotopique  $\rho = \frac{n(^{14}\text{C})}{n(^{12}\text{C})}$  de l'échantillon traité. [0,25 pt]
2. On sait que :
  - pour un organisme vivant, le rapport isotopique  $\rho = 1,0 \times 10^{-12}$  est constant ;
  - pour un organisme mort, ce rapport décroît selon le graphique ci-après.



Évaluer l'âge de l'échantillon traité.

[0,75 pt]

(Ministère) / 4,5 points

8

## DATATION AU CARBONE 14

- Désintégration du carbone 14
- Temps de demi-vie
- Constante radioactive

Calculatrice autorisée

## &gt; DOCUMENT

La Terre est bombardée en permanence par des particules très énergétiques venant du cosmos. Ce rayonnement cosmique est composé notamment de protons très rapides. Les noyaux des atomes présents dans la haute atmosphère « explosent » littéralement sous le choc de ces protons très énergétiques et, parmi les fragments, on trouve des neutrons rapides. Ces neutrons rapides peuvent à leur tour réagir avec des noyaux d'azote de la haute atmosphère. Lors du choc, tout se passe comme si un neutron rapide éjectait un des protons d'un des noyaux d'azote et prenait sa place pour former un noyau  $Y_1$ . Ce noyau  $Y_1$  est un isotope particulier du carbone, le carbone 14, qui est radioactif : en émettant un électron et une particule non observable, l'antineutrino, il se décompose en un noyau  $Y_2$ . La période ou demi-vie du carbone 14 est 5 570 ans. Comme le rayonnement cosmique bombarde la Terre depuis longtemps, un équilibre s'établit entre la création et la décomposition du carbone 14 : il y a autant de production que de décomposition si bien que la teneur en carbone 14 de tous les organismes vivants reste identique au cours du temps. Ce carbone s'oxyde en dioxyde de carbone qui se mélange à celui de l'atmosphère, à celui dissous dans l'eau, etc. et sera métabolisé par les plantes et à travers elles par tous les organismes vivants. Dans chaque gramme de carbone de l'atmosphère ou des organismes vivants, les atomes de carbone sont en très grande majorité des atomes de carbone 12, mais il y a  $6,8 \cdot 10^{10}$  atomes de carbone 14.

*D'après I. Berkès « La physique du quotidien ».*

On donne, pour différents noyaux :

H : Z = 1 ; He : Z = 2 ; C : Z = 6 ; N : Z = 7 ; O : Z = 8.

1 an = 365 jours.

## > QUESTIONS

### I – Réactions nucléaires dans la haute atmosphère

1. Le proton est représenté par le symbole  ${}^1_1\text{H}$ . Justifier cette écriture. [0,25 pt]
2. L'équation de la réaction qui a lieu lorsque le neutron rapide éjecte un des protons du noyau d'azote peut s'écrire :  ${}_0^1n + {}_7^{14}\text{N} \rightarrow {}_Z^AY_1 + {}^1_1\text{H}$ .  
 a. Énoncer les lois de conservation qui régissent une réaction nucléaire. [0,25 pt]  
 b. Vérifier que, comme l'indique le texte, on obtient bien du carbone 14 ; préciser la composition de ce noyau. [0,25 pt]
3. Désintégration du carbone 14  
 a. Écrire l'équation de la réaction qui a lieu lorsque un noyau de carbone 14 se décompose à son tour, en précisant le type de radioactivité du carbone 14. On ne tiendra pas compte de l'antineutrino produit. [0,5 pt]  
 b. Identifier l'élément  $Y_2$  formé. [0,25 pt]

### II – Phénomène de décroissance radioactive

1. Donner la définition du temps de demi-vie  $t_{1/2}$ . [0,25 pt]
2. Constante radioactive  
 a. Donner la relation entre la constante radioactive  $\lambda$  et le temps de demi-vie  $t_{1/2}$ . [0,25 pt]  
 b. Par une analyse dimensionnelle, déterminer l'unité de  $\lambda$ . [0,25 pt]  
 c. À l'aide du texte, calculer sa valeur en unité SI, pour la désintégration du carbone 14. [0,25 pt]
3. Soit  $N$  le nombre moyen de noyaux radioactifs restant dans un échantillon à la date  $t$ . Le nombre moyen de désintégrations pendant une durée  $\Delta t$  courte devant  $t_{1/2}$  est  $-\Delta N$  (opposé de la variation de  $N$ ). Ce nombre moyen de désintégrations est donné par la relation :  $-\Delta N = \lambda \cdot N \cdot \Delta t$ .  
 Déterminer le nombre de désintégrations par minute et par gramme de carbone d'un organisme vivant à partir du moment de sa mort. [0,5 pt]
4. Même question pour un échantillon de 1 gramme et une durée de 1 seconde. Quelle unité peut-on attribuer à ce dernier résultat ? [0,5 pt]

### III – Datation au carbone 14

1. Comment expliquer que la quantité moyenne de carbone 14 par kilogramme de matière (ou teneur) reste constante pour tous organismes en vie ? [0,25 pt]
2. Comment évolue la teneur en carbone 14 quand un organisme meurt ? Justifier la réponse. [0,25 pt]

3. On date par la méthode du carbone 14 un morceau de sarcophage en bois trouvé dans une tombe de l'Égypte ancienne. Dans cet échantillon, on mesure en moyenne 10 désintégrations par minute et par gramme de carbone.

a. Déterminer le nombre de noyaux de carbone 14 subsistant dans cet échantillon. [0,25 pt]

b. Proposer un âge pour le bois de ce sarcophage. [0,25 pt]

(Ministère) / 5,5 points

9

## LE RADON 222

- Radioactivité  $\alpha$
- Radioactivité  $\beta^-$
- Désintégrations successives
- Décroissance radioactive
- Temps de demi-vie

Calculatrice autorisée

### I – Origine du radon 222

Le radon 222 ( $^{222}_{86}\text{Rn}$ ) est issu de la désintégration de l'uranium 238 ( $^{238}_{92}\text{U}$ ) contenu dans les roches terrestres. Plusieurs désintégrations successives de type  $\alpha$  ou  $\beta^-$  sont nécessaires pour passer de l'uranium 238 au radon 222.

1. Écrire l'équation d'un noyau  $^A_Z\text{X}$  aboutissant à un noyau Y par désintégration de type  $\alpha$ . [0,25 pt]

2. Écrire l'équation d'un noyau  $^A_Z\text{X}$  aboutissant à un noyau Y par désintégration de type  $\beta^-$ . [0,25 pt]

3. Calculer le nombre de désintégrations  $\alpha$  et  $\beta^-$  nécessaires pour passer de l'uranium 238 au radon 222. [0,5 pt]

### II – Mesures à partir d'un prélèvement à une date donnée

L'émission  $\alpha$  du radon 222 est la principale source externe d'exposition de l'homme à la radioactivité naturelle. On se propose d'étudier sa désintégration en faisant un certain nombre de mesures sur un échantillon de ce



gaz prélevé dans le sol. On recueille dans une fiole scintillante<sup>1</sup> de 120 cm<sup>3</sup>, où on a préalablement réalisé un vide partiel, le gaz contenu dans le sol à une trentaine de centimètres de profondeur. Le prélèvement a lieu dans les Alpes. Le gaz contient du radon 222. Après une demi-heure, la fiole est placée dans la chambre d'un photomultiplicateur<sup>2</sup> et on procède à une série de 10 mesures, chacune correspondant à une durée de comptage  $\theta$  de 60 secondes. Cette durée est très inférieure à la demi-vie du radon 222.

On obtient les résultats reportés dans le tableau ci-dessous :

| N° de la mesure                             | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
|---------------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| M = Nombre d'événements détectés par minute | 54 | 63 | 71 | 73 | 48 | 93 | 68 | 59 | 81 | 69 |

1. Fiole scintillante : lorsqu'une particule  $\alpha$  frappe le sulfure de zinc qui tapisse intérieurement les parois latérales de la fiole, celui-ci absorbe son énergie et émet de la lumière dans le visible. Cette émission se produit dans toutes les directions possibles. Une partie de cette lumière sort de la fiole par le fond transparent qui peut être placé sur la fenêtre d'un photomultiplicateur.

2. Photomultiplicateur : cet appareil convertit un signal lumineux parvenant à sa fenêtre d'entrée en signal électrique comptabilisé. Son efficacité est inférieure à 1 mais elle est constante dans le temps ; l'instrument permet donc de compter un nombre d'événements proportionnel au nombre de noyaux qui se sont désintégrés au cours d'un intervalle de temps donné. Cet intervalle de temps est réglable.

1. Pourquoi observe-t-on une dispersion des valeurs relevées dans le tableau ? **[0,25 pt]**

2. Calculer la moyenne  $\bar{M}$  et l'écart-type  $s$  de cette série de mesures. **[0,5 pt]**

3. Pour chaque valeur de  $M$  mesurée, on peut définir le nombre d'événements détectés par seconde  $m = \frac{M}{\theta}$ . La moyenne  $\bar{m}$  des valeurs de  $m$  vaut alors :  $\bar{m} = \frac{\bar{M}}{\theta}$ . Calculer  $\bar{m}$ . **[0,5 pt]**

4. L'unité d'activité d'une source radioactive est le becquerel.

Définir une activité de 1 becquerel (1 Bq) et montrer que la grandeur  $\bar{m}$  a les dimensions d'une activité.

Le nombre  $\bar{m}$  obtenu expérimentalement a une valeur plus faible que l'activité du radon 222. Chercher dans la description du dispositif expérimental deux arguments qui justifient ce fait. **[0,5 pt]**

### III – Mesures à partir d'un prélèvement à différentes dates

À partir d'un nouveau prélèvement, et dans les mêmes conditions que précédemment, une nouvelle série de comptage est réalisée. **On renouvelle ce comptage, avec le même prélèvement**, pendant une dizaine de jours.

L'heure du début des mesures est toujours la même : 10 h chaque matin. Pour chaque série de mesures, on calcule la moyenne  $\bar{M}$ , l'écart-type  $s$ ,  $\bar{m} = \frac{\bar{M}}{\theta}$ ,  $\ln \bar{m}$  et l'écart-type  $s_m$  de la série statistique de  $m$  ;  $s_m = \frac{s}{\theta}$ . Certaines de ces valeurs sont reportées dans le tableau ci-dessous.

| Dates des mesures | $\bar{m}$ | $s_m = \frac{s}{\theta}$ | $\ln \bar{m}$ |
|-------------------|-----------|--------------------------|---------------|
| 8 mai             | 1,83      | 0,18                     | 0,604         |
| 9 mai             | 1,54      | 0,15                     | 0,43          |
| 10 mai            | 1,20      | 0,12                     | 0,18          |
| 11 mai            | 0,95      | 0,10                     | -0,05         |
| 13 mai            | 0,70      | 0,067                    | -0,36         |
| 14 mai            | 0,61      | 0,067                    | -0,49         |
| 15 mai            | 0,47      | 0,050                    | -0,76         |
| 16 mai            | 0,40      | 0,050                    | -0,92         |
| 17 mai            | 0,30      | 0,033                    | -1,2          |

Tracer  $\bar{m} = f(t)$  en reportant les écarts-types  $\frac{s}{\theta}$ . [0,5 pt]

Échelles : 2 cm pour 1 jour ; 1 cm pour  $m = 0,1$ .

#### IV – Loi d'évolution temporelle des événements détectés

1. Si l'évolution temporelle de  $\bar{m}$  est une fonction exponentielle de la forme  $\bar{m} = \bar{m}_0 e^{-\mu t}$ , quelle doit être l'allure de la courbe représentative de la fonction  $\ln \bar{m} = f(t)$  ? [0,25 pt]

2. Tracer  $\ln \bar{m} = f(t)$ .

Échelles : 2 cm pour 1 jour ; 1 cm pour  $\ln \bar{m} = 0,1$ .

Peut-on valider l'hypothèse précédente ? [0,5 pt]

3. Déterminer  $\mu$  en  $\text{jour}^{-1}$ . [0,25 pt]

4. Soit  $N(t)$  le nombre de noyaux radioactifs présents, à la date  $t$ , dans l'échantillon.

Écrire l'expression de la loi de décroissance  $N = f(t)$  en précisant la signification de chaque constante. [0,5 pt]

#### V – Demi-vie

On admet que le nombre moyen d'événements  $\bar{m}$  détectés par seconde, à la date  $t$ , est proportionnel au nombre de noyaux  $N(t)$  présents à cette même date dans l'échantillon. On peut montrer par un calcul que la constante  $\mu$  est égale à la constante radioactive  $\lambda$  de l'isotope étudié.

1. Énoncer la définition du temps de demi-vie  $t_{1/2}$ . [0,25 pt]
2. Donner la relation entre  $t_{1/2}$  et  $\lambda$ . En déduire la valeur de  $t_{1/2}$  en jours. [0,5 pt]

(Ministère) / 6 points

**10**

## DÉCROISSANCE RADIOACTIVE DU RADON 220

- Radioactivité  $\alpha$
- Temps de demi-vie
- Constante radioactive
- Méthode d'Euler

### Calculatrice autorisée

Lors d'une séance expérimentale, un élève étudie la décroissance radioactive d'un échantillon de radon 220. Il dispose d'une fiole scintillante<sup>1</sup>, neuve, de 120 cm<sup>3</sup>, où l'on a préalablement réalisé un vide partiel, et d'une fiole qui contient du radon 220 sous forme gazeuse. Il relie les deux fioles, du radon 220 passe alors dans la fiole scintillante. Après avoir séparé les deux fioles l'une de l'autre, il place la fiole scintillante dans la chambre d'un photomultiplicateur<sup>2</sup> et il procède à une série de mesures. La durée de chaque comptage est de 5 secondes et deux comptages successifs débutent avec 7 secondes d'écart. Il relève le nombre d'événements détectés par le compteur.

L'élève utilise un tableur-grapheur pour reporter ses résultats expérimentaux et calculer le nombre d'événements par seconde :

- 1<sup>re</sup> colonne : temps en seconde ;
- 2<sup>e</sup> colonne : nombre d'événements «  $m5(\text{exp})$  » détectés en 5 secondes ;
- 3<sup>e</sup> colonne : nombre d'événements «  $m(\text{exp})$  » détectés par seconde.

| $t$ | $m5(\text{exp})$ | $m(\text{exp})$ |
|-----|------------------|-----------------|
| 0   | 1 151            | 230             |
| 7   | 945              | 189             |
| 14  | 981              | 196             |
| 21  | 801              | 160             |
| 28  | 749              | 150             |
| 35  | 752              | 150             |
| 42  | 655              | 131             |
| 49  | 622              | 124             |
| 56  | 502              | 100             |
| 63  | 526              | 105             |
| 70  | 453              | 91              |
| 77  | 398              | 80              |
| 84  | 406              | 81              |

| $t$ | $m5(\text{exp})$ | $m(\text{exp})$ |
|-----|------------------|-----------------|
| 91  | 359              | 72              |
| 98  | 352              | 70              |
| 105 | 275              | 55              |
| 112 | 251              | 50              |
| 119 | 254              | 51              |
| 126 | 226              | 45              |
| 133 | 232              | 46              |
| 140 | 218              | 44              |
| 147 | 155              | 31              |
| 154 | 171              | 34              |
| 161 | 128              | 26              |
| 168 | 155              | 31              |

1. Fiole scintillante : lorsqu'une particule  $\alpha$  frappe le sulfure de zinc qui tapisse intérieurement les parois latérales de la fiole, celui-ci absorbe son énergie et émet de la lumière dans le visible. Cette émission se produit dans toutes les directions possibles. Une partie de cette lumière sort de la fiole par le fond transparent qui peut être placé sur la fenêtre d'un photomultiplicateur.

2. Photomultiplicateur : cet appareil convertit un signal lumineux parvenant à sa fenêtre d'entrée en signal électrique comptabilisé. Son efficacité est inférieure à 1 mais elle est constante dans le temps ; l'instrument permet donc de compter un nombre d'événements proportionnel au nombre de noyaux qui se sont désintégrés au cours d'un intervalle de temps donné. Cet intervalle de temps est réglable.

## I – Obtention du radon 220

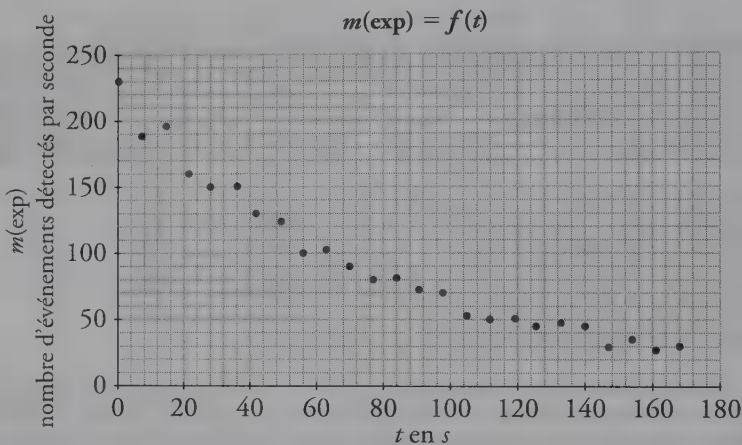
Une chaîne de désintégrations, ayant pour origine le thorium 232, donne le radon 220 ( $^{220}_{86}\text{Rn}$ ). Le noyau radioactif dont la désintégration donne le radon 220 est le radium 224 ( $^{224}_{88}\text{Ra}$ ), émetteur alpha.

Écrire l'équation de la désintégration du ( $^{224}_{88}\text{Ra}$ ) en précisant les lois de conservation.

[0,25 pt]

## II – Courbe expérimentale de décroissance radioactive du radon 220

L'élève utilise le tableur-grapheur pour placer les points expérimentaux dans un système d'axes  $(t, m(\text{exp}))$ . Il obtient le résultat suivant :



1. a. Tracer à main levée l'allure de la courbe  $m_{\text{exp}} = f(t)$ , en prenant pour valeur à l'origine la valeur  $m_0 = 220$  événements détectés par seconde. Cette valeur sera utilisée dans la suite de l'exercice chaque fois que les conditions initiales seront requises. [0,25 pt]

b. Donner la définition du temps de demi-vie,  $t_{1/2}$ , et déterminer graphiquement une valeur approchée de  $t_{1/2}$  pour le radon 220.

*Remarque :* Pour cette détermination, on admettra que le nombre d'événements détectés par seconde, à la date  $t$ , est proportionnel au nombre de noyaux radioactifs présents, à cette même date, dans l'échantillon. Pour déterminer  $t_{1/2}$  on peut alors utiliser la courbe  $m_{\text{exp}} = f(t)$  de la même façon que celle représentant le nombre de noyaux radioactifs présents dans l'échantillon en fonction du temps. [0,5 pt]

2. La constante radioactive  $\lambda$  du radon, donnée dans les tables, vaut  $\lambda = 0,0125 \text{ s}^{-1}$ . Cette valeur est-elle en accord avec la valeur trouvée du temps de demi-vie ? [0,25 pt]

## III – Courbe de décroissance radioactive par la méthode d'Euler

Le professeur propose ensuite à l'élève d'obtenir un ensemble de points qui modélise cette décroissance en utilisant la méthode d'Euler. Pour cela on note  $m(t)$  le nombre d'événements détectés à la date  $t$  et  $m(t + \Delta t)$  celui

qui correspond à la date  $t + \Delta t$  et on écrit  $m(t + \Delta t) - m(t) = \Delta m$ .  $\Delta t$  est appelé « pas de résolution » de la méthode d'Euler. On fait l'hypothèse que le radon 220 est seul responsable de la radioactivité de l'échantillon. On en déduit que  $\Delta m$  est proportionnel à la fois à  $m(t)$  et à  $\Delta t$  ; la constante de proportionnalité est  $-\lambda$  avec  $\lambda$  constante radioactive du radon 220.

1. Traduire mathématiquement la phrase précédente. [0,5 pt]

2. La méthode d'Euler appliquée à  $m$  donne :  $m(t + \Delta t) = m(t) + \Delta m$ . Pour appliquer cette méthode il faut choisir un « pas de résolution » adapté. Le professeur en propose 3 :  $1 \mu\text{s}$ ,  $0,5 \text{ s}$  et  $20 \text{ s}$ .

Pourquoi l'élève élimine-t-il la première valeur et la dernière ? [0,25 pt]

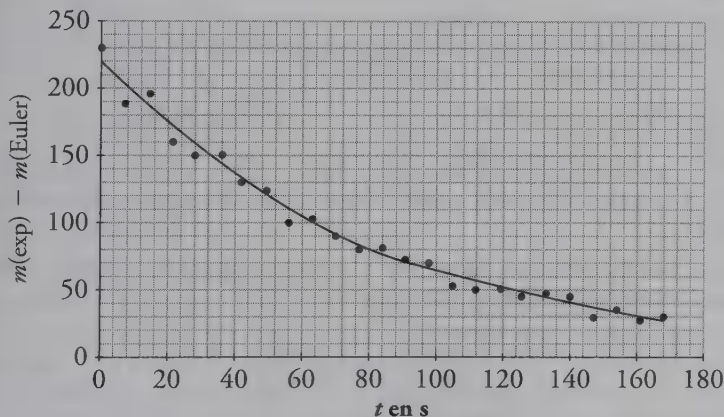
3. Calculer les premières valeurs de  $m$  obtenues par la méthode d'Euler en expliquant la démarche.

Recopier et compléter le tableau ci-dessous.

| $t \text{ (s)}$ | $m_{\text{Euler}}$ |
|-----------------|--------------------|
| 0               |                    |
| 0,5             |                    |
| 1               |                    |

[0,75 pt]

4. L'élève utilise le tableur-grapheur pour le calcul de  $m_{\text{Euler}}$  et le tracé des points obtenus dans le même système d'axes que précédemment. Il superpose les deux résultats.



*Remarque :* à l'impression, les points obtenus par la méthode d'Euler, qui sont très rapprochés, semblent former une ligne continue.

L'hypothèse de la question 3. (« le radon 220 est le seul responsable de la radioactivité de l'échantillon ») paraît-elle acceptable ? [0,5 pt]



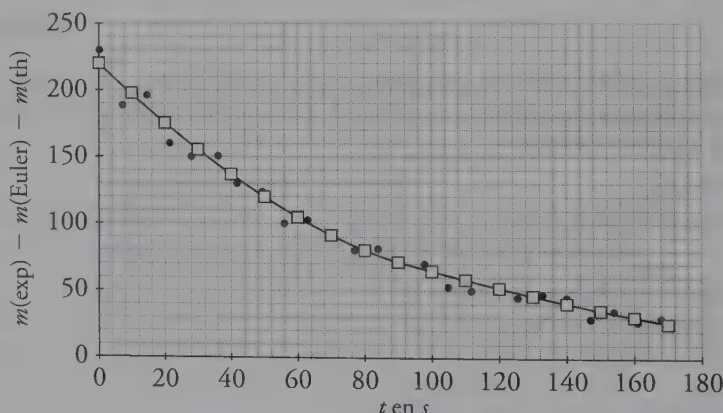
# IV – Modélisation par résolution d’une équation différentielle et confrontation avec la méthode d’Euler

Quand le pas de résolution  $\Delta t$  tend vers zéro, l’expression  $\frac{\Delta m}{\Delta t}$  tend vers la dérivée de  $m$  par rapport au temps qui peut être notée  $\frac{dm}{dt}$ .

1. Écrire l’expression de l’équation différentielle, comportant les termes  $\frac{dm}{dt}$ ,  $m$  et  $\lambda$ , traduisant la désintégration radioactive du radon 220. [0,5 pt]

2. Vérifier que  $m = m_0 e^{-\lambda t}$  est solution de l’équation différentielle trouvée à la question précédente. [0,5 pt]

3. À partir de cette équation et à l’aide du tableur, l’élève détermine les valeurs de  $m$ , appelées  $m(\text{th})$ , toutes les 10 secondes. Il superpose ensuite toutes les valeurs, expérimentales et calculées, et il obtient le résultat suivant :  $m(\text{exp}) = \text{points noirs}$  ;  $m(\text{Euler}) = \text{courbe continue}$  ;  $m(\text{th}) = \text{carrés blancs}$ .



a. Calculer les premières valeurs de  $m_{\text{th}}$  en expliquant la démarche. Recopier et compléter le tableau ci-dessous.

| $t$ (s) | $m_{\text{th}}$ |
|---------|-----------------|
| 0       |                 |
| 10      |                 |
| 20      |                 |

[0,75 pt]

b. Doit-on s’étonner de voir les « points  $m_{\text{th}}$  » sur le même profil que les « points  $m_{\text{Euler}}$  » ? [0,25 pt]

- c. La méthode d'Euler est-elle applicable si on ne connaît pas :
- les conditions initiales ?
  - une relation entre la grandeur étudiée et sa variation ?
  - la solution analytique de l'équation différentielle ?

Justifier chaque réponse.

[0,75 pt]

France métropolitaine, juin 1986 / 4 points

11

## DATATION DE PIERRES LUNAIRES

- Radioactivité  $\alpha$
- Radioactivité  $\beta^-$
- Radioactivité  $\beta^+$
- Radioactivité  $\gamma$
- Temps de demi-vie
- Datation par la méthode Argon 40/Potassium 40

### Calculatrice autorisée

1. En radioactivité, on observe en particulier les rayonnements  $\alpha$ ,  $\beta^+$ ,  $\beta^-$  et  $\gamma$ . Quelle est la nature de chacun de ces rayonnements ? [1 pt]
2. Un isotope du potassium  $^{40}_{19}\text{K}$  est radioactif. Il se désintègre pour donner de l'argon  $^{40}_{18}\text{Ar}$ . Écrire l'équation de désintégration. [0,75 pt]
3. Le temps de demi-vie du nucléide  $^{40}_{19}\text{K}$  est  $T = 1,5 \times 10^9$  ans. Calculer la constante radioactive. [0,75 pt]
4. Pour déterminer l'âge de cailloux lunaires rapportés par les astronautes d'Apollo XI, on mesure les quantités relatives de potassium 40 (radioactif) et de son produit de décomposition l'argon 40 qui est en général retenu par la roche. Un échantillon de 1 g contient  $82 \times 10^{-4} \text{ cm}^3$  d'argon 40 et  $1,66 \times 10^{-6} \text{ g}$  de potassium 40. Les volumes de gaz sont mesurés dans les conditions normales et on rappelle que l'argon est un gaz monoatomique. Quel est l'âge de ces cailloux ? [1,75 pt]

Données :

Constante d'Avogadro  $N = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

Volume molaire normal  $22,4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

**12****SOURCE RADIOACTIVE DE CÉSIMUM 137**

- Radioactivité  $\beta^-$
- Temps de demi-vie
- Activité
- Histogramme

**Calculatrice autorisée**

1. Le césium  $^{137}_{55}\text{Cs}$  peut constituer une source radioactive utilisée en TP, lorsqu'elle est associée à un compteur Geiger-Muller (G.M.). Le césium est émetteur  $\beta^-$  et donne un noyau de baryum Ba qui subit ensuite une désexcitation.

a. Écrire l'équation de la désintégration du césium. Préciser le nom du rayonnement émis lors de la désexcitation. Cette émission modifie-t-elle le numéro atomique et le nombre de masse du baryum ? **[1,5 pt]**

b. Le temps de demi-vie est  $T = 30$  ans et son activité  $A_0 = 3 \cdot 10^4$  Bq lors de la préparation de la source en Juin 1986.

Rappeler la définition du becquerel.

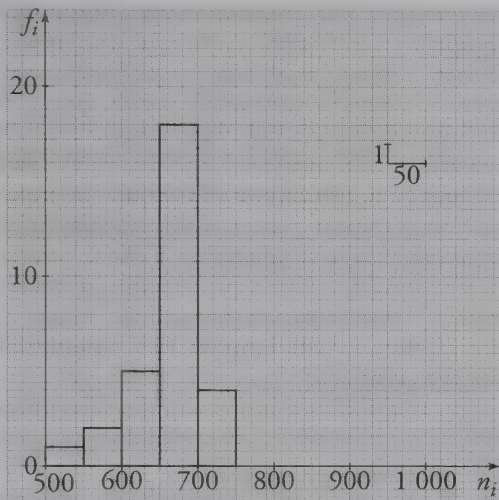
Quelle est l'activité  $A_p$  de la source juste au début d'un TP, 5 ans après sa préparation ? **[0,75 pt]**

c. Durant une séance de TP, la source est utilisée en moyenne 1 heure ; son activité est-elle modifiée de façon appréciable durant la séance ? Justifier votre réponse. **[0,75 pt]**

d. Quelle sera l'activité de la source mesurée par des élèves en Juin 2016 ? **[0,5 pt]**

2. Dans une expérience, un écran d'aluminium est interposé entre la source radioactive et le compteur G.M. ; la durée du comptage est fixée à  $t$  (s), (très petit devant la période  $T$ ) ; on effectue 30 comptages, les mesures sont faites toutes les minutes.

À partir de  $n_i$  le nombre d'impulsions détectées par comptage, et de  $f_i$  le nombre de fois où cette valeur  $n_i$  a été mesurée, on construit l'histogramme donné ci-après.



a. Quel est l'ordre de grandeur  $n_p$  du nombre d'impulsions le plus probable pour un comptage ? [0,75 pt]

b. Quel caractère du phénomène de radioactivité cet histogramme met-il en évidence ? [0,75 pt]

Asie, juin 2003 / 6,5 points

# 13

## LES APPLICATIONS TECHNOLOGIQUES DE LA RADIOACTIVITÉ

- Isotopes
- Radioactivité  $\alpha$
- Radioactivité  $\beta^-$
- Demi-vie
- Activité
- Décroissance radioactive
- Constante radioactive

Calculatrice autorisée

### > DOCUMENT

« Au cours du XX<sup>e</sup> siècle, d'énormes progrès ont été réalisés en médecine grâce à la radioactivité. La technique consiste à introduire dans l'organisme

des substances radioactives appelées traceurs pour diagnostiquer (identifier la maladie) et soigner. Par exemple, on sait que les phosphonates entrent dans le métabolisme <sup>1</sup> osseux ; si on injecte du phosphonate radiomarké au « technétium 99 », celui-ci se comporte comme un traceur. Il participe au métabolisme de la même façon que le phosphonate naturel auquel il est mélangé et se répartit sur le squelette. Le rayonnement gamma émis traverse les tissus et peut donc être détecté à l'extérieur de l'organisme par une gamma caméra. Cette caméra permet d'obtenir des informations sous forme d'une image appelée la scintigraphie. Celle-ci pourra apporter des renseignements fonctionnels comme, par exemple, le degré de consolidation d'une fracture. D'autres traceurs sont utilisés ; citons : l'« iode 131 », le « carbone 11 », l'« azote 13 », l'« oxygène 15 ». Ils sont choisis parce que leur activité décroît rapidement.

La radioactivité est utilisée dans le traitement des tumeurs et des cancers : c'est la radiothérapie. Le principe consiste à bombarder une tumeur avec le rayonnement  $\beta^-$  émis par le « cobalt 60 ».

Dans certains cas, il faut une source radioactive plus ionisante : on utilise un rayonnement de type alpha, plus massif que les autres.

La découverte de la radioactivité a donné aux sciences, à la médecine et à l'industrie un élan qui, après un siècle, ne s'est pas ralenti. »

1. Le métabolisme représente l'ensemble des transformations physiques et chimiques dans les tissus vivants.

*D'après des textes d'un site Internet.*

## > QUESTIONS

### I – Questions préalables

1. Par quels nombres caractérise-t-on le noyau d'un atome ? **[0,25 pt]**
2. Le « carbone 11 » et le « carbone 12 » sont deux isotopes. Qu'est-ce qui différencie les isotopes d'un même élément chimique ? **[0,25 pt]**
3. L'« oxygène 15 » est radioactif  $\beta^+$ . Écrire l'équation de la désintégration correspondante. On supposera que le noyau fils n'est pas émis dans un état excité. **[0,25 pt]**

*Extrait de la classification périodique :*

|                |                |                |                |                    |                    |
|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|
| ${}_6\text{C}$ | ${}_7\text{N}$ | ${}_8\text{O}$ | ${}_9\text{F}$ | ${}_{10}\text{Ne}$ | ${}_{11}\text{Na}$ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|

### II – À propos du texte

1. Dans le texte on parle de traceurs, quelle propriété commune présentent-ils ? **[0,25 pt]**
2. Le texte donne une particularité des radioéléments utilisables en scintigraphie, laquelle ? **[0,25 pt]**

### 3. Quelques types de rayonnement :

a. Dans le texte, il est question de radioactivité  $\beta^-$ , et alpha ; donner le nom et le symbole  ${}^A_ZX$  de chacune de ces particules. **[0,5 pt]**

b. Justifier à partir de la question précédente la phrase « un rayonnement de type alpha plus massif que les autres ». Justifier. **[0,5 pt]**

## III – Scintigraphie

On injecte à un patient un échantillon d'« iode 131 » de temps de demi-vie égal à 8 jours environ.

1. Donner la définition du temps de demi-vie. **[0,25 pt]**

2. En vous aidant du tableau ci-dessous, justifier le choix de l'« iode 131 » en scintigraphie. **[0,25 pt]**

|                                                   | Activité $A_0$ en Bq<br>au moment de l'injection | Activité $A_{400}$ en Bq<br>400 jours après l'injection |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Traceur de demi-vie égale<br>à 8 jours (Iode 131) | $2 \times 10^5$                                  | $6 \times 10^{-3}$                                      |
| Traceur de demi-vie égale<br>à 80 jours           | $2 \times 10^5$                                  | 6 255                                                   |

## IV – Radiothérapie

Le cobalt  ${}^{60}_{27}\text{Co}$  est émetteur  $\beta^-$  de constante radioactive  $\lambda = 4 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}$ .

1. Écrire l'équation de la désintégration du « cobalt 60 ». On supposera que le noyau fils est produit dans un état excité. **[0,25 pt]**

Données :

Extrait de la classification périodique :

|                    |                    |                    |                    |                    |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| ${}_{25}\text{Mn}$ | ${}_{26}\text{Fe}$ | ${}_{27}\text{Co}$ | ${}_{28}\text{Ni}$ | ${}_{29}\text{Cu}$ |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|

Constante d'Avogadro :  $6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

Masse molaire moléculaire du cobalt 60 :  $60 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

2. Un centre hospitalier reçoit un échantillon de « cobalt 60 ».

a. Déterminer le nombre  $N_0$  de noyaux contenus dans l'échantillon de  $1 \mu\text{g}$  à l'instant de sa réception dans l'établissement hospitalier. **[0,5 pt]**

b. Rappeler l'expression liant  $\Delta N$ ,  $\Delta t$ ,  $\lambda$  et  $N$  dans laquelle  $N$  représente le nombre de noyaux encore présents dans l'échantillon à l'instant de date  $t$ . **[0,25 pt]**

c. Donner l'expression de  $\Delta N$  en fonction de  $\Delta t$ ,  $\lambda$ ,  $N_0$ , et  $t$ . **[0,25 pt]**

Le technicien du laboratoire est chargé de contrôler cette source, tous les ans, pendant 10 ans. À l'aide d'un compteur, il détermine le nombre de



désintégrations  $\Delta N$  obtenues pendant une courte durée notée  $\Delta t = 1 \text{ s}$ .

Ce nombre est appelé activité  $A$  définie par  $\frac{|\Delta N|}{\Delta t}$ .

d. Montrer que l'activité  $A = \frac{|\Delta N|}{\Delta t}$  peut se mettre sous la forme

$A = A_0 e^{-\lambda t}$ . Que vaut littéralement  $A_0$ ? [0,5 pt]

e. On trace à l'aide d'un logiciel approprié le graphe du logarithme de l'activité  $A$  en fonction du temps :  $\ln A = f(t)$ . (Voir le graphe ci-après)

Rappel :  $\ln(ab) = \ln a + \ln b$

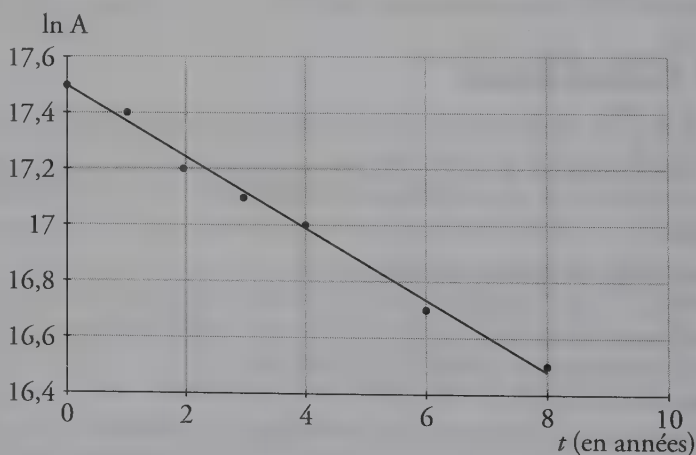
Exprimer  $\ln A$  en fonction de  $t$ ,  $\lambda$  et  $A_0$ , activité initiale de l'échantillon à l'instant de sa réception. [0,5 pt]

f. Montrer que la forme de la courbe ci-après constitue une vérification expérimentale de l'expression trouvée précédemment. [0,25 pt]

g. Déterminer graphiquement la valeur de la constante de désintégration radioactive  $\lambda$  en  $\text{an}^{-1}$ . [0,5 pt]

h. Donner la relation entre  $t_{1/2}$  et  $\lambda$ . [0,25 pt]

i. Calculer  $t_{1/2}$  en années. Dans les tables, on trouve  $t_{1/2} = 1,68 \times 10^8 \text{ s}$  pour le « cobalt 60 ». Commenter. [0,5 pt]



La Réunion, juin 2003 / 4 points

14

## MÉCANISME DE FUSION DE L'HYDROGÈNE DANS UNE ÉTOILE

- Fusion nucléaire
- Fission nucléaire
- Perte de masse

### Calculatrice NON autorisée

On se propose de commenter un extrait d'article du dossier hors série de la revue « Pour la science » de janvier 2001.

« La phase de fusion (ou combustion) de l'hydrogène est la plus longue de la vie des étoiles. Si la masse stellaire est comparable ou inférieure à celle du Soleil, la température centrale est inférieure à **une vingtaine de millions de degrés**. Dans ces conditions, la fusion de **deux noyaux d'hydrogène** (ou protons) produit **un noyau de Deutérium** qui capture un autre proton et forme un **noyau d'Hélium 3** ... Finalement, **deux noyaux d'Hélium 3** fusionnent en **un noyau d'Hélium 4** ... L'ensemble de ces réactions constitue la première de ces chaînes proton-proton ou chaîne p – p, la plus importante dans le cas du Soleil... ».

*Les trois parties de l'exercice sont indépendantes et peuvent donc être traitées indépendamment les unes des autres.*

Les valeurs numériques ont été volontairement simplifiées, afin de permettre la réalisation des calculs sans faire usage de la calculatrice.

### I – Quelques considérations de vocabulaire

1. Donner une définition rapide des mots « fusion nucléaire » et « fission nucléaire ».

[0,25 pt]

2. En considérant les charges des noyaux en cause dans le mécanisme de fusion, expliquer pourquoi ces réactions ne peuvent se produire qu'à très haute température ( $2 \cdot 10^7$  °C). On parle alors de fusion thermonucléaire...

[0,5 pt]

### II – Étude de la chaîne de réactions

Notations utilisées pour les noyaux concernés :

Hydrogène (ou proton) :  ${}^1_1\text{H}$  (ou  ${}^1_1\text{p}$ ) Deutérium :  ${}^2_1\text{H}$

Hélium 3 :  ${}^3_2\text{He}$  Hélium 4 :  ${}^4_2\text{He}$

1. Écrire la réaction de fusion de deux noyaux d'hydrogène en un noyau de deutérium et une particule que l'on notera sous la forme  ${}^A_ZX$ . Comment s'appelle cette particule ? **[0,5 pt]**
2. Écrire la réaction de fusion d'un noyau de deutérium et d'un proton en un noyau d'hélium 3. Cette fusion s'accompagne de l'émission d'un photon. Comment peut-on interpréter cette émission ? **[0,5 pt]**
3. Écrire la réaction de fusion de deux noyaux d'hélium 3 en un noyau d'hélium 4. Cette fusion s'accompagne de l'émission de deux autres noyaux identiques. Lesquels ? **[0,25 pt]**
4. Écrire la réaction bilan des trois réactions précédentes, qui, à partir de noyaux d'hydrogène, permet d'obtenir un noyau d'hélium 4. **[0,5 pt]**

### III – Considérations énergétiques. Le Soleil « maigrît-il » ?

On considère désormais la réaction suivante :



On donne les masses des noyaux, en unité de masse atomique :

$${}^1_1\text{H} : 1,007\,3\,\text{u} ; \quad {}^4_2\text{He} : 4,002\,6\,\text{u} ; \quad {}^0_1\text{e} : 0,000\,6\,\text{u}.$$

1 u correspond à une énergie de 935 MeV (  $\approx 1\,000$  MeV ).

1. Calculer la perte de masse correspondant à cette fusion. **[0,25 pt]**
2. En déduire une estimation, en MeV, de la valeur de l'énergie libérée par nucléon lors de cette fusion.

On choisira, parmi les estimations suivantes, la réponse correcte :

$$0,6\,\text{MeV} \quad 6\,\text{MeV} \quad 60\,\text{MeV} \quad \textbf{[0,5 pt]}$$

3. Le Soleil transforme, chaque seconde, 720 millions de tonnes d'hydrogène en hélium 4. Estimer la perte de masse subie, chaque seconde, par le Soleil. On choisira, parmi les estimations suivantes, la réponse correcte :

$$4\,500\,\text{tonnes} \quad 45\,000\,\text{tonnes} \quad 450\,000\,\text{tonnes} \quad 4\,500\,000\,\text{tonnes}$$

*Remarque :* On pourra remarquer que le rapport  $0,025\,4/4,029\,2$  est très peu différent de  $1/160$ . **[0,5 pt]**

Antilles-Guyane, juin 2003 / 5,5 points

15

# RADIOACTIVITÉ DANS LA FAMILLE DE L'URANIUM

- Radioactivité  $\alpha$
- Défaut de masse
- Énergie de liaison
- Isotope
- Fission nucléaire
- Courbe d'Aston
- Radioactivité  $\beta^-$

## Calculatrice autorisée

Données (valables pour tout l'exercice) :

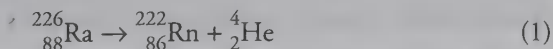
|                                               |                                                      |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Unité de masse atomique                       | $u = 1,660\,54 \times 10^{-27} \text{ kg}$           |
| Énergie de masse de l'unité de masse atomique | $E = 931,5 \text{ MeV}$                              |
| Électronvolt                                  | $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$      |
| Megaélectronvolt                              | $1 \text{ MeV} = 1 \times 10^6 \text{ eV}$           |
| Vitesse de la lumière dans le vide            | $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ |

| Nom du noyau ou de la particule | Radon                  | Radium                 | Hélium          | Neutron        | Proton         | Électron              |
|---------------------------------|------------------------|------------------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------------|
| Symbole                         | $^{222}_{86}\text{Rn}$ | $^{226}_{88}\text{Ra}$ | $^4_2\text{He}$ | $^1_0\text{n}$ | $^1_1\text{p}$ | $^0_{-1}\text{e}$     |
| Masse (en u)                    | 221,970                | 225,977                | 4,001           | 1,009          | 1,007          | $5,49 \times 10^{-4}$ |

## I – Désintégration du radium

L'air contient du radon 222 en quantité plus ou moins importante.

Ce gaz radioactif naturel est issu des roches contenant de l'uranium et du radium. Le radon se forme par désintégration du radium (lui-même issu de la famille radioactive de l'uranium 238), selon l'équation de réaction nucléaire suivante :



1. Quel est le type de radioactivité correspondant à cette réaction de désintégration ? Justifier votre réponse. [0,25 pt]

### 2. Défaut de masse

a. Donner l'expression littérale du défaut de masse  $\Delta m$  du noyau de symbole  $^A_Z\text{X}$  et de masse  $m_X$ . [0,25 pt]

b. Calculer le défaut de masse du noyau de radium Ra. L'exprimer en unité de masse atomique u. [0,5 pt]

3. Écrire la relation d'équivalence masse-énergie. [0,25 pt]

4. Le défaut de masse  $\Delta m(\text{Rn})$  du noyau de radon Rn vaut  $3,04 \times 10^{-27}$  kg.

a. Définir l'énergie de liaison  $E_\ell$  d'un noyau. [0,25 pt]

b. Calculer, en joule, l'énergie de liaison  $E_\ell^{\text{Rn}}$  du noyau de radon. [0,5 pt]

c. Vérifier que cette énergie de liaison vaut  $1,71 \times 10^3$  MeV. [0,5 pt]

d. En déduire l'énergie de liaison par nucléon  $E_\ell/A$  du noyau de radon. Exprimer ce résultat en  $\text{MeV} \cdot \text{nucléon}^{-1}$ . [0,25 pt]

### 5. Bilan énergétique

a. Établir littéralement la variation d'énergie  $\Delta E$  de la réaction (I) en fonction de  $m_{\text{Ra}}$ ,  $m_{\text{Rn}}$  et  $m_{\text{He}}$ , masses respectives des noyaux de radium, de radon et d'hélium. [0,25 pt]

b. Exprimer  $\Delta E$  en joule. [0,5 pt]

## II – Fission de l'uranium 235

À l'état naturel, l'élément uranium comporte principalement les isotopes  $^{238}_{92}\text{U}$  et  $^{235}_{92}\text{U}$ .

Dans une centrale nucléaire « à neutrons lents », le combustible est de l'uranium « enrichi ».

Lors de la fission d'un noyau d'uranium 235, un grand nombre de réactions sont possibles.

Parmi celles-ci, il y en a une qui donne les noyaux de zirconium et de tellure, dont les symboles des noyaux sont  $^{99}_{40}\text{Zr}$  et  $^{134}_{52}\text{Te}$ .

1. Définir le terme « isotope ». [0,25 pt]

### 2. Intérêt énergétique de la fission

a. Donner la définition de la fission. [0,25 pt]

b. Écrire la réaction de fission d'un noyau d'uranium 235 bombardé par un neutron, conduisant à la formation de Zr et de Te. [0,25 pt]

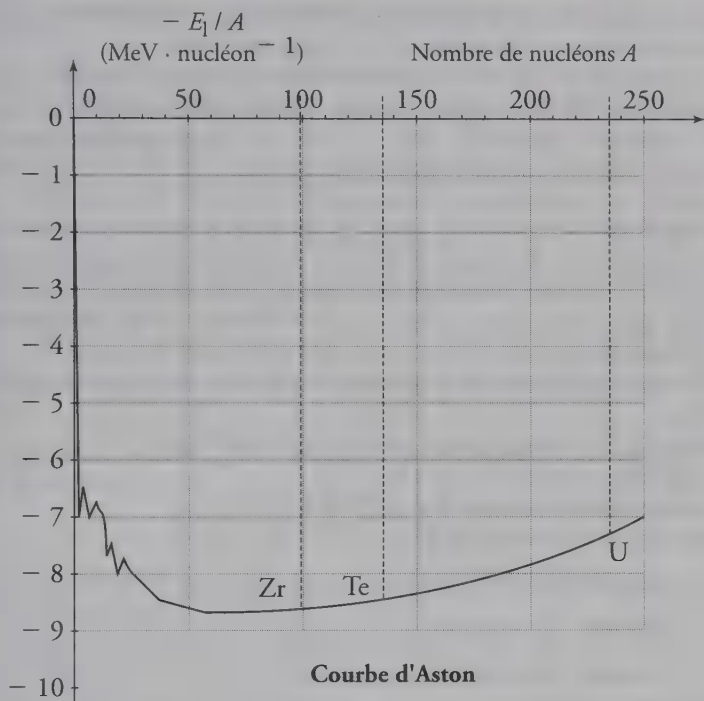
c. Les noyaux U, Zr et Te sont placés sur la courbe d'Aston (courbe ci-en fin d'énoncé, à rendre avec la copie). À partir de cette courbe, dégager l'intérêt énergétique de cette réaction de fission. [0,5 pt]

## III – Désintégration du noyau Zr

Le noyau Zr issu de la fission du noyau d'uranium est instable. Il se désintègre au cours d'une désintégration  $\beta^-$  donnant le noyau de niobium Nb.

1. Donner la définition de la radioactivité  $\beta^-$ . [0,5 pt]

2. Écrire l'équation de désintégration du noyau Zr. [0,25 pt]



France métropolitaine, juin 1986 / 5,5 points

16

## SURREGÉNÉRATEUR

- Capture neutronique
- Radioactivité  $\beta^-$
- Fission nucléaire
- Isotopes

Calculatrice autorisée

## &gt; DOCUMENT

Lire attentivement le texte suivant, tiré d'un commentaire de la documentation E.D.F. sur les réacteurs nucléaires à neutrons rapides puis répondre aux questions posées.



« ... La matière de base de l'énergie nucléaire est l'uranium naturel qui contient deux isotopes : l'uranium 235 et l'uranium 238...

... Les réacteurs nucléaires à neutrons rapides emploient l'uranium 235 ou le plutonium 239 (ou les deux à la fois) comme combustibles.

Leur propriété essentielle est de tirer un bien meilleur parti de l'uranium 238 que les réacteurs à neutrons lents : en effet à énergie égale produite, ils transforment davantage d'atomes d'uranium 238 en plutonium 239. En définitive, dans les réacteurs à neutrons rapides bien étudiés, la quantité de matière fissile créée excède notablement celle qui est consommée. Tout en fournissant de l'énergie ils produisent plus de combustible qu'ils en utilisent. C'est ce qu'on exprime en disant qu'ils sont surrégénérateurs... »

Les données nécessaires à la résolution de l'exercice seront prises parmi les suivantes :

– Célérité de la lumière dans le vide  $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

– Charge élémentaire  $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ .

– Unité de masse atomique  $1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV}/c^2$ .

– Masse des particules (en u) :

• antineutrino  ${}^0_0\bar{\nu} : 0$

• électron  ${}^0_{-1}e : 5,5 \times 10^{-4}$ .

• neutron  ${}^1_0n : 1,0087$ .

– Masse des atomes (en u).

| élément  | molybdène                |                          | technetium               |                          | tellure                  |
|----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| nucléide | ${}^{101}_{42}\text{Mo}$ | ${}^{104}_{42}\text{Mo}$ | ${}^{101}_{43}\text{Tc}$ | ${}^{102}_{43}\text{Tc}$ | ${}^{135}_{53}\text{Te}$ |
| masse    | 100,907 3                | 101,910 3                | 100,907 3                | 101,909 2                | 134,916 7                |

| élément  | uranium                 |                         | neptunium                | plutonium                |
|----------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| nucléide | ${}^{235}_{92}\text{U}$ | ${}^{238}_{92}\text{U}$ | ${}^{239}_{93}\text{Np}$ | ${}^{239}_{94}\text{Pu}$ |
| masse    | 235,043 9               | 238,050 8               | 239,053 3                | 239,053 0                |

## > QUESTIONS

1. Qu'appelle-t-on isotopes ? Quelle est la constitution des noyaux d'uranium 235 et d'uranium 238 ?

La masse atomique de l'uranium naturel étant égale à 238,03 u des trois affirmations suivantes laquelle vous paraît exacte :

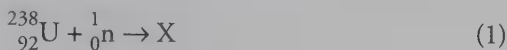
(1) L'uranium naturel contient 80 % d'uranium 235

(2) L'uranium naturel contient 40 % d'uranium 238

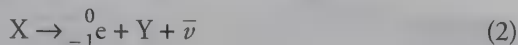
(3) L'uranium naturel contient 0,7 % d'uranium 235 ?

[1 pt]

2. Dans le réacteur l'uranium 238 réagit avec les neutrons :



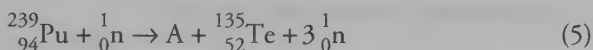
Le nucléide obtenu est radioactif et par deux émissions  $\beta^-$  successives se transforme en plutonium :



a. Identifier X et Y en les nommant et en indiquant leur nombre de masse ainsi que leur numéro atomique. **[0,75 pt]**

b. Écrire l'équation-bilan de la réaction nucléaire entre un noyau  ${}^{238}_{92}\text{U}$  et un neutron conduisant au plutonium 239 (celle-ci sera appelée réaction (4)). **[0,5 pt]**

3. Le plutonium 239  ${}^{239}_{94}\text{Pu}$  est fissile et peut réagir avec des neutrons suivant la réaction :



a. Identifier A en le nommant et en indiquant son nombre de masse et son numéro atomique. **[0,75 pt]**

b. Calculer, en  $\text{MeV}/c^2$ , le défaut de masse  $\Delta m$  de cette réaction. En déduire l'énergie libérée lors de la fission d'un noyau de plutonium. **[1 pt]**

c. Si on admet que la fission de chaque noyau de plutonium s'accompagne en moyenne, d'une telle libération d'énergie, trouver en joules l'énergie libérée par un kilogramme de plutonium. **[1 pt]**

4. On définit le facteur de conversion d'un réacteur nucléaire par le rapport :

$$C = \frac{\text{nombre de noyaux fissiles créés}}{\text{nombre de noyaux fissiles consommés}}$$

À l'aide des équations (4) et (5) justifier la définition du surrégénérateur donnée dans le texte de l'E.D.F. **[0,5 pt]**

France métropolitaine, juin 2001 / 5 points

## 17

### ÉTUDE DE LA DÉCHARGE D'UN CONDENSATEUR

- Circuit R, C
- Constante de temps
- Charge d'un condensateur

Calculatrice **NON** autorisée

#### > DISPOSITIF

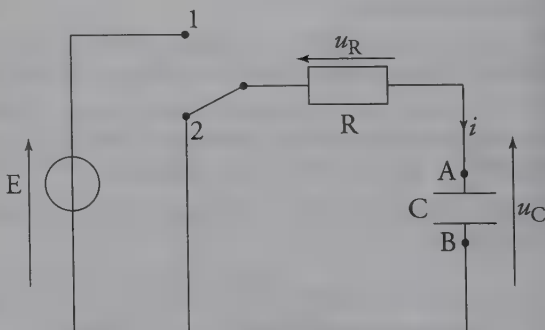
Le montage ci-contre permet d'étudier l'évolution de la tension  $u_C$  aux bornes d'un condensateur de capacité  $C$  en série avec une résistance  $R$ .

Le commutateur (interrupteur à plusieurs positions) a deux positions possibles repérées par 1 et 2.

Une interface, reliée à un ordinateur, permet de saisir les valeurs instantanées de cette tension  $u_C$ .

Initialement, le commutateur est depuis longtemps en position 2 et le condensateur est déchargé.

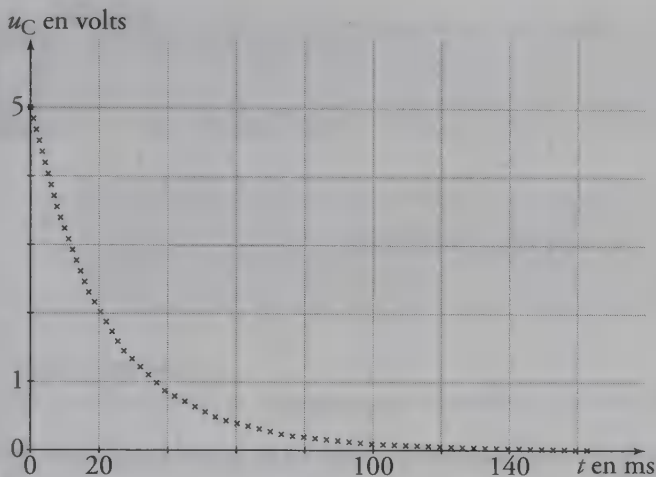
Donnée :  $E = 5,0 \text{ V}$ .



#### > QUESTIONS

I – Dès lors comment faut-il manipuler le commutateur pour obtenir la courbe du **document 1** ci-après donnant l'évolution de la tension  $u_C$  aux bornes du condensateur en fonction du temps ?

[0,25 pt]



Document 1

**II – 1.** En respectant les conventions d'orientation du schéma du circuit :

**a.** préciser le signe de l'intensité  $i$  du courant lors de la décharge ; [0,5 pt]

**b.** écrire la relation entre l'intensité  $i$  du courant et la tension  $u_R$  ; [0,25 pt]

**c.** écrire la relation entre la charge  $q$  de l'armature A du condensateur et la tension  $u_C$  ; [0,25 pt]

**d.** écrire la relation entre l'intensité  $i$  et la charge  $q$  ; [0,25 pt]

**e.** écrire la relation entre les tensions  $u_R$  et  $u_C$  lors de la décharge. [0,25 pt]

**2.** En déduire que, lors de la décharge, l'équation différentielle vérifiée par la tension  $u_C$  est de la forme :

$$u_C = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{du_C}{dt} = 0 \quad [0,5 \text{ pt}]$$

**3.** Identifier le rapport  $\frac{1}{\alpha}$ . [0,25 pt]

**4.** Ce rapport est appelé constante de temps  $\tau$  du dipôle RC.

En recherchant son unité, justifier cette appellation. [0,5 pt]

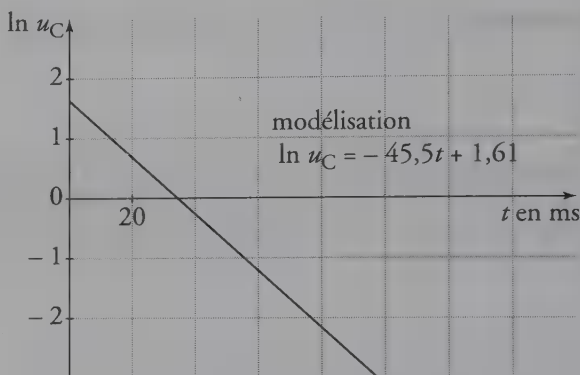
**III –** La solution de l'équation différentielle précédemment établie est de la forme :  $u_C = E \cdot e^{-\alpha t}$

**1.** La tension  $u_C$  est exprimée en volts. Établir l'expression du logarithme népérien de sa valeur, notée  $\ln u_C$ .

On rappelle que :

$$\ln ab = \ln a + \ln b ; \ln a^x = x \cdot \ln a ; \ln e = 1. \quad [0,25 \text{ pt}]$$

**2.** On a tracé, à l'aide d'un logiciel, la courbe représentant  $\ln u_C$  en fonction du temps (document 2).



Document 2

- a. Montrer que l'allure de cette courbe est en accord avec l'expression obtenue en III-1. [0,25 pt]
- b. Avec laquelle des trois valeurs proposées pour la constante de temps  $\tau$ , les résultats de la modélisation vous semblent-ils en accord :

$$\tau = 0,46 \text{ ms} ; \tau = 2,2 \text{ ms} ; \tau = 22 \text{ ms} ?$$

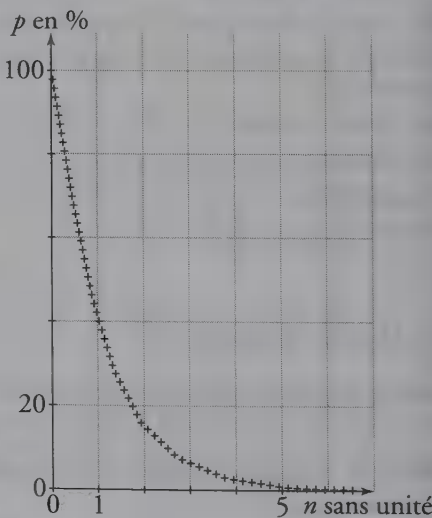
[0,5 pt]

**IV -** Le logiciel permet de créer deux nouvelles grandeurs :

$p = 100 \frac{u_C}{E}$  représentant le pourcentage de charge restant à la date  $t$

$n = \alpha t = \frac{t}{\tau}$  représentant la durée de la décharge en unités de constante de temps (c'est-à-dire quand  $t = \tau$ ,  $n = 1$  ;  $t = 2\tau$ ,  $n = 2$ , etc.).

La courbe du document 3 représente  $p$  en fonction de  $n$ .



1. Pour  $n = 1$ , déterminer graphiquement le pourcentage de charge restante.

[0,5 pt]

2. Pour quelle valeur de  $n$ , la décharge peut-elle être considérée comme terminée ?

[0,25 pt]

3. Quelle est la durée minimale pendant laquelle le commutateur doit rester dans la position convenable pour que la charge du condensateur puisse être considérée comme totale ?

[0,25 pt]

Inde, Avril 2003 / 4 points

18

## LE FLASH ÉLECTRONIQUE

- Circuit RC
- Énergie électrique stockée dans un condensateur
- Décharge d'un condensateur

*D'après une documentation.*

(Certains renseignements et données sont nécessaires à la résolution du sujet).

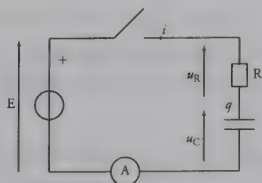
Un flash électronique d'appareil photo est alimenté par deux piles de 1,5 volts. Un oscillateur basse tension transforme le courant continu en courant alternatif. Un petit transformateur dont le bobinage primaire constitue l'inductance de ce circuit oscillant élève la tension qui est ensuite redressée au moyen d'une diode. Cette tension redressée permet de charger un condensateur de capacité  $C = 150 \mu\text{F} \pm 10 \%$  à une tension de  $U = 330$  volts.

## I – Étude du flash

1. Donner l'expression de l'énergie électrique  $E_e$  stockée dans le condensateur de ce flash lorsqu'il est chargé. Calculer sa valeur numérique. **[0,5 pt]**
2. La décharge rapide dans la lampe à éclats provoque un éclair d'une durée d'environ une milliseconde. Quelle est la valeur numérique de la puissance électrique  $P_e$  consommée durant cet éclair ? **[0,25 pt]**
3. Pour quelle raison doit-on élever la tension avant de l'appliquer, une fois redressée, aux bornes du condensateur ? **[0,75 pt]**

## II – Étude expérimentale du circuit RC

Pour vérifier la valeur de la capacité  $C$  de ce condensateur, un élève a réalisé le montage suivant. La résistance  $R$  a une grande valeur et le générateur de tension continue a pour force électromotrice  $E = 12$  V.





À la date  $t = 0$ , il ferme le circuit et note les intensités dans le circuit toutes les 10 secondes :

| $t$ (s)               | 0    | 10   | 20   | 30   | 40   | 50   | 60  | 70  | 80  | 90  |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| $i$ ( $\mu\text{A}$ ) | 54,0 | 40,6 | 30,6 | 23,0 | 17,4 | 13,1 | 9,8 | 7,3 | 5,6 | 4,2 |

1. Sachant que le condensateur est déchargé à la date  $t = 0$ , déterminer la valeur de la résistance  $R$  utilisée dans ce montage. **[0,5 pt]**

2. Tracer sur une feuille de papier millimétré la courbe  $i = f(t)$  à partir du tableau de mesures ci-dessus. On prendra 2 cm pour 10 s en abscisse et 2 cm pour 10  $\mu\text{A}$  en ordonnée. **[0,5 pt]**

3. L'intensité du courant électrique durant cette expérience décroît en fonction du temps selon la loi :

$$i(t) = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}},$$

$\tau$  étant la constante de temps de ce circuit et  $I_0$  l'intensité à  $t = 0$  :  $I_0 = i(0)$ .

Quelle est la valeur numérique de l'intensité  $i(\tau)$  dans ce circuit lorsque  $t = \tau$  ?

Lire sur le graphe la valeur de  $\tau$  et en déduire la valeur de la capacité  $C$  de ce condensateur. Ce résultat vous semble-t-il conforme aux indications du fabricant ? **[1,5 pt]**

Antilles-Guyane, juin 2003 / 4 points

19

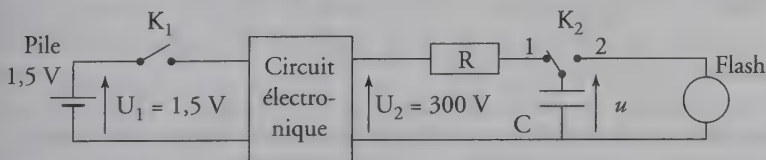
## CONDENSATEUR D'UN FLASH

- Constante du temps
- Énergie emmagasinée par un condensateur
- Décharge d'un condensateur
- Équation différentielle caractéristique

## Calculatrice autorisée

On se propose d'étudier le fonctionnement d'un flash d'appareil photographique jetable. Pour obtenir un éclair de puissance lumineuse suffisante, on utilise un tube flash qui nécessite pour son amorçage, une forte tension (au moins 250 V) pour émettre un éclair très bref. Pour stocker l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement du tube flash, on utilise un condensateur de capacité  $C$ . Ce condensateur est chargé à l'aide d'un circuit électronique alimenté par une pile. On schématise le fonctionnement de ce dispositif sur le schéma ci-dessous :

- l'alimentation est assurée par une pile de tension continue  $U_1 = 1,50 \text{ V}$  ;
- un circuit électronique permettant d'élever la tension  $U_1$  à une tension continue  $U_2 = 300 \text{ V}$  ;
- un conducteur ohmique de résistance  $R = 1,00 \text{ k}\Omega$  permettant la charge du condensateur de capacité  $C = 150 \text{ }\mu\text{F}$  en plaçant l'interrupteur inverseur  $K_2$  en position 1 et en fermant l'interrupteur  $K_1$  ;
- le tube flash qui est déclenché (une fois le condensateur chargé) en basculant l'interrupteur  $K_2$  en position 2.



## I - Charge du condensateur

On charge le condensateur en fermant l'interrupteur  $K_1$ .

1. On donne l'expression de la constante de temps  $\tau = RC$ . Vérifier par analyse dimensionnelle l'homogénéité de cette formule. [0,5 pt]

2. Calculer numériquement  $\tau$ . [0,25 pt]

3. Calculer l'énergie emmagasinée  $E$  par le condensateur de capacité  $C$  une fois la charge terminée à la tension  $U_2$ . [0,25 pt]

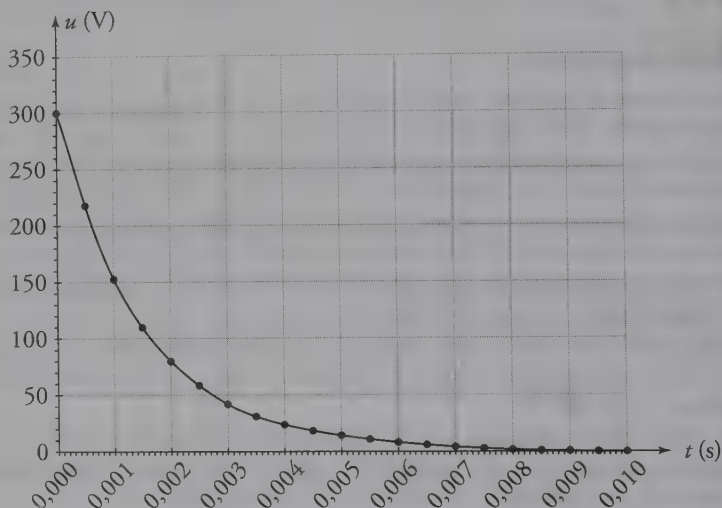
4. En calculant l'énergie  $E'$  qu'aurait stockée le condensateur s'il avait été chargé directement à l'aide de la pile (tension  $U_1$ ), justifier l'intérêt de charger le condensateur avec une haute tension de 300 V. [0,5 pt]

## II - Décharge

En plaçant l'interrupteur inverseur  $K_2$  sur la position 2 on provoque le flash grâce à l'énergie stockée dans le condensateur.

On enregistre la tension  $u$  aux bornes du condensateur C (voir graphique ci-après).

Graphique :  $u = f(t)$

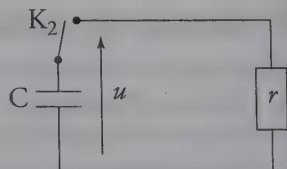


### 1. Comparaison entre temps de charge et temps de décharge

a. Déterminer graphiquement la constante de temps  $\tau'$  correspondant à la décharge en précisant la méthode employée (le graphe complété sera rendu avec la copie). [0,5 pt]

b. Comparer les constantes de charge  $\tau$  et de décharge  $\tau'$ . Ce constat est-il en accord avec les conditions de fonctionnement d'un tube flash ? [0,25 pt]

2. On assimilera, après son amorçage, le tube flash à un conducteur ohmique de résistance  $r$ . À partir du schéma électrique ci-contre montrer que l'équation différentielle de la décharge du condensateur à travers un conducteur ohmique de résistance  $r$  est de la forme :  $\frac{du}{dt} + \frac{1}{r \cdot C} \cdot u = 0$



[0,75 pt]

3. Vérifier que la solution est de la forme  $u = U_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$ . [0,5 pt]
4. Que représente la tension  $U_0$  pour le fonctionnement du tube flash ? [0,25 pt]
5. Déterminer  $U_0$ . Cette valeur est-elle en accord avec la production de l'éclair ? [0,25 pt]

La Réunion, Juin 2002 / 5,5 points

20

## QUALITÉ D'UN CAPTEUR DE TENSION

- Charge d'un condensateur
- Décharge d'un condensateur
- Constante de temps
- Détermination d'un dipôle

**Calculatrice autorisée**

Au cours d'une séance de travaux pratiques, un élève souhaite suivre les phénomènes de charge et de décharge d'un condensateur de capacité  $C = 1,0 \mu\text{F}$  à travers un conducteur ohmique de résistance  $R$ . La charge se fait sous une tension constante  $E$ .

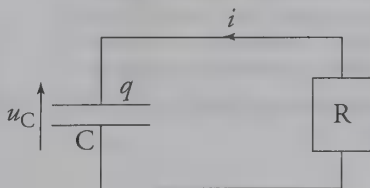
**I – Préliminaires**

Le condensateur préalablement chargé commence à se décharger à l'instant de date  $t_0 = 0 \text{ s}$ . Le schéma du montage du circuit se réduit à la figure 1 ci-après.

La relation liant  $R$ ,  $C$ ,  $u_C$  et  $\frac{du_C}{dt}$  est :  $\frac{du_C}{dt} + \frac{1}{RC} u_C = 0$ .

Montrer à l'aide de la relation précédente que le produit  $RC$  est homogène à une durée que l'on notera  $\tau$  et que l'on appellera constante de temps du circuit. [1 pt]

Figure 1



## II – Étude expérimentale à l'oscilloscope à mémoire

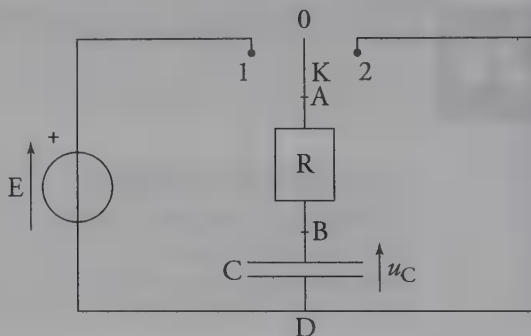
L'élève réalise le montage dont le schéma est représenté par la figure 2.

1. Il souhaite tout d'abord observer le phénomène de charge.

a. Indiquer, sur votre copie, les branchements à effectuer à l'oscilloscope pour observer l'évolution de la tension  $u_C$  (il n'est pas nécessaire de recopier la totalité du schéma de la figure 2). [0,5 pt]

b. Quelle doit être la position de l'interrupteur K ? [0,25 pt]

Figure 2



2. Il obtient la courbe représentée par la figure 3.

Figure 3

Trace au centre de l'écran en l'absence de tension

« Sensibilité » verticale  $1 \text{ V} \cdot \text{div}^{-1}$

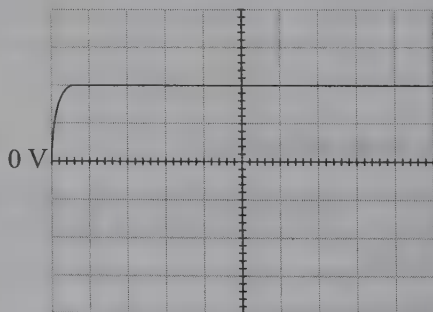
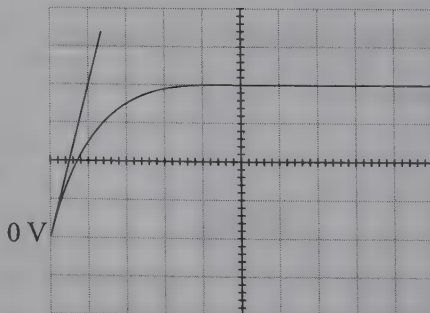


Figure 4

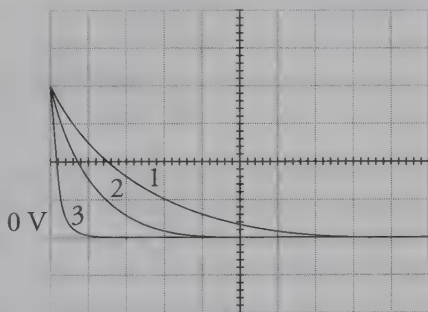
Afin de mieux exploiter sont enregistrement, l'élève modifie les réglages de l'oscilloscope et obtient la courbe représentée par la figure 4.

Base de temps  $10 \text{ ms} \cdot \text{div}^{-1}$



- a. Quelle est la nouvelle « sensibilité » verticale ? [0,25 pt]
- b. Quels sont les autres réglages qui ont été modifiés ? [0,25 pt]
3. On appelle  $\tau'$  la constante de temps du circuit lors de la charge. On admet que la tangente à l'origine de la courbe coupe l'asymptote horizontale en un point d'abscisse  $\tau'$ . L'oscilloscope utilisé permet d'obtenir le tracé de cette tangente.
- a. À partir de la figure 4, déterminer la valeur de  $\tau'$ . [0,5 pt]
- b. Quelle relation simple existe entre  $\tau$ , défini à la question I., et  $\tau'$  ? (aucune justification n'est demandée). [0,25 pt]
- c. En déduire la valeur de la résistance R. [0,5 pt]
4. Les réglages de l'oscilloscope étant les mêmes que dans le cas de la figure 4, identifier parmi les trois courbes proposées figure 5, celle qui correspond à la décharge du condensateur. Justifier. [0,5 pt]

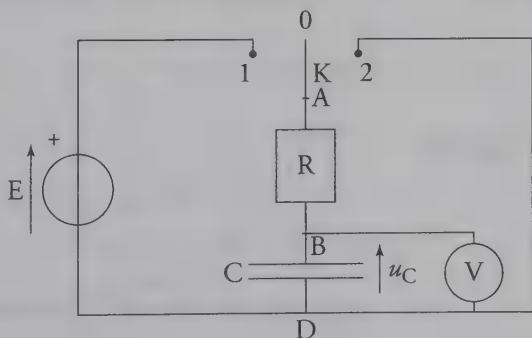
Figure 5



### III – Étude expérimentale suivie par informatique

L'élève remplace l'oscilloscope par un capteur de tension assimilable à un voltmètre relié à un ordinateur. Le schéma du montage est représenté par la figure 6.

Figure 6

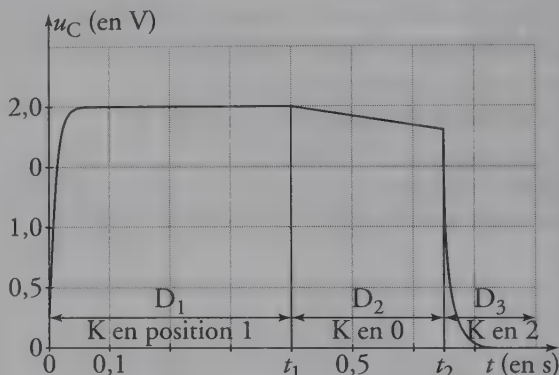




Le condensateur est initialement déchargé et l'interrupteur K est en position 0. L'élève déclenche la série de mesures en faisant basculer l'interrupteur K en position 1 à l'instant de date  $t_0 = 0$  s ; alors que la saisie se poursuit, l'élève fait basculer l'interrupteur de la position 1 à la position 0, puis à la position 2.

Il obtient la courbe donnée par la figure 7 ci-après.

Figure 7

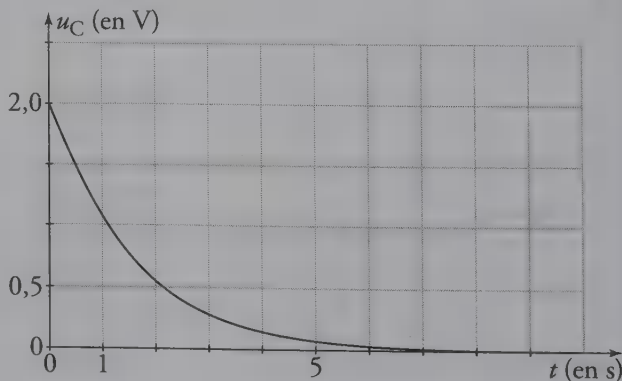


1. Sur cette courbe, apparaissent trois domaines notés  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ . Deux d'entre eux correspondent aux phénomènes précédemment étudiés. Entre quelles dates se situe le domaine correspondant au phénomène non étudié précédemment ? **[0,25 pt]**

2. Afin de faire comprendre à l'élève le phénomène observé et en particulier le rôle du capteur de tension, le professeur suggère à l'élève de procéder de la façon suivante :

- K en position 1 : charge du condensateur ;
- puis on commence une nouvelle saisie de mesures quand K bascule de la position 1 à la position 0. On obtient la courbe donnée par la figure 8 ci-après.

Figure 8



On considère pour simplifier que le condensateur supposé parfait se décharge uniquement à travers le capteur de tension.

- a. Deux hypothèses sont émises. Le capteur se comporte comme :
- une bobine de résistance négligeable ;
  - un conducteur ohmique de résistance  $R_V$ .

La première hypothèse n'est pas valide. Pourquoi ?

[0,25 pt]

- b. En utilisant la courbe de la figure 8, déterminer une valeur approchée de la résistance  $R_V$ .

[0,5 pt]

#### IV – Conclusion sur la qualité du capteur

On se propose de comprendre pourquoi l'influence du capteur de tension est négligeable quand l'interrupteur est en position 2.

Le schéma équivalent du circuit est alors celui donné figure 9.

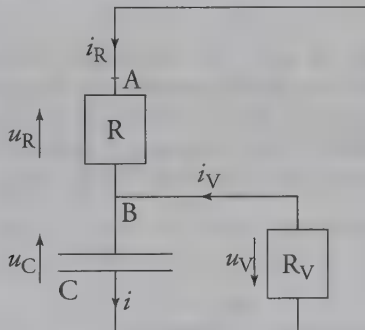


Figure 9

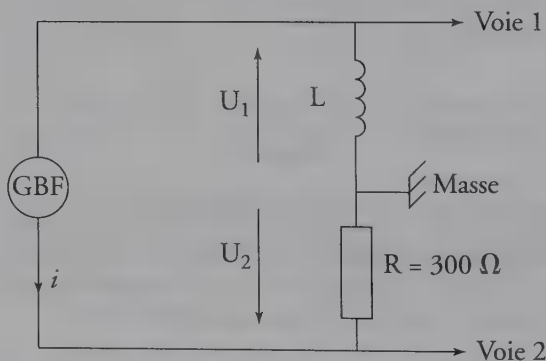
1. Quelle est la relation qui existe entre les tensions  $u_R$  et  $u_V$  ? [0,25 pt]
2. En déduire que  $i_V$  est négligeable devant  $i_R$ . On a alors  $i_R \approx i$ . [0,25 pt]
3. De façon générale, comment doit être la résistance  $R_V$  par rapport à  $R$  pour que le capteur ne perturbe pas les mesures ? [0,5 pt]

**21****COMPOORTEMENT D'UNE BOBINE  
(SUJET PARTIEL)**

- Circuit R, L
- Inductance d'une bobine
- Constante de temps d'un circuit R, L

**Calculatrice autorisée****I – Partie 1**

Le circuit comporte, en série, un conducteur ohmique de résistance  $R = 300 \, \Omega$ , et une bobine idéale (de résistance négligeable) d'inductance propre  $L$ . Le courant imposé dans ce circuit est un courant en dent de scie délivré par un générateur basse fréquence. On visualise, sur l'écran d'un ordinateur, les tensions  $U_1$  et  $U_2$  en fonction du temps.

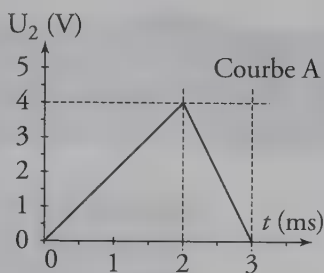
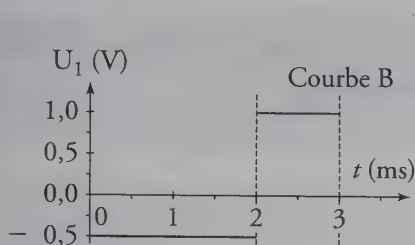


1. Donner les expressions des tensions  $U_1$  et  $U_2$  en fonction de  $L$ ,  $R$ ,  $i$  et  $di/dt$ . **[0,5 pt]**
2. Quelle est la courbe qui permet de visualiser l'intensité du courant dans le circuit ? **[0,25 pt]**
3. Montrer que l'inductance  $L$  de la bobine est :

$$L = \frac{-R \cdot U_1}{\frac{dU_2}{dt}}$$

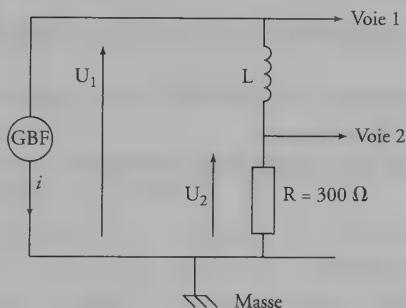
Calculer la valeur de  $L$  à partir des deux courbes ci-après :

**[1,5 pt]**

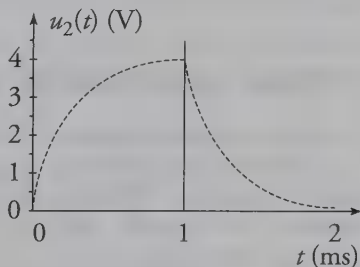
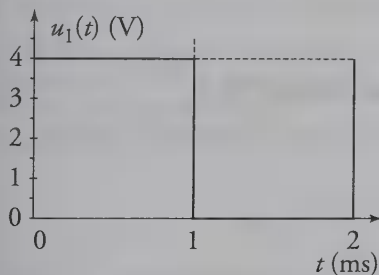


## II – Partie 2

Soit le montage dans lequel le G.B.F. délivre une tension créneau modélisant l'ouverture et la fermeture d'un circuit RL.



À partir des courbes ci-après :



1. Quel est le phénomène physique mis en évidence ? [0,25 pt]
2. Dédurre la période et la fréquence de la tension d'alimentation du montage. [0,5 pt]
3. Donner un ordre de grandeur de la constante de temps du circuit RL en utilisant la méthode de votre choix. [0,25 pt]
4. En déduire un ordre de grandeur de la valeur de l'inductance  $L$  de la bobine. [0,25 pt]

**22****COMPORTEMENT D'UNE BOBINE DANS UN CIRCUIT (SUJET PARTIEL)**

- Circuit R, L
- Circuit L, C
- Pseudo-période
- Inductance d'une bobine

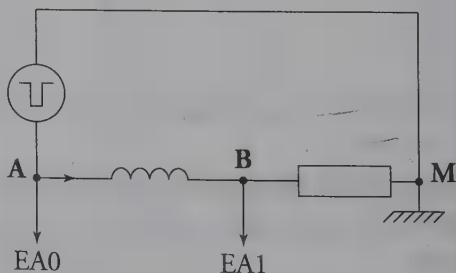
**Calculatrice autorisée**

Un groupe de deux élèves dispose au cours d'une séance de TP du matériel suivant :

- 1 bobine de 1 000 spires d'inductance  $L$  et de résistance  $r = 9 \, \Omega$ .
- 1 générateur idéal de tension.
- 1 conducteur ohmique de résistance  $R = 50 \, \Omega$ .
- 1 rhéostat.
- 1 G.B.F.
- 1 boîte de condensateurs.
- 1 ohmmètre.
- 1 ordinateur muni de sa carte d'acquisition.

**I – Étude expérimentale d'un circuit R, L**

Le circuit représenté ci-contre est constitué d'un générateur basse fréquence (G.B.F.) délivrant une tension créneaux de fréquence  $f$ , de valeur minimale  $0 \, \text{V}$  et de valeur maximale  $E$ . Ce G.B.F. alimente la bobine précédente en série avec le conducteur ohmique de résistance  $R$ .



L'ordinateur est connecté aux points A et B sur les voies EA0 et EA1 comme indiqué sur le schéma. Les courbes obtenues sont représentées figure 1 ci-après :

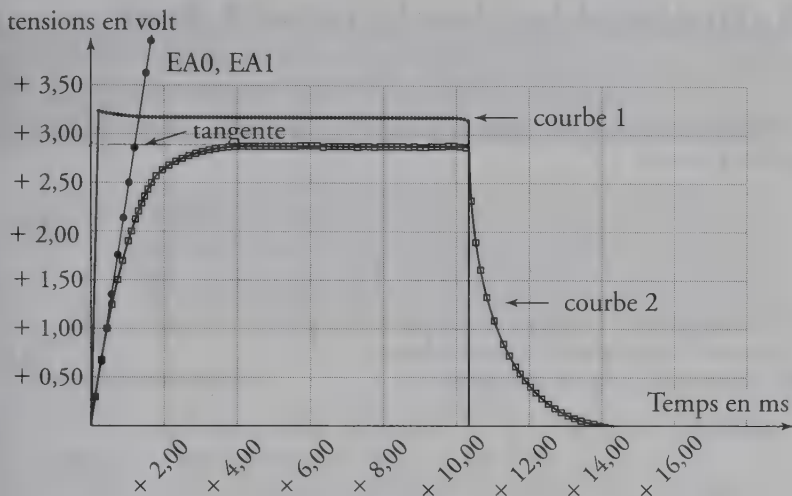


Figure 1

1. Parmi les tensions nommées  $u_{AB}$ ,  $u_{AM}$ ,  $u_{BA}$ ,  $u_{BM}$ ,  $u_{MA}$  et  $u_{MB}$ , quelles sont celles enregistrées par l'ordinateur ? **[0,5 pt]**
2. À quelles courbes de la figure 1 correspondent ces tensions ? **[0,25 pt]**
3. L'une des courbes permet de déduire les variations de l'intensité  $i$  du courant en fonction du temps. Laquelle ? Justifier la réponse. **[0,25 pt]**
4. Sur l'intervalle de temps  $[0 ; 10 \cdot 10^{-3} \text{ s}]$ , exprimer littéralement l'intensité  $I_0$  du courant en régime permanent et calculer sa valeur. **[0,5 pt]**
5. Utiliser la loi des tensions pour établir une relation entre la tension aux bornes du G.B.F., la tension aux bornes de la bobine et la tension aux bornes du conducteur ohmique.

En déduire qu'au temps  $t = 0 \text{ s}$ , cette relation peut s'écrire :

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_{t=0} = \frac{E}{L} = \frac{(R + r) \times I_0}{L} = \frac{I_0}{\tau}$$

sachant que la constante de temps est définie par la relation  $\tau = \frac{L}{R + r}$ . **[0,5 pt]**

6. Le logiciel permet de tracer au temps  $t = 0 \text{ s}$  la tangente à la courbe 2 de la figure 1.

Déterminer graphiquement la valeur de  $\tau$ . En déduire la valeur de  $L$ .

*Rappel de la méthode des tangentes :* la tangente à la courbe  $i = f(t)$ , à la date  $t = 0 \text{ s}$ , coupe l'asymptote horizontale d'équation  $i = I_0$  au point d'abscisse  $\tau$ . **[0,5 pt]**



## II – Étude expérimentale d'un circuit L, C

La bobine est placée maintenant en série avec un condensateur de capacité  $C = 1 \mu\text{F}$ , l'ensemble est alimenté par le G.B.F. délivrant une tension créneau. Le groupe réalise alors une nouvelle expérience qui correspond au schéma suivant :

Les connexions à l'ordinateur sont indiquées sur le schéma. Le groupe obtient les courbes de la figure 2 ci-après :

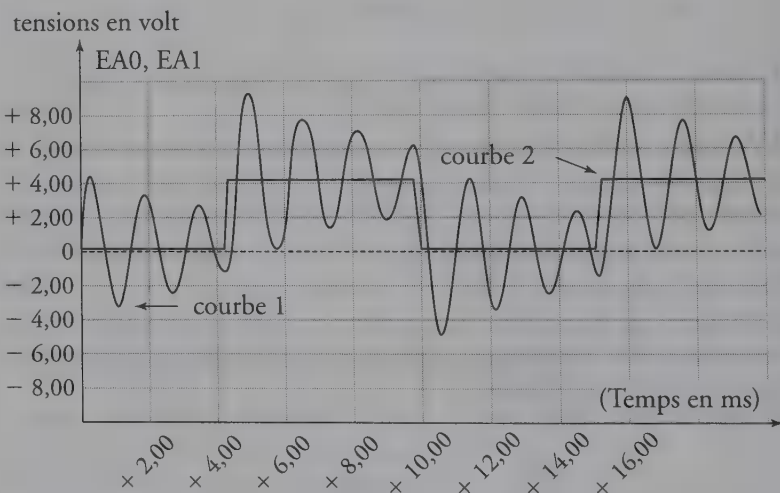
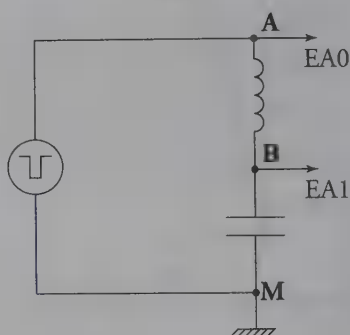


Figure 2

1. Quelles sont les tensions visualisées sur les voies EA0 et EA1 ? [0,5 pt]
2. Associer les courbes 1 et 2 aux tensions visualisées. [0,25 pt]
3. Déterminer la période de la tension délivrée par le G.B.F. [0,25 pt]
4. Déterminer la pseudo-période des oscillations. [0,25 pt]
5. On admet que la pseudo-période des oscillations vérifie la relation  $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$ . En déduire la valeur de l'inductance L. La valeur trouvée est-elle en accord avec celle obtenue précédemment ? [0,25 pt]

Amérique du Sud, novembre 2002 / 5 points

23

## INDUCTANCE D'UNE BOBINE

- Branchement d'un oscilloscope
- Étude d'un oscillogramme
- Détermination d'une inductance

## Calculatrice autorisée

Lors d'une séance de travaux pratiques, on se propose de déterminer l'inductance  $L$  d'une bobine sans noyau de fer doux.

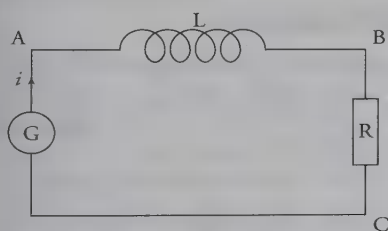
On monte en série un conducteur ohmique de résistance  $R = 10 \text{ k}\Omega$  avec une bobine d'inductance  $L$  et de résistance interne  $r = 10 \Omega$  que l'on négligera devant la résistance  $R$ .

L'ensemble est alimenté par un générateur de signaux basses fréquences à masse flottante (la masse de l'oscilloscope peut être reliée à n'importe quel point du circuit sans risque de court-circuit). Ce générateur délivre une tension périodique triangulaire.

À l'aide d'un oscilloscope bicourbe, on visualise les tensions  $u_{AB}(t)$  et  $u_{CB}(t)$ .

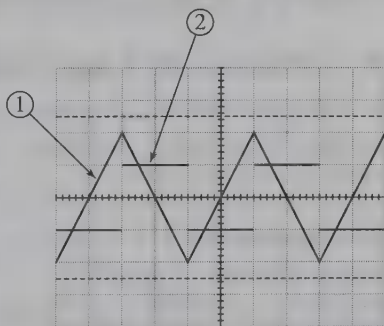
Schéma du montage réalisé

Figure 1



Oscillogramme observé

Figure 2



On appelle  $i(t)$  l'intensité instantanée du courant qui traverse le circuit, le sens positif choisi est indiqué sur la figure 1.

## I – Branchement de l'oscilloscope

1. Reproduire le schéma de la figure 1 en indiquant les branchements de l'oscilloscope pour visualiser sur la voie  $Y_A$  la tension  $u_{AB}$  aux bornes de la

bobine et sur la voie  $Y_B$  la tension  $u_{CB}$  aux bornes du conducteur ohmique de résistance  $R$ . [0,5 pt]

2. Des deux oscillogrammes 1 et 2, identifier celui correspondant à la voie  $Y_A$  et celui correspondant à la voie  $Y_B$ . [0,5 pt]

## II – Exploitation de l'oscillogramme

Les réglages de l'oscilloscope sont les suivants :

Balayage horizontal :  $1 \text{ ms} \cdot \text{div}^{-1}$ .

Sensibilité verticale voie A :  $200 \text{ mV} \cdot \text{div}^{-1}$ .

Sensibilité verticale voie B :  $2 \text{ V} \cdot \text{div}^{-1}$ .

Sans tension appliquée, le spot balaie la ligne médiane horizontale.

1. Déterminer la période et la fréquence des tensions observées. [0,5 pt]

2. Calculer les valeurs entre lesquelles varient ces tensions. [0,5 pt]

## III – Détermination de l'inductance de la bobine

On rappelle que la résistance de la bobine est négligeable devant la résistance  $R$  du conducteur ohmique.

1. Exprimer littéralement  $u_{AB}$  en fonction de  $L$  et de  $i$ . [0,5 pt]

2. Exprimer littéralement  $u_{CB}$  en fonction de  $R$  et de  $i$ . [0,5 pt]

3. Montrer que  $u_{AB} = -\frac{L}{R} \left( \frac{du_{CB}}{dt} \right)$ . [0,5 pt]

4. Justifier la forme de l'oscillogramme de la courbe 2 par rapport à celle de la courbe 1. [0,5 pt]

5. Déterminer la valeur  $L$  de l'inductance de la bobine. [0,25 pt]

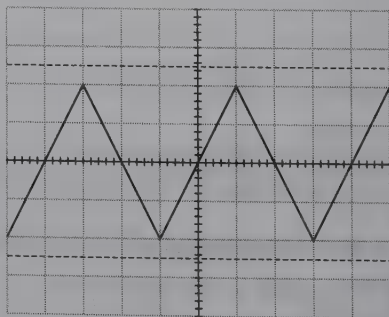
## IV – Influence de $L$ sur l'oscillogramme

En expliquant votre raisonnement, représenter sur le document l'oscillogramme obtenu dans le cas suivant :  $L' = 1,0 \text{ H}$  (de résistance négligeable devant  $R$ ) et  $R = 10 \text{ k}\Omega$ . [0,75 pt]

Représentation pour  $L' = 1,0 \text{ H}$

Balayage horizontal :  $1 \text{ ms} \cdot \text{div}^{-1}$ .

Sensibilités verticales : voie A :  $200 \text{ mV} \cdot \text{div}^{-1}$  ; voie B :  $2 \text{ V} \cdot \text{div}^{-1}$ .



France métropolitaine, septembre 2002 / 6 points

24

## ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DE DIPÔLES : CONDENSATEUR ET BOBINE

- Circuit RC
- Circuit RL
- Circuit RLC
- Oscillations électriques libres

### Calculatrice NON autorisée

On dispose au laboratoire d'un condensateur de capacité  $C$  et d'une bobine, sans noyau de fer, d'inductance  $L$ . On pourrait mesurer les valeurs numériques de  $C$  et de  $L$  avec un multimètre.

On se propose d'utiliser, dans cet exercice, les connaissances et les savoir-faire acquis par les candidats pour :

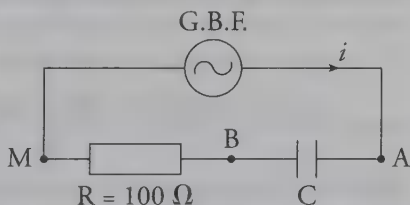
- retrouver la valeur numérique de  $C$  (première partie de l'exercice) et celle de  $L$  (deuxième partie de l'exercice) ;
- étudier la décharge de ce condensateur dans cette bobine (troisième partie).

### I – Première partie : mesure de la capacité $C$ d'un condensateur

On réalise le montage ci-contre.

Le générateur basse fréquence (G.B.F.) délivre une tension sinusoïdale de fréquence 250 Hz et d'amplitude voisine de 5 V.

On visualise à l'oscilloscope, sur la voie 1, l'évolution au cours du temps de la tension  $u_1 = u_{AM}(t)$  et, sur la voie 2, l'évolution au cours du temps de la tension  $u_2 = u_{BM}(t)$ . Le sens de  $i$  choisi comme sens positif est indiqué sur le schéma.

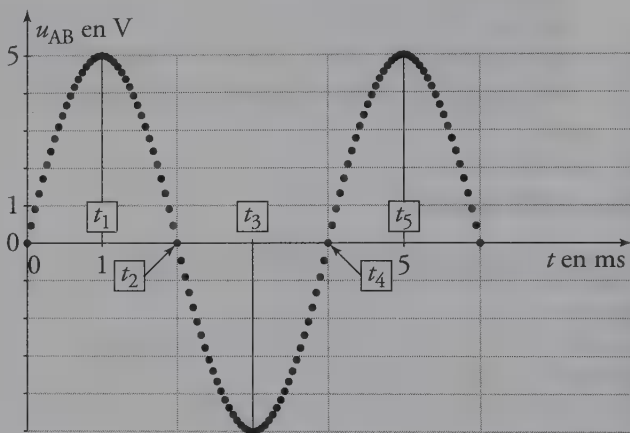


1. Reproduire le schéma du circuit et indiquer les connexions à réaliser au niveau de l'oscilloscope pour visualiser les tensions  $u_1$  et  $u_2$ . **[0,25 pt]**

2. Exprimer la tension  $u_{AB}$  en fonction de  $u_1$  et  $u_2$  en précisant la loi utilisée. **[0,25 pt]**

3. On remplace l'oscilloscope par un dispositif d'acquisition relié à un ordinateur qui suit l'évolution des tensions  $u_1$  et  $u_2$  au cours du temps. Un logiciel adapté effectue les calculs et les représentations graphiques souhaités. Le graphe 1 représente l'évolution de  $u_{AB}$  au cours de la durée  $t$ .

Graphe 1



En utilisant ce graphe :

- donner le signe de la charge  $q_A$  portée par l'armature A aux instants de dates  $t_1$  et  $t_3$  ;
- préciser deux intervalles de temps entre les instants de dates  $t_1$  et  $t_5$  pendant lesquels le condensateur se charge. On admettra ici que le condensateur se charge lorsque la valeur absolue de  $q_A$  croît en fonction du temps.

[1,25 pt]

4. L'intensité  $i$  est égale à la dérivée par rapport au temps de la charge  $q_A$  portée par l'armature A :  $i = \frac{d(q_A)}{dt}$ . On pose  $\dot{u}_{AB} = \frac{d(u_{AB})}{dt}$ . Établir la relation  $i = C \dot{u}_{AB}$ .

[0,25 pt]

5. En déduire le signe de  $i$  entre les instants de dates  $t_1$  et  $t_3$ . Justifier.

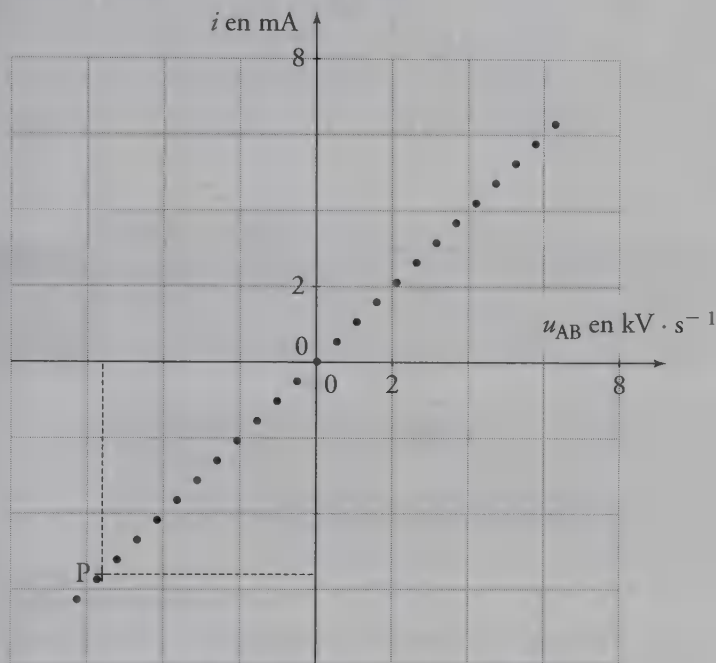
[0,5 pt]

6. La mesure de  $u_2$  et les données introductives permettent le calcul de  $i$ . Préciser pourquoi.

[0,25 pt]

7. Le logiciel calcule  $i$  et  $\dot{u}_{AB}$  ; il permet d'obtenir, entre les instants de dates  $t_2$  et  $t_4$ , le graphe représentant l'évolution de  $i$  en fonction de  $\dot{u}_{AB}$  (graphe 2).

Graphe 2



- a. Montrer que le graphe 2 permet d'obtenir la valeur de la capacité  $C$  du condensateur. **[0,25 pt]**
- b. Calculer une valeur numérique approchée de  $C$ . **[0,25 pt]**
- c. Les coordonnées du point P, placé sur le graphe 2, ont été calculées à un instant de date  $t_p$ . Cette date  $t_p$  est voisine d'une des trois dates  $t_2$ ,  $t_3$  ou  $t_4$  indiquées sur le graphe 1. Préciser laquelle en utilisant ce graphe. **[0,25 pt]**

## II – Deuxième partie : mesure de l'inductance $L$ d'une bobine

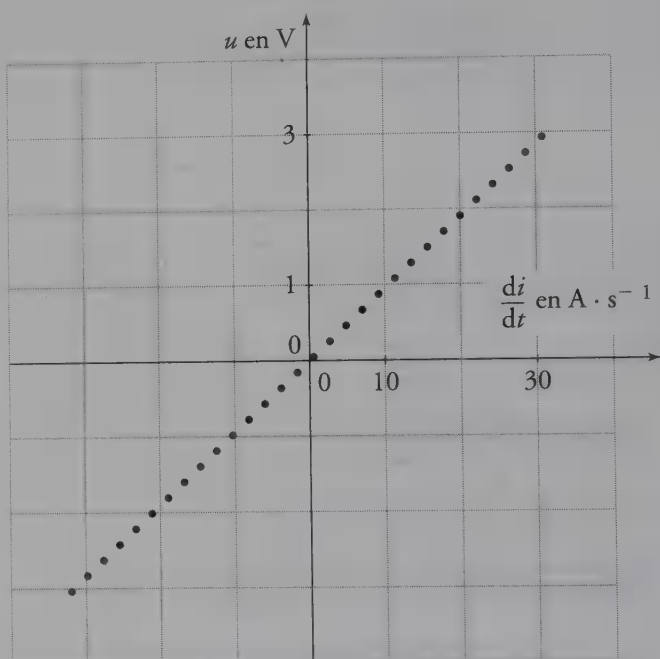
Dans le montage précédent, on remplace le condensateur par une bobine sans noyau de fer, d'inductance  $L$  et de résistance  $r = 12 \, \Omega$  à 250 Hz. On rappelle que la tension  $u_{AB}$  aux bornes de la bobine est :

$$u_{AB} = ri + L \frac{di}{dt}.$$

Le logiciel permet les calculs de la grandeur  $u = u_1 - u_2 - ri$  et permet d'obtenir le graphe donnant l'évolution de  $u$  en fonction de  $\frac{di}{dt}$  (graphe 3).



Graphe 3



1. Représenter le schéma du circuit et établir la relation  $u = L \frac{di}{dt}$ . [0,5 pt]
2. Montrer que le graphe 3 permet d'obtenir la valeur de l'inductance  $L$  de la bobine. Calculer une valeur approchée de  $L$ . [0,5 pt]

### III – Troisième partie : association du condensateur et de la bobine

On envisage, immédiatement après avoir chargé le condensateur étudié dans la première partie, d'étudier sa décharge à travers un circuit comportant la bobine précédente d'inductance  $L$  et de résistance  $r = 12 \, \Omega$  à 250 Hz. On souhaite limiter les pertes de puissance par effet Joule lors de cette décharge. On dispose du matériel suivant : un générateur de tension continue, divers interrupteurs, plusieurs conducteurs ohmiques de résistance  $R$ , un oscilloscope adapté pour les visualisations souhaitées et les deux dipôles étudiés précédemment.

1. Représenter le schéma d'un circuit électrique permettant la visualisation à l'oscilloscope de la tension  $u_3(t)$  aux bornes du condensateur lors de sa charge et de sa décharge. Indiquer les connexions à réaliser aux bornes de l'oscilloscope pour visualiser  $u_3(t)$  au cours d'une charge et au cours d'une décharge. [0,5 pt]

2. Représenter graphiquement l'allure de la courbe  $u_3(t)$  lors de la décharge. Quel phénomène est donc mis en évidence lors de la décharge du condensateur dans ce circuit ? [0,5 pt]

3. Donner une valeur approchée de la pseudo-période de la tension  $u_3(t)$  en prenant  $C \approx 1 \mu\text{F}$  et  $L \approx 0,1 \text{ H}$ . On donne  $\pi\sqrt{10} \approx 10$  et  $\frac{\pi}{\sqrt{10}} \approx 1$ . [0,5 pt]

Amérique du Nord, juin 2003 / 4 points

# 25

## DIPÔLE RLC

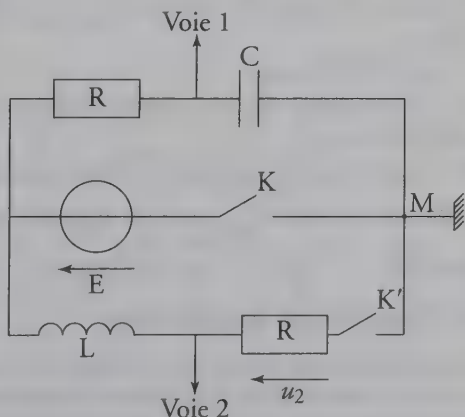
- Charge d'un condensateur
- Constante de temps
- Oscillations électriques libres amorties
- Pseudo-période

### Calculatrice autorisée

On considère le circuit électrique comportant un générateur de tension continue de f.é.m.  $E = 6 \text{ V}$ , un condensateur de capacité  $C$ , une bobine d'inductance  $L$  et de résistance négligeable, deux conducteurs ohmiques de résistance  $R$  et deux interrupteurs  $K$  et  $K'$  (voir figure 1).

On utilise un dispositif informatisé d'acquisition de données qui permet de visualiser sur la voie 1 la tension  $u_1$  aux bornes du condensateur en fonction du temps.

Figure 1



## I – Première expérience

Dans cette expérience, on ferme K (en maintenant K' ouvert). Le dipôle (R, C) est alors soumis à un échelon de tension de valeur E.

1. Quel est le nom du phénomène observé sur la voie 1 à la fermeture de K ? [0,25 pt]

2. Reproduire sur la copie la partie de circuit concernée et indiquer sur ce schéma, juste après la fermeture de l'interrupteur K, le sens du courant, le signe des charges de chacune des armatures du condensateur. Indiquer la flèche-tension  $u_1$  aux bornes du condensateur. [0,5 pt]

3. Sur la voie 1, on obtient la courbe de la figure 2 ci-après.

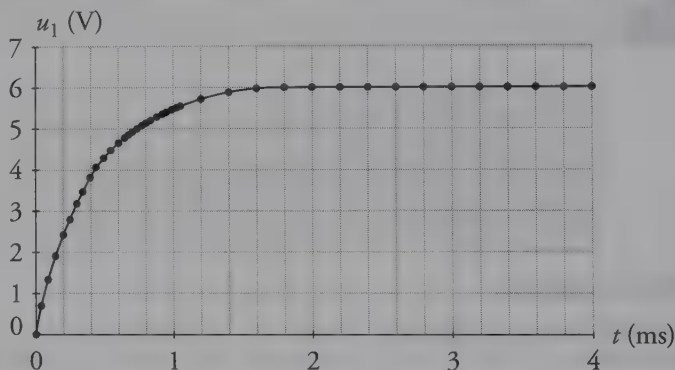


Figure 2. Tension  $u_1$  en fonction du temps

Déterminer graphiquement la constante de temps  $\tau$  du dipôle (R, C) en expliquant la méthode utilisée. Sachant que  $R = 20 \, \Omega$ , en déduire la valeur de la capacité C. [0,5 pt]

4. L'étude théorique du dipôle (R, C) conduit à l'équation différentielle

$$\tau \frac{du_1}{dt} + u_1 = E.$$

a. Retrouver cette équation différentielle en appliquant la loi d'additivité des tensions. [0,75 pt]

b. Compte tenu des conditions initiales, la solution de cette équation est de la forme  $u_1 = E \left[ \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \right]$ . Calculer la valeur de  $u_1$  pour  $t = 5\tau$ .

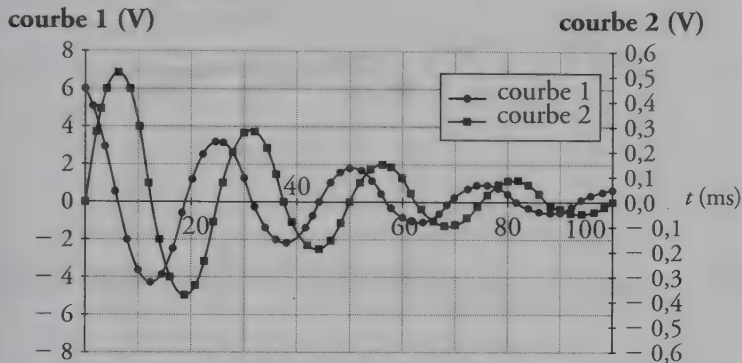
Conclure. [0,5 pt]

## II – Deuxième expérience

Une fois la première expérience réalisée, on ouvre K puis on ferme K'. Le circuit est alors le siège d'oscillations électriques. On utilise le même dispositif informatisé d'acquisition de données pour visualiser, sur la voie 1, la

tension  $u_1$  aux bornes du condensateur et sur la voie 2, la tension  $u_2$  aux bornes du conducteur ohmique  $R$ . L'acquisition est synchronisée avec la fermeture de l'interrupteur. On obtient les courbes de la figure 3 ci-après.

Figure 3.  $R = 20 \, \Omega$  ;  $L = 0,8 \, \text{H}$  ;  $C = 20 \, \mu\text{F}$



1. Attribuer à chaque courbe de la figure 3 la tension correspondante en justifiant brièvement pour une courbe seulement. **[0,5 pt]**

2. Mesurer la pseudo-période  $T$  des oscillations. Calculer la période propre correspondant au cas où les résistances  $R$  sont négligeables. Conclure. **[0,5 pt]**

3. Influence des paramètres : on réalise à présent la deuxième expérience en modifiant un seul des paramètres  $L$  ou  $C$ . Deux cas sont proposés. Dans l'un, on a diminué la valeur de  $L$ , dans l'autre, on a augmenté la valeur de  $C$ . On obtient les figures 4 et 5.

Figure 4

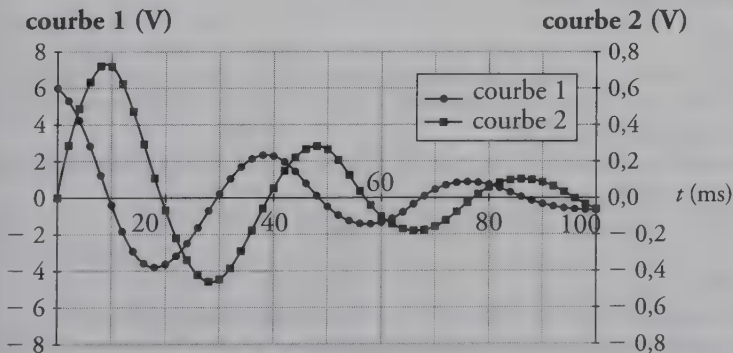
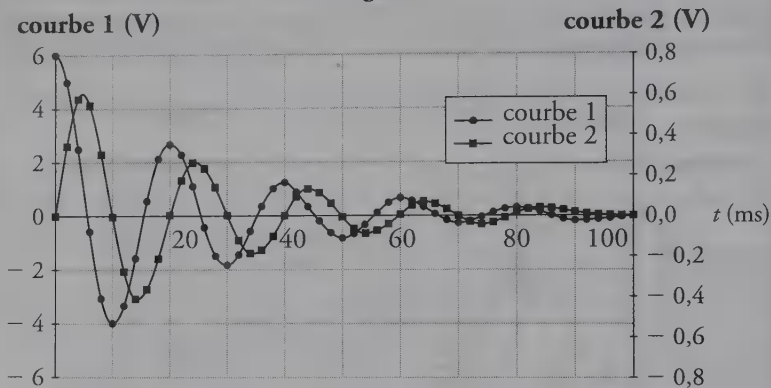


Figure 5



Attribuer à chaque cas proposé la figure qui lui correspond. Justifier. [0,5 pt]

Inde, avril 2002 / 5 points

# 26

## CHARGE ET DÉCHARGE D'UN CONDENSATEUR

- Circuit RC
- Circuit R, L, C
- Évolution de l'énergie

### Calculatrice autorisée

#### Rappel :

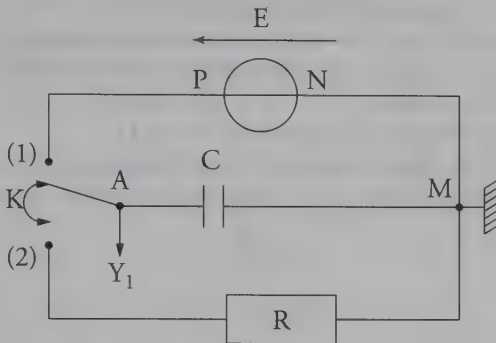
La tension aux bornes d'un condensateur chargé à travers une résistance  $R$  par une source de tension constante atteint 63 % de sa valeur maximale au bout d'un temps  $\tau = RC$ .

La tension aux bornes d'un condensateur se déchargeant à travers une résistance  $R$  a diminué de 63 % au bout du temps  $\tau = RC$ .

$\tau = RC$  est la constante de temps du dipôle ( $R, C$ ).

! – On réalise le montage suivant comportant :

- un générateur de f.é.m.  $E = 9 \text{ V}$  et de résistance négligeable ;
- un condensateur dont la capacité varie entre 40 et 80  $\mu\text{F}$  ;
- un conducteur ohmique de résistance  $R = 10 \text{ }\Omega$ .



1. Le condensateur est préalablement déchargé. Quel est le phénomène physique mis en jeu quand on place l'interrupteur K en position (1) ? Pourquoi ce phénomène est-il très rapide ? **[0,5 pt]**

2. Un ordinateur muni d'une carte d'acquisition permet d'enregistrer l'évolution au cours du temps de la tension  $u_{AM}$  entre les bornes du condensateur. L'acquisition des données commence quand on bascule l'interrupteur K de la position (1) à la position (2).

La courbe obtenue est fournie ci-après, figure a :

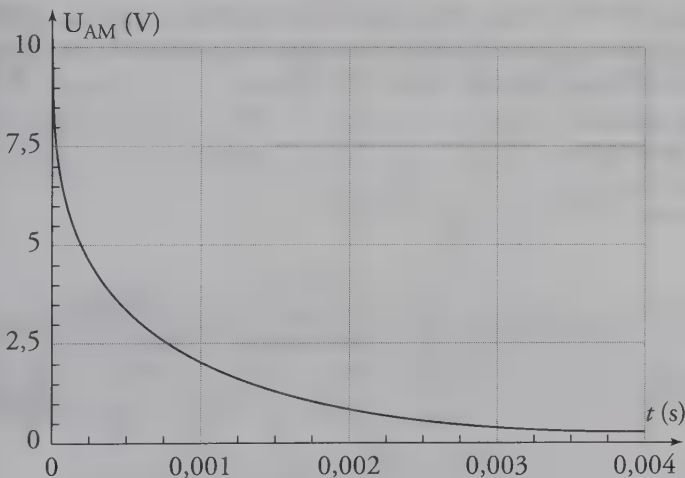


Figure a

a. Quel est le phénomène physique mis en évidence ? **[0,25 pt]**

b. En utilisant la courbe donnée figure a ci-dessus, déterminer une valeur approchée de la capacité du condensateur. **[0,5 pt]**

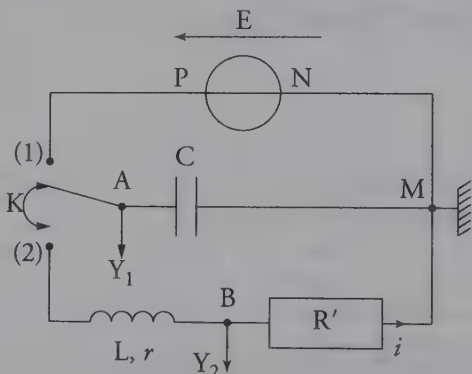
c. On reprend la même expérience avec un condensateur de capacité deux fois plus grande. Donner sur la figure a l'allure de la courbe obtenue. Justifier brièvement. **[0,25 pt]**



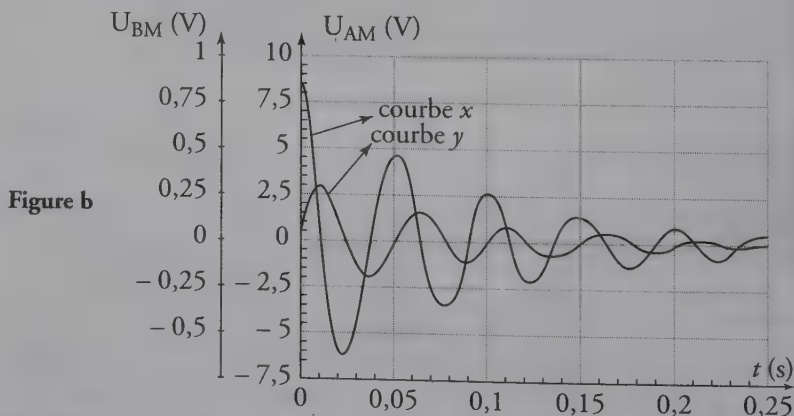
**II –** On réalise le montage suivant comportant :

- un générateur de f.é.m.  $E = 9 \text{ V}$  et de résistance négligeable ;
- un condensateur dont la capacité varie entre  $40$  et  $80 \mu\text{F}$  ;
- une bobine d'inductance  $L = 1 \text{ H}$  et de résistance  $r = 10 \Omega$  ;
- un conducteur ohmique de résistance  $R' = 5 \Omega$ .

L'interrupteur  $K$  est placé en position (1) puis basculé en position (2), l'acquisition des données commençant toujours au moment de ce basculement.



- Quelles sont les grandeurs visualisées en voies  $Y_1$  et  $Y_2$  ? **[0,25 pt]**
  - L'une de ces grandeurs permet de connaître les variations de l'intensité  $i$  du courant. Laquelle ? Justifier la réponse. **[0,5 pt]**
- Les grandeurs visualisées en voies  $Y_1$  et  $Y_2$  sont représentées sur la figure b ci-après.



- Associer les courbes  $x$  et  $y$  aux voies  $Y_1$  et  $Y_2$ . **[0,25 pt]**
- Quel est le phénomène observé ? Pourquoi ne se produit-il pas dans l'expérience de la partie I ? **[0,5 pt]**

3. La figure c donnée ci-après représente les variations au cours du temps de l'énergie  $E_E$  emmagasinée par le condensateur, de l'énergie  $E_M$  emmagasinée par la bobine et de leur somme  $E = E_E + E_M$ .

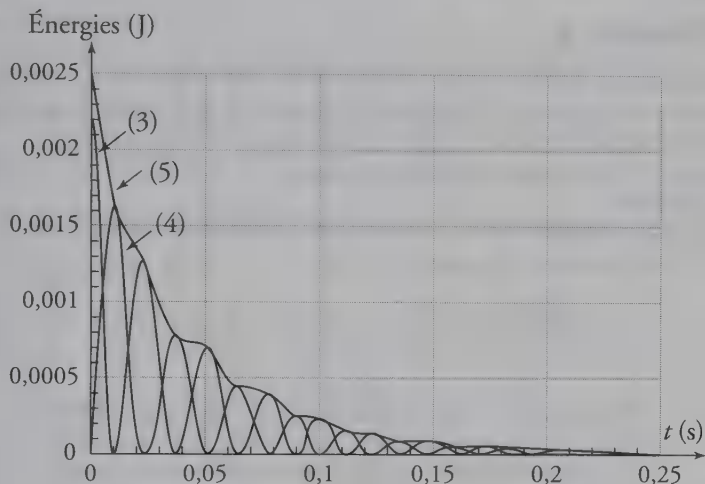


Figure c

- a. Donner les expressions littérales des énergies  $E_E$  et  $E_M$ . **[0,5 pt]**
- b. Identifier les 3 courbes de la figure c en justifiant la réponse. En comparant les courbes (3) et (4), donner une interprétation du phénomène étudié. **[0,75 pt]**
- c. Interpréter qualitativement l'évolution de l'énergie représentée par la courbe (5). Évaluer l'énergie dissipée pendant les 60 premières millisecondes. **[0,75 pt]**

Polynésie, septembre 2001 / 5 points

27

## DÉTERMINATION DE L'INDUCTANCE D'UNE BOBINE. ÉNERGIE

- Utilisation d'un oscilloscope
- Circuit R, L
- Circuit R, L, C
- Pseudo-période
- Évolution de l'énergie

On se propose de déterminer l'inductance  $L$  d'une bobine par deux méthodes différentes.

*Les parties I et II sont indépendantes.*

## I – Circuit R, L

On alimente le dipôle « bobine-résistance  $R$  » par un générateur basse fréquence en série avec une résistance de l'ordre de  $1\text{ k}\Omega$  (figure 1, ci-après). (Aucune des bornes de sortie de ce générateur n'est reliée à la terre).

La mesure de la résistance de la bobine donne  $r = 8,0\ \Omega$  et  $R$  est une résistance réglable.

Sensibilité verticale voie 1 :  $20\text{ mV/div}$  ; sensibilité verticale pour  $u_S$  :  $0,5\text{ V/div}$  ; durée de balayage :  $5\text{ ms/div}$ .

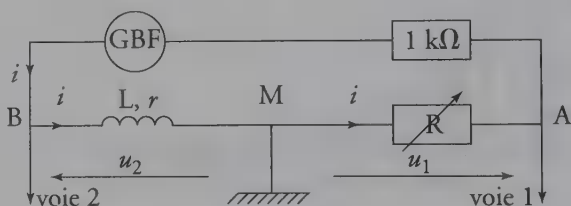


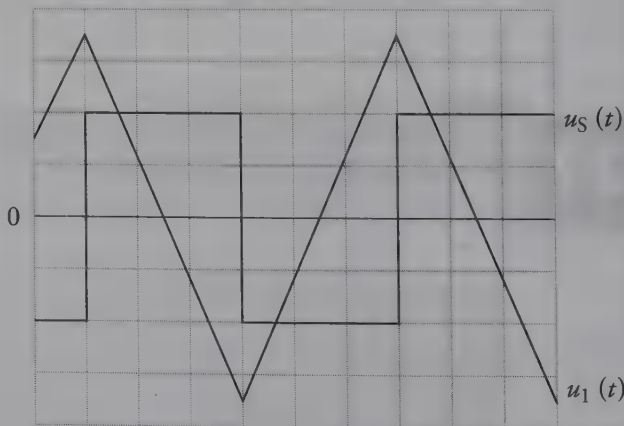
Figure 1

On branche l'oscilloscope comme indiqué sur le schéma.

On peut ainsi obtenir l'oscillogramme donnant la tension  $u_1 = u_{AM}$ .

La touche ADD de l'oscilloscope permet d'observer la tension somme  $u_S = u_1 + u_2$ . Sur la figure 2 ci-après, on a reproduit, en gardant la même origine du temps, les courbes  $u_1(t)$  et  $u_S(t)$ .

Figure 2



1. Quel appareil permet de mesurer simplement la résistance  $r$  de la bobine ?

[0,25 pt]

2. Exprimer en fonction de  $i(t)$ ,  $r$ ,  $L$  et  $R$  les tensions suivantes :

a.  $u_1(t) = u_{AM}$  [0,25 pt]

b.  $u_2(t) = u_{BM}$  [0,25 pt]

c.  $u_S(t) = u_1(t) + u_2(t)$  [0,25 pt]

3. L'oscillogramme de la figure 2 ci-dessus a été obtenu en ajustant  $R$  à la valeur de  $r$ .

Montrer que dans ce cas,  $u_S(t)$  peut se mettre sous la forme :

$$u_S(t) = -\frac{L}{R} \cdot \frac{du_1}{dt} \quad [0,5 \text{ pt}]$$

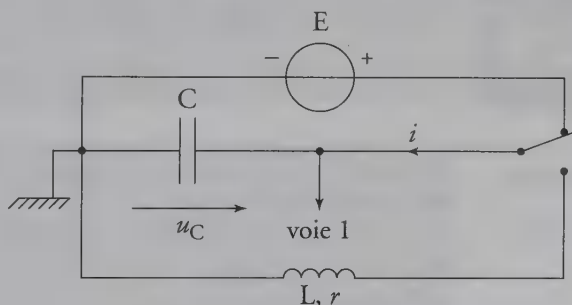
4. En exploitant l'oscillogramme, déterminer la valeur de  $L$ . [0,5 pt]

## II – Circuit R, L, C

On réalise maintenant le montage de la figure 3 ci-après, avec un générateur de tension continue ; le condensateur a une capacité  $C$  égale à  $0,55 \mu\text{F}$ .

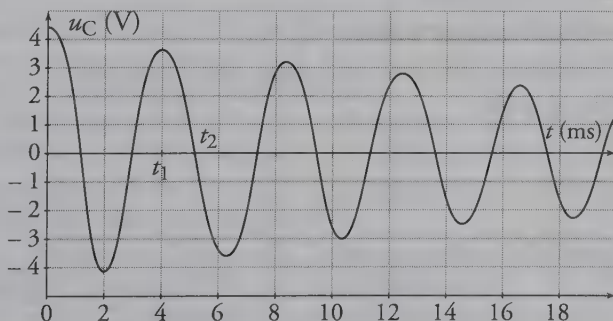
On utilise l'ordinateur pour enregistrer, au cours du temps, les variations de la tension  $u_C$  aux bornes du condensateur, en branchant la carte d'acquisition comme indiqué sur la figure 3 ci-après.

Figure 3



On charge le condensateur puis on bascule l'interrupteur pour obtenir la décharge oscillante (voir enregistrement figure 4 ci-après).

Figure 4



1. Vérifier que l'expression  $2\pi\sqrt{LC}$  est homogène à un temps. [0,5 pt]
2. Déterminer la pseudo-période des oscillations à partir de l'enregistrement. [0,25 pt]
3. En déduire la valeur de l'inductance  $L$ . On assimilera la pseudo-période des oscillations à la période des oscillations libres. [0,5 pt]

### III – Étude énergétique du circuit de décharge

1. Exprimer l'énergie stockée dans le condensateur à la date  $t_1 = 4$  ms puis calculer sa valeur. [0,5 pt]
2. Déterminer l'énergie totale stockée dans le circuit à la même date. Justifier votre réponse. [0,5 pt]
3. En négligeant l'amortissement sur un quart de période, calculer l'intensité du courant dans le circuit à la date  $t_2 = t_1 + \frac{T}{4}$ . [0,5 pt]
4. Expliquer l'origine de l'amortissement des oscillations. [0,25 pt]

Polynésie, juin 2002 / 5 points

28

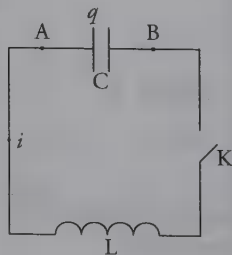
## OSCILLATEUR ÉLECTRIQUE

- Circuit L, C
- Évolution des énergies
- Période propre
- Circuit R, L, C
- Pseudo-période

Calculatrice autorisée

### I – Oscillateur idéal

On étudie un oscillateur électrique idéal représenté figure ci-après :



Il est constitué par :

un condensateur de capacité  $C = 0,50 \mu\text{F}$ ,

une bobine d'inductance  $L = 0,50 \text{ H}$ .

La résistance du circuit est négligeable.

On charge le condensateur, la tension à ses bornes vaut :

$$U_{AB}(t=0) = U_0 = 5,0 \text{ V}$$

Puis à la date  $t = 0$ , on ferme l'interrupteur K.

1. Soit  $q$  la charge de l'armature A du condensateur à un instant  $t$  quelconque ( $t > 0$ ).

Écrire l'expression de la tension aux bornes du condensateur en fonction de  $q$  et de  $C$ .

Écrire l'expression de la tension aux bornes de la bobine en fonction de  $q$ ,  $L$  et  $t$ .

[0,5 pt]

2. Dédire de la question 1. l'équation différentielle qui régit les variations de la charge  $q$ .

[0,5 pt]

3. L'équation différentielle admet une solution de la forme :

$$q = Q_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

a. Que représentent les grandeurs  $Q_m$  et  $\omega_0$  ? Déterminer les valeurs numériques correspondantes.

[0,5 pt]

b. Le symbole  $\varphi$  représente la phase à l'origine. Vérifier que la valeur  $\varphi = 0$  est en accord avec les conditions de l'étude.

[0,25 pt]

4. Calculer la période propre des oscillations.

[0,25 pt]

## II – Oscillateur réel

On réalise l'étude expérimentale d'un oscillateur électrique constitué par un condensateur de capacité  $C = 0,50 \mu\text{F}$  et une bobine d'inductance  $L = 0,50 \text{ H}$ . Soit  $R$  la résistance totale du circuit.

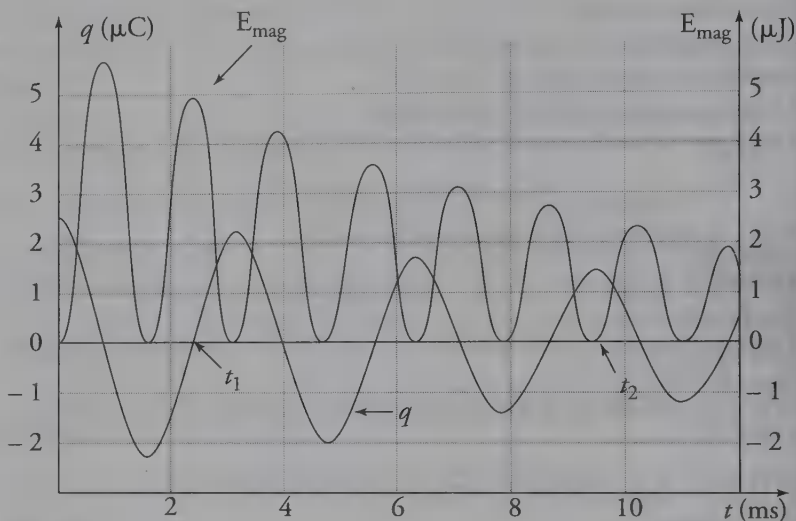
À l'aide d'une carte d'acquisition reliée à un ordinateur et d'un logiciel de traitement des données, on obtient le document suivant représentant :

– d'une part les variations de la charge  $q$  du condensateur en fonction du temps  $t$  : **ordonnée ( $q$ )** (axe gradué à gauche) ;

– d'autre part les variations de l'énergie  $E_{\text{mag}}$  emmagasinée dans la bobine en fonction du temps  $t$  : **ordonnée  $E_{\text{mag}}$**  (axe gradué à droite).

Dans la suite, on notera  $E_c$  l'énergie emmagasinée dans le condensateur.





1. Déterminer graphiquement la valeur de la pseudo-période  $T$  des oscillations. **[0,25 pt]**
2. Dédire du graphique la valeur de la tension aux bornes du condensateur à la date  $t = 0$ . **[0,25 pt]**
3. Pour l'instant  $t_1 = 2,4$  ms indiqué sur le document, déterminer à partir du graphique :
  - a. la valeur de l'énergie  $E_{1\text{mag}}$  emmagasinée dans la bobine à l'instant  $t_1$ ; **[0,25 pt]**
  - b. la valeur de l'énergie  $E_{1\text{el}}$  emmagasinée dans le condensateur à l'instant  $t_1$ ; **[0,25 pt]**
  - c. la valeur de l'énergie électromagnétique  $E_1$  du circuit à l'instant  $t_1$ . **[0,25 pt]**
4. Pour l'instant  $t_2 = 9,5$  ms indiqué sur le document, déterminer à partir du graphique :
  - a. la valeur de l'énergie  $E_{2\text{mag}}$  emmagasinée dans la bobine à l'instant  $t_2$ ; **[0,25 pt]**
  - b. la valeur de l'énergie  $E_{2\text{el}}$  emmagasinée dans le condensateur à l'instant  $t_2$ ; **[0,25 pt]**
  - c. la valeur de l'énergie électromagnétique  $E_2$  du circuit à l'instant  $t_2$ . **[0,25 pt]**
5. À partir du graphe, justifier la conservation ou la non-conservation de l'énergie électromagnétique du circuit. **[0,5 pt]**  
 Quel phénomène physique explique ces résultats ?

6. On admettra la relation  $\frac{E_2}{E_1} = e^{-\frac{R}{L}(t_2 - t_1)}$  (relation valable pour les amortissements faibles).

Déterminer une valeur approchée de la résistance  $R$  du circuit. [0,5 pt]

France métropolitaine, septembre 1999 / 5 points

29

## OSCILLATEUR ÉLECTRIQUE

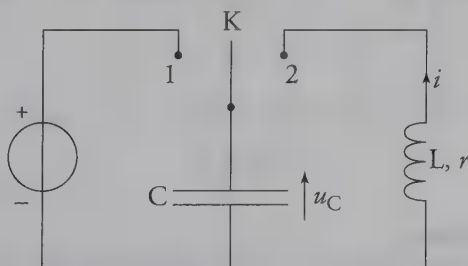
- Circuit  $R, L, C$
- Pseudo-période
- Énergie d'un oscillateur électrique
- Circuit  $L, C$

### Calculatrice autorisée

On réalise le circuit correspondant au schéma ci-dessous.

Le condensateur de capacité  $C = 15 \mu\text{F}$  est préalablement chargé à l'aide d'un générateur idéal de tension continue (interrupteur en position 1).

Il se décharge ensuite (interrupteur en position 2) à travers un circuit comportant une bobine d'inductance  $L = 1,0 \text{ H}$  et de résistance  $r$ .



### I – Étude du circuit

#### 1. Étude des oscillations

Un dispositif d'acquisition relié à un ordinateur permet de suivre pendant la décharge, d'une part l'évolution au cours du temps de la tension  $u_C$  aux bornes du condensateur et d'autre part celle de l'intensité  $i$  du courant (voir figure 1 ci-après).

- a. Les oscillations sont-elles libres ou forcées ? Sans calcul, justifier la réponse. **[0,25 pt]**
- b. Déterminer à partir des courbes la valeur de la pseudo-période des oscillations. **[0,5 pt]**
- c. Établir la relation entre l'intensité du courant  $i$  et la tension  $u_C$  aux bornes du condensateur en respectant les conventions indiquées sur le schéma. **[0,5 pt]**
- d. Entre les instants de dates  $t_A$  et  $t_B$  (voir figure 1 ci-après), le condensateur se charge-t-il ou se décharge-t-il ? Justifier la réponse. **[0,5 pt]**
- e. À partir de la courbe traduisant  $u_C(t)$ , et en utilisant la relation établie à la question I-1.c., retrouver la valeur de  $i$  à l'instant  $t_A$  et le sens réel de circulation du courant entre  $t_A$  et  $t_B$ . **[0,75 pt]**

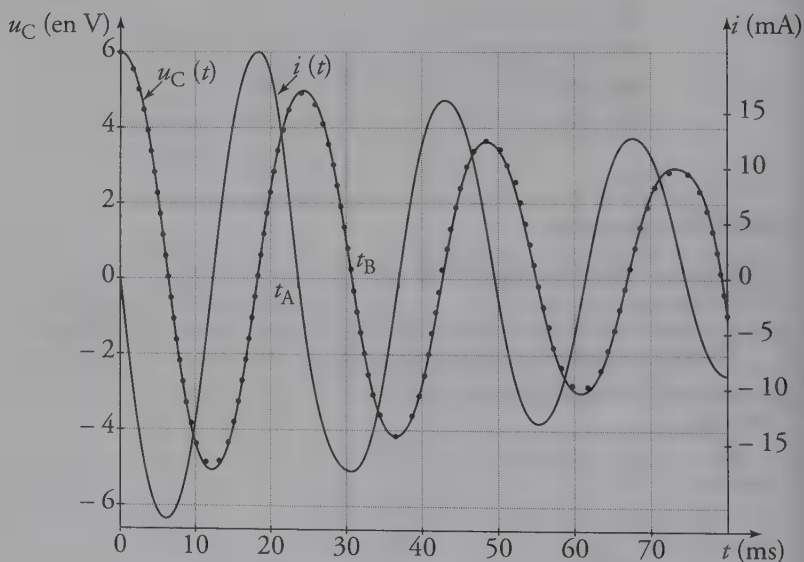


Figure 1

## 2. Étude énergétique

On souhaite étudier l'énergie totale  $E$  de l'oscillateur électrique. Cette énergie est la somme de l'énergie électrique  $E_1 = \frac{1}{2} C u_C^2$  emmagasinée dans le condensateur et de l'énergie magnétique  $E_2 = \frac{1}{2} L i^2$  emmagasinée dans la bobine. Le logiciel utilisé peut calculer, à partir des mesures, les valeurs de ces trois énergies et fournir les courbes donnant leur variation en fonction du temps (voir figure 2).

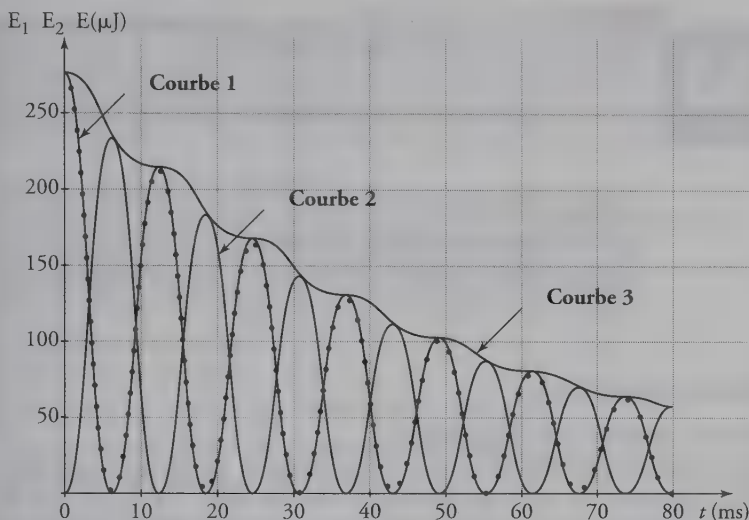


Figure 2

- a. L'origine des dates étant la même pour toutes les courbes des figures 1 et 2, identifier les trois courbes données figure 2 en ne justifiant que l'identification de la courbe donnant les variations de l'énergie magnétique. **[0,75 pt]**
- b. Interpréter brièvement la décroissance de l'énergie totale de l'oscillateur électrique. **[0,25 pt]**

## II. Modélisation

On suppose maintenant que l'oscillateur ne comporte aucune résistance. Dans ces conditions, la tension  $u_C$  aux bornes du condensateur est de la forme :

$$u_C(t) = U_m \sin(\omega_0 t + \Phi)$$

avec  $\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  où  $T_0$  est la période propre de l'oscillateur.

1. Calculer la valeur de  $T_0$ . **[0,5 pt]**
2. a. Établir les expressions :
  - de l'énergie électrique en fonction de  $C$ ,  $U_m$ ,  $\omega_0$ ,  $\Phi$  et  $t$ ,
  - de l'énergie magnétique en fonction de  $C$ ,  $U_m$ ,  $\omega_0$ ,  $\Phi$  et  $t$ . **[0,5 pt]**
- b. Montrer que, dans ce cas, l'énergie totale de l'oscillateur est conservée. **[0,5 pt]**

**30****QROC : À PROPOS D'ÉNERGIE**

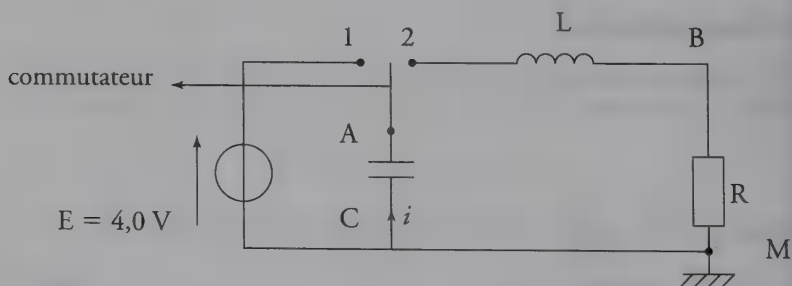
- Circuit RLC
- Oscillateur mécanique horizontal
- Pile Cuivre/Argent

**Calculatrice autorisée**

*Toutes les questions sont indépendantes.*

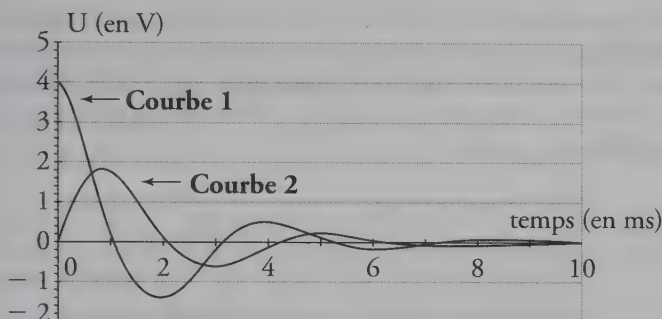
Cet exercice est un QROC (question à réponses ouvertes et courtes). À chaque affirmation, vous répondrez par **vrai** ou **faux**. Toute réponse doit être accompagnée de justifications ou de commentaires brefs (définitions, calculs, exemples ou contre-exemples...).

**I –** On a réalisé le montage ci-dessous avec les composants suivants : un conducteur ohmique de résistance  $R = 4,0 \times 10^2 \, \Omega$ , une bobine d'inductance  $L = 0,40 \, \text{H}$  (résistance interne de la bobine négligée) et un condensateur de capacité  $C = 1,0 \times 10^{-6} \, \text{F}$ .



On charge le condensateur, commutateur basculé en position 1, puis, à l'instant de date  $t_0 = 0 \, \text{s}$ , le commutateur est basculé en position 2.

Les points A, B et M sont reliés à un ordinateur ou à un système d'acquisition. Grâce à un logiciel adapté on observe l'évolution des tensions au cours du temps :



### 1. À propos des courbes

La courbe 1 visualisée est :

- a. la tension aux bornes du condensateur ;
- b. la tension aux bornes du conducteur ohmique ;
- c. la tension aux bornes de la bobine.

[0,5 pt]

La courbe 2 visualisée est :

- d. la tension aux bornes de la bobine ;
- e. la tension aux bornes du conducteur ohmique.

[0,375 pt]

### 2. À propos des énergies

À l'instant initial, le circuit RLC a emmagasiné une énergie  $E_1$  de :

- a. 8,0 mJ ;
- b.  $8,0 \times 10^{-6}$  J ;
- c.  $2,0 \times 10^{-6}$  J.

[0,375 pt]

3. Lorsque les deux courbes se coupent pour la première fois, la valeur de l'intensité du courant vaut :

- a. 5,0 mA ;
- b. 7,7 mA ;
- c. 4,2 mA.

[0,375 pt]

4. Lorsque les deux courbes se coupent pour la première fois, la somme des énergies emmagasinées dans la bobine et dans le condensateur notée  $E_2$  est :

- a.  $7,0 \times 10^{-6}$  J ;
- b.  $5,0 \times 10^{-6}$  J ;
- c.  $2,0 \times 10^{-6}$  J.

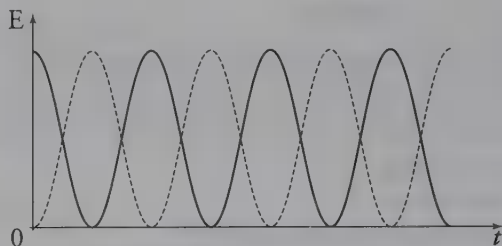
[0,375 pt]

5. Lorsque les deux courbes se coupent pour la première fois, l'énergie qui a été dissipée dans la résistance vaut :

- a.  $3,0 \times 10^{-6}$  J ;
- b.  $1,0 \times 10^{-3}$  J ;
- c. 10 mJ.

[0,375 pt]

**II** – On donne le graphe représentant en fonction du temps l'énergie cinétique et l'énergie potentielle élastique d'un système solide-ressort horizontal, écarté de sa position d'équilibre, lâché sans vitesse initiale à l'instant de date  $t_0 = 0$  s et à l'abscisse  $x_0$ . L'origine des abscisses correspond à la position d'équilibre du système.



1. La courbe correspondant à l'énergie cinétique est représentée en trait plein. **[0,375 pt]**

2. On suppose que l'énergie potentielle de pesanteur est nulle au niveau horizontal où se situe le système. Le système, de masse  $m$ , comporte un ressort de raideur  $k$ . L'expression de l'énergie mécanique du système est donnée par l'expression  $E_m = \frac{1}{2} kx_0^2$ . **[0,375 pt]**

3. L'allure des courbes permet d'affirmer qu'il n'y a pas de frottement. **[0,375 pt]**

**III** – On dispose d'une solution de nitrate d'argent  $\text{Ag}_{(\text{aq})}^+ + \text{NO}_{3(\text{aq})}^-$  de concentration  $0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , d'une solution de sulfate de cuivre de concentration  $0,50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , d'un fil d'argent, d'une lame de cuivre et d'un pont salin au nitrate de potassium.

On peut former une pile par l'association des couples  $\text{Ag}_{(\text{aq})}^+/\text{Ag}_{(\text{s})}$  et  $\text{Cu}_{(\text{aq})}^{2+}/\text{Cu}_{(\text{s})}$ .

Soit l'équation de réaction :  $2\text{Ag}_{(\text{aq})}^+ + \text{Cu}_{(\text{s})} = 2\text{Ag}_{(\text{s})} + \text{Cu}_{(\text{aq})}^{2+}$ .

La constante d'équilibre associée vaut  $K = 2,0 \times 10^{15}$ .

1. Si on relie les deux métaux constituant les bornes de la pile par une chaîne conductrice, le quotient de réaction initial de ce système, pour l'équation donnée est :

- $Q_{r,i} = 50$ , alors la réaction est spontanée dans le sens direct ;
- $Q_{r,i} = 50$ , alors la réaction est spontanée dans le sens inverse ;
- $Q_{r,i} = 0,02$ , alors la réaction est spontanée dans le sens direct ;
- $Q_{r,i} = 0,02$ , alors la réaction est spontanée dans le sens inverse. **[0,5 pt]**

2. Lorsque cette pile fonctionne (ou débite) son quotient de réaction :

- augmente ;



- b. diminue ;
  - c. ne varie pas. [0,375 pt]
3. Quel est le pôle négatif de la pile :
- a. l'électrode d'argent ?
  - b. l'électrode de cuivre ? [0,375 pt]

**IV** – Une pile de ce type a une f.é.m.  $E = 2,0 \text{ V}$  ; elle est prévue pour fonctionner pendant 10 h si elle débite de manière constante un courant d'intensité 320 mA.

L'énergie maximale disponible peut se calculer par la relation  $W = Q \times E$  où  $Q$  est la quantité d'électricité débitée dans le circuit.

*Donnée :*  $1 \text{ F} = 9,65 \times 10^4 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

1. L'énergie maximale disponible de cette pile est égale à :
- a. 11,5 J ;
  - b.  $1,15 \times 10^4 \text{ J}$  ;
  - c.  $2,30 \times 10^4 \text{ J}$ . [0,375 pt]
2. La quantité d'électrons qui circulent pendant la durée totale du fonctionnement est égale à :
- a. 0,12 mol ;
  - b. 1,0 mol ;
  - c. 2,0 mol. [0,375 pt]

## 31

### FEU D'ARTIFICE

- Chute libre
- Zone de sécurité
- Angle de tir

Calculatrice autorisée

#### > DISPOSITIF

Pour l'un des tableaux d'un feu d'artifice, deux fusées A et B doivent être tirées simultanément à partir de deux points O et P situés au sol et séparés par une distance  $d = 45 \text{ m}$ . Ces fusées vont exploser à la date  $t_E = 5,0 \text{ s}$  après leur lancement, l'une au-dessus de l'autre et mélanger ainsi leurs couleurs.

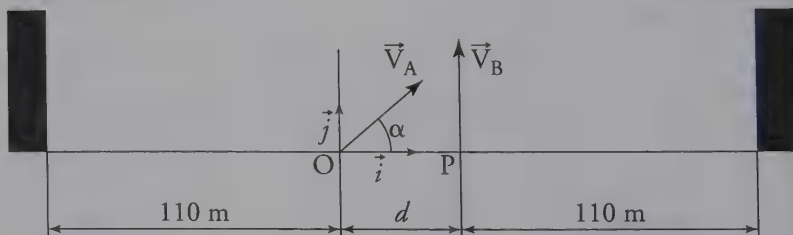
La fusée B est tirée du point P avec une vitesse  $\vec{V}_B$  verticale.

La fusée A est tirée du point O avec une vitesse  $\vec{V}_A$  inclinée d'un angle  $\alpha$  par rapport à l'horizontale.

Les vecteurs  $\vec{V}_A$  et  $\vec{V}_B$  sont dans le même plan vertical (voir figure).

Barrière  
de sécurité

Barrière  
de sécurité



L'instant du lancement sera choisi comme instant de date  $t = 0$ .

Pour cet exercice, on négligera les frottements de l'air sur les deux fusées ainsi que la rotation des fusées sur elles-mêmes. On supposera qu'il n'y a pas de vent.

On prendra :  $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  et  $V_A = V_B = 55 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

## > QUESTIONS

1. a. Montrer que le vecteur accélération est le même pour les deux fusées. Donner les caractéristiques de ce vecteur et ses coordonnées dans le repère  $(O ; \vec{i}, \vec{j})$ . [0,75 pt]

b. En déduire la nature du mouvement de chaque fusée. [0,25 pt]

2. a. Donner les coordonnées, dans le repère  $(O ; \vec{i}, \vec{j})$ , des vecteurs position  $\vec{OA}$  et  $\vec{OB}$  de chaque fusée puis des vecteurs vitesse  $\vec{V}_A$  et  $\vec{V}_B$  à l'instant initial  $t = 0$ . [1 pt]

b. Donner, sans calcul, la nature de la trajectoire de chaque fusée. [0,25 pt]

3. a. Établir les expressions des coordonnées  $x$  et  $y$  de chaque fusée après leur lancement en fonction du temps. [1 pt]

b. Déterminer l'angle  $\alpha$  pour que, à  $t = 0,5 \text{ s}$ , l'explosion de la fusée A ait lieu à la verticale du point P. [0,5 pt]

c. Montrer sans aucun calcul numérique que la fusée B explose au-dessus de la fusée A. [0,5 pt]

4. Les barrières de sécurité pour les spectateurs sont installées à la distance de 110 m des points de lancement O et P. Déterminer par la méthode de votre choix si ces spectateurs sont en sécurité lors de la retombée de chacune des fusées en cas de non explosion en altitude. [0,75 pt]

La Réunion, juin 2002 / 5,5 points

# 32

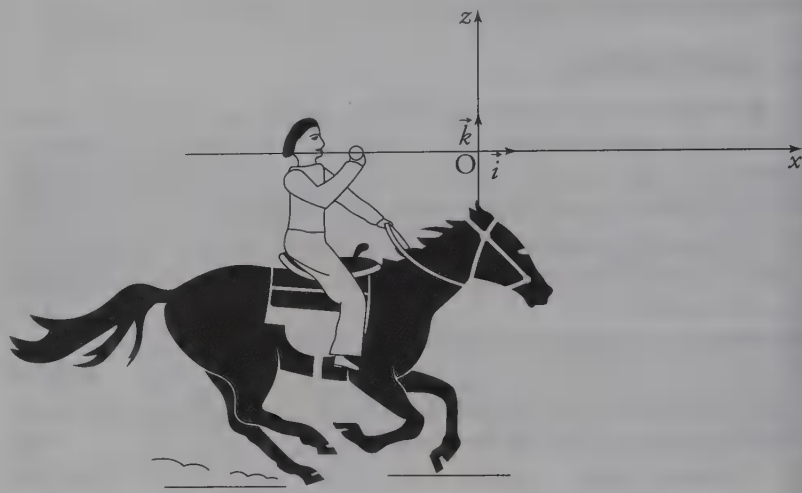
## LE JONGLEUR À CHEVAL

- Référentiel galiléen
- Chute libre avec vitesse initiale
- Caractéristiques d'une trajectoire

Calculatrice autorisée

## > DOCUMENT

Après avoir observé un spectacle de jongleur à cheval, on se pose la question suivante : si un cavalier en mouvement lance en l'air verticalement une balle, celle-ci retombera-t-elle toujours dans la main du cavalier ?



Soit B le centre d'inertie de la balle.

Soit A le point auquel on assimile la main du cavalier.

Soit C le centre d'inertie du système (cavalier, cheval).

Le mouvement du centre d'inertie C du système (cavalier, cheval) et le mouvement du centre d'inertie B sont étudiés dans le référentiel terrestre supposé galiléen. On admet que le point C se déplace parallèlement à l'axe horizontal.

Le vecteur vitesse  $\vec{V}_H$  du point C est constant.

Après le lancer, le mouvement de la main est le même que celui de C.

On prend comme origine des dates, l'instant où la balle quitte la main du cavalier (fin de la phase de lancement) ; les points A et B se trouvent alors au point O, pris comme origine du repère (O ;  $\vec{i}$ ,  $\vec{k}$ ).

## > QUESTIONS

I – 1. Rappeler la définition d'un référentiel galiléen.

[0,25 pt]

2. Préciser la nature du mouvement du point C.

[0,25 pt]

II – Avant le lancer, le vecteur vitesse du point B est le même que celui du point A soit  $\vec{V}_H$ .

On donne  $V_H = 5,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Le cavalier lance la balle en lui communiquant une vitesse verticale  $\vec{V}_V$  de valeur  $V_V$ . On donne  $V_V = 7,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Ainsi, au point O, le vecteur vitesse de B est  $\vec{V}_O = \vec{V}_H + \vec{V}_V$ .

Représenter, au point O, les vecteurs  $\vec{V}_V$ ,  $\vec{V}_H$  et  $\vec{V}_O$ .

[0,75 pt]

**III –** La trajectoire suivie par B se situe dans le plan  $(O ; \vec{i}, \vec{k})$ .

1. Les forces de frottement étant négligées, faire le bilan des forces extérieures agissant sur la balle après le lancer. **[0,25 pt]**

2. Appliquer la relation fondamentale de la dynamique (deuxième loi de Newton) au point B ; en déduire les équations horaires  $x_B(t)$  et  $z_B(t)$  du mouvement de B. **[1 pt]**

3. Montrer que l'équation de la trajectoire de B peut s'écrire sous la forme :

$$z_B = -\left(\frac{g}{2V_H^2}\right)x_B^2 + \frac{V_V}{V_H}x_B \quad \textbf{[0,25 pt]}$$

**IV –** Le centre d'inertie du projectile recoupe l'axe  $(O, x)$  en un point P. Exprimer littéralement puis calculer :

1. la date  $t_p$  de l'instant où se produit cet événement ; **[0,25 pt]**

2. les coordonnées  $x_p$  et  $z_p$  du point P.

On donne la valeur du champ de pesanteur  $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ . **[0,5 pt]**

**V – 1.** Préciser les expressions littérales des équations horaires  $x_A(t)$  et  $z_A(t)$  du point A. **[0,5 pt]**

2. Le jongleur récupérera-t-il toujours la balle et cela quelle que soit la valeur de la vitesse initiale  $V_V$  ? Justifier. **[0,5 pt]**

**VI – 1.** Donner les expressions de  $V_O$  et de  $V_S$  (vitesse de la balle au sommet de sa trajectoire), en fonction de  $V_H$  et  $V_V$ . **[0,25 pt]**

2. En appliquant le théorème de l'énergie cinétique à la balle, déterminer :

a. l'expression littérale de la hauteur maximale  $h$  atteinte en fonction de  $g$  et  $V_V$  ; **[0,25 pt]**

b. l'expression littérale de la vitesse  $V_P$  de la balle lorsque le jongleur la récupère en P. **[0,25 pt]**

c. Comparer les caractéristiques des vecteurs  $\vec{V}_O$  et  $\vec{V}_P$ . **[0,25 pt]**

**33****ÉTUDE DE LA CHUTE D'UNE GOUTTE D'EAU**

- Chute libre
- Poussée d'Archimède
- Forces de frottement
- Vitesse limite de chute

**Calculatrice autorisée***Données :*volume d'une sphère :  $V = \frac{4}{3} \pi R^3$  ;masse volumique de l'eau :  $\mu = 1,0 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  ;masse volumique de l'air :  $\rho = 1,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  ;valeur du champ de pesanteur :  $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  ;coefficient de viscosité de l'air :  $\eta = 1,81 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$  ;coefficient de frottement fluide d'une sphère de rayon  $R$  se déplaçant dans l'air :  $f = 6\pi\eta R$ .

Pour la goutte d'eau étudiée :

rayon de la goutte (supposée sphérique) :  $R = 0,50 \text{ mm}$  ;volume de la goutte :  $V = 5,2 \times 10^{-10} \text{ m}^3$  ;masse de la goutte :  $m = 5,2 \times 10^{-7} \text{ kg}$  ;coefficient de frottement fluide :  $f = 1,7 \times 10^{-7} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ .**I - Chute libre de la goutte**

La goutte d'eau est supposée tomber dans le vide, sans vitesse initiale, à partir d'un point O que l'on choisira comme origine d'un axe Ox vertical orienté vers le bas.

1. Établir les équations horaires de sa vitesse  $v(t)$  et de sa trajectoire  $x(t)$ .  
[0,75 pt]

2. Tracer la courbe  $v(t)$  sur le graphe 2.

La courbe  $x(t)$  est déjà tracée sur le graphe 1 (courbe (0)).

Pour réaliser une étude plus réaliste de la chute de la goutte d'eau dans l'air, il faut tenir compte d'autres forces :

- la poussée d'Archimède ;
- les forces de frottement.

[0,25 pt]

## II – Poussée d'Archimède

Le dictionnaire énonce le principe d'Archimède :

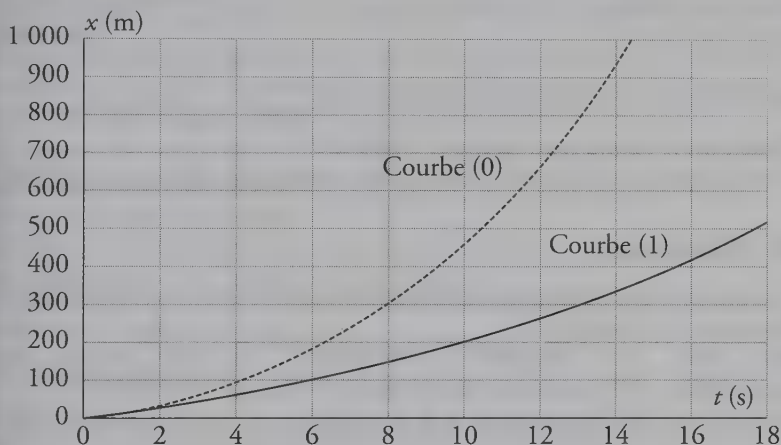
« Tout corps plongé dans un fluide subit une poussée verticale dirigée de bas en haut, égale au poids du fluide déplacé ».

Quel est le « volume d'air déplacé » par la goutte sphérique ?

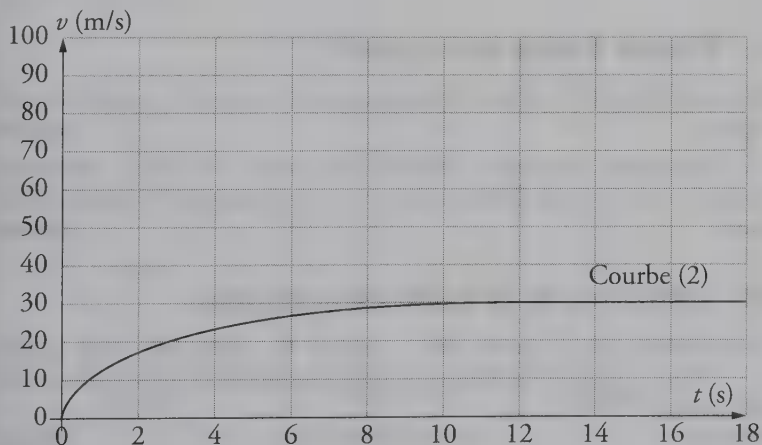
En déduire la masse, puis le poids du volume d'air déplacé ; comparer au poids de la goutte d'eau ; conclure.

[1 pt]

Graphe 1



Graphe 2





### III – Force de frottement

La force de frottement est proportionnelle, de même direction et de sens contraire à la vitesse  $\vec{F} = -f\vec{v}$ . Calculer la valeur de la force  $\vec{F}$  lorsque la vitesse de la goutte vaut  $v = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Comparer  $F$  au poids de la goutte ; conclure. **[0,75 pt]**

### IV – Équation différentielle du mouvement de la goutte

1. Réaliser l'inventaire des forces s'exerçant sur la goutte en mouvement ; représenter celles-ci sur un schéma pour  $v = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  (échelle : 1 cm pour  $10^{-6} \text{ N}$ ). **[0,75 pt]**

2. La vitesse  $v$  vérifie l'équation différentielle :  $\frac{dv}{dt} = -\frac{f}{m}v + g$ .

Quelle est la loi qui peut conduire à celle-ci ?

Commenter la signification physique des termes qui y figurent. **[0,75 pt]**

### V – Solutions

La solution  $v(t)$  de l'équation différentielle précédente est représentée par la courbe (2) (graphe 2).

On peut, par intégration, déterminer l'équation horaire du mouvement  $x(t)$  qui est représentée par la courbe (1) (graphe 1).

1. Évaluer l'ordre de grandeur de la distance parcourue au-delà de laquelle les frottements se font sentir de façon sensible. **[0,25 pt]**

2. Que devient la nature du mouvement au bout d'une dizaine de secondes ? **[0,25 pt]**

### VI – Vitesse limite de la goutte

1. En exploitant les courbes, déterminer la valeur  $v_L$  de la vitesse limite de la goutte. **[0,25 pt]**

2. En exploitant l'équation différentielle donnée en IV-2., déterminer l'expression de la vitesse limite puis la calculer ; comparer à la valeur précédente. **[0,5 pt]**

### VII – Influence de la taille de la goutte

On suppose que le rayon de la goutte est deux fois plus grand :  $R = 1,0 \text{ mm}$ . Étudier l'influence de cette modification sur la vitesse limite de la goutte.

Conclure.

**[0,5 pt]**

Amérique du Nord, juin 2003 / 5,5 points

34

## CHUTE D'UNE BALLE DE PING-PONG

- Poussée d'Archimède
- Frottements
- Méthode d'Euler

## Calculatrice autorisée

Au cours d'une séance de travaux pratiques, un professeur propose à un groupe formé d'Adrien, Benoît et Amélie d'étudier la chute d'une balle de ping-pong dans l'air. Les élèves disposent de l'enregistrement du mouvement de chute (voir document 1).

Données :

masse de la balle  $m = 2,3 \text{ g}$  ;

rayon de la balle  $r = 1,9 \text{ cm}$  ;

accélération de la pesanteur  $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  ;

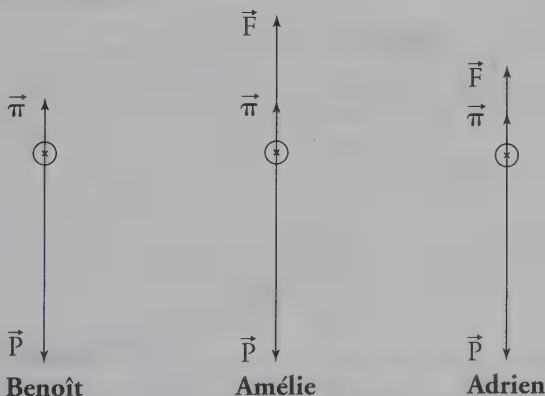
masse volumique de l'air  $\rho = 1,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  ;

volume de la sphère :  $V_S = \frac{4}{3} \pi r^3$ .

## &gt; DOCUMENT

L'objectif de la séance est la modélisation de la chute par une méthode numérique en faisant l'hypothèse que les frottements dépendent de la vitesse.

La première étape consiste à faire le bilan des forces s'exerçant sur la balle. Chacun se met alors au travail. Au bout de quelques minutes, ils confrontent leurs résultats :



Schémas des élèves

Leur surprise est grande ; les trois schémas sont différents ! Ils appellent leur professeur.

*Le professeur* : Chacun d'entre vous a à la fois raison et tort, car chaque schéma correspond à une situation particulière. Réfléchissez !

*Adrien* : Moi je pense qu'il y a trois forces : le poids de la balle  $\vec{P}$ , la poussée d'Archimède  $\vec{\Pi}$  et une force de frottement  $\vec{F}$ .

*Amélie* : Je crois que j'ai compris. Un des schémas correspond à l'instant initial, juste quand la balle est lâchée ; un autre représente les forces à une date  $t$  quelconque et un autre la situation au bout d'un temps de chute plus grand.

*Benoît* : Ne peut-on pas négliger la poussée d'Archimède devant le poids ?

*Amélie* : Bonne idée, fais le calcul !

Benoît trouve effectivement que la poussée est 62 fois plus petite que le poids.

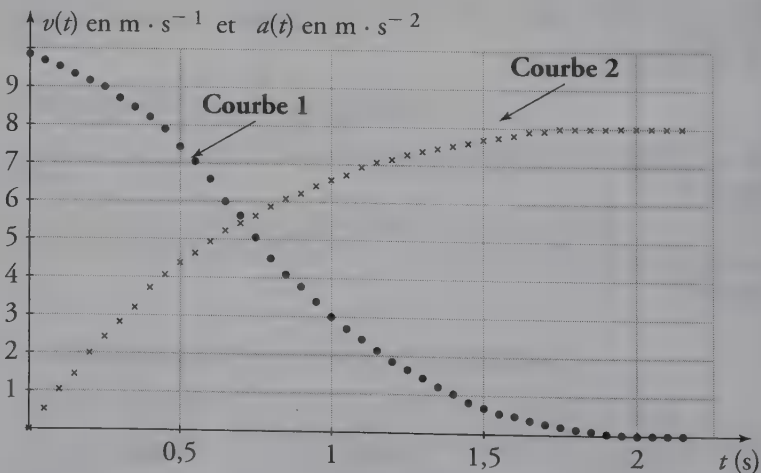
*Adrien* : Du coup, cela devient plus simple ! Maintenant on va appliquer la deuxième loi de Newton au centre d'inertie au système.

Il obtient l'équation suivante (notée équation (1)) :  $m \frac{dv}{dt} = m \cdot g - F$

Suite à cette première partie du dialogue, vous pouvez répondre aux questions 1, 2 et 3.

*Amélie* : C'est bien beau, mais on ne connaît pas  $F$  !

*Le professeur* : Plusieurs modèles sont envisageables. Je vous propose de faire l'hypothèse que la valeur de la force de frottement  $\vec{F}$  est proportionnelle au carré de la vitesse :  $F = k \cdot v^2$ . Vous pouvez déterminer la valeur de  $k$  à partir des valeurs expérimentales du document 1 que voici :



*Amélie* : L'une des courbes représente l'accélération en fonction du temps  $a(t)$  et l'autre la vitesse  $v(t)$ .

*Benoît* : Bon, on sait qu'à  $t = 0$ , on doit avoir  $v_0 = 0$  puisque la balle a été lâchée sans vitesse initiale.

*Adrien* : Tu as raison. On voit que la vitesse tend vers une limite  $v_{\text{lim}}$ . Je crois que j'ai trouvé comment calculer la valeur de  $k$  d'après l'enregistrement.

Adrien se livre alors à quelques calculs et obtient l'équation suivante :

$$\frac{dv}{dt} = 9,8 - 0,15 \cdot v^2 \quad (2)$$

*À la suite de cette deuxième partie, vous pouvez répondre aux questions 4, 5 et 6.*

Ces résultats étant validés, le professeur propose de résoudre l'équation (2) par la méthode numérique d'Euler à l'aide d'un tableur.

*Benoît* : Ça me revient ! il faut connaître les conditions initiales. On a dit qu'à  $t = 0$  on avait  $v_0 = 0$  donc on connaît  $(dv/dt)_{t=0}$ .

*Amélie* : Et après, il y a le pas d'itération  $\Delta t$ , il doit être petit.

*Benoît* : On pourrait essayer  $\Delta t = 0,05$  s.

*Amélie* : Voyons si je peux calculer les premières valeurs. On part de  $a_0 = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  et  $v_0 = 0$ . On admet que  $dv/dt$  est proche de  $\Delta v/\Delta t$ , donc  $\Delta v = (9,8 - 0,15 \cdot v^2) \cdot \Delta t$ , soit  $\Delta v = 0,49 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  au départ.

*Benoît* : C'est bien cela ! On dit que pendant le petit intervalle de temps  $\Delta t$ , la valeur de la dérivée de la vitesse est constante. On peut en déduire  $\Delta v$  et la nouvelle valeur de  $v$ .

*Amélie* : Si j'ai bien compris, entre  $t = 0$  s et  $t_1 = 0,05$  s, la vitesse est passée de  $v_0 = 0$  à  $v_1 = 0,49 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

*Benoît* : Mais oui ! Et maintenant on calcule la nouvelle valeur de l'accélération, je trouve :  $(dv/dt)_{t_1} = 9,76 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ . Ainsi de suite, on procède par itérations successives.

Amélie et Benoît continuent leurs calculs à la main pendant qu'Adrien effectue les calculs avec le tableur d'un ordinateur.

*Adrien* : Ça y est ! j'ai fini ! Tenez, je vous imprime le début de ma page de calculs... mais j'ai effacé trois cases, je vous avertis ! (Voir les premières lignes du tableau ci-après à rendre avec la copie).

*Amélie* : On a les mêmes résultats que toi, et sans tableur ! Mais tous ces chiffres après la virgule, ça me fait bien rire !

*À la suite de cette dernière partie, vous pouvez répondre aux questions 7 et 8.*

## > QUESTIONS

1. Faire correspondre chaque schéma d'élève à une des propositions d'Amélie. Justifier.

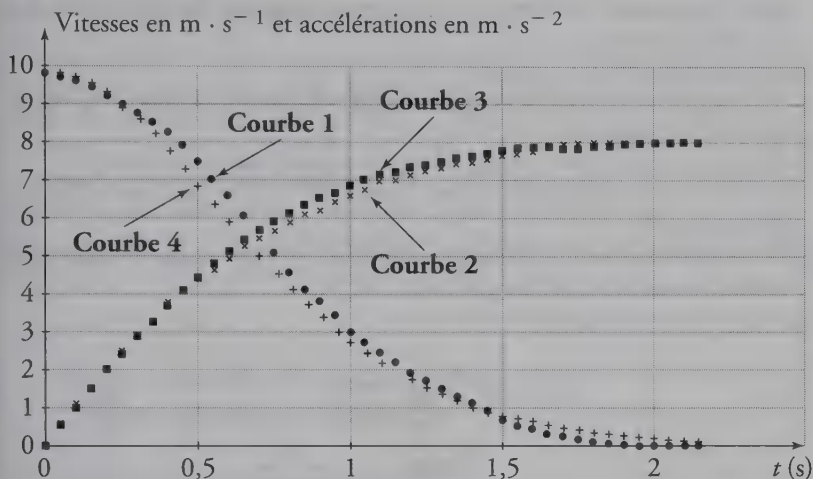
[0,5 pt]

2. Calculer le rapport des forces entre le poids et la poussée d'Archimède. Conclure. **[0,25 pt]**
3. Retrouver alors l'équation (1) trouvée par Adrien. Indiquer l'axe de projection qui a été utilisé. **[0,5 pt]**
4. Identifier sur le document 1 les deux courbes représentées. Justifier. **[0,5 pt]**
5. Déterminer, à partir du document 1, la vitesse limite  $v_{\text{lim}}$  de la balle. En déduire la valeur expérimentale de  $k$ . Retrouver l'équation (2). **[0,75 pt]**
6. Dans le cas d'une sphère de rayon  $r$  se déplaçant dans un fluide de masse volumique  $\rho$ , la valeur théorique de  $k$  (notée  $k_t$ ) a pour expression :
- $$k_t = 0,22 \cdot \pi \cdot \rho \cdot r^2.$$
- Calculer la valeur théorique  $k_t$ . Comparer  $k$  et  $k_t$  et conclure. **[0,5 pt]**
7. a. Évaluer le temps caractéristique de l'évolution du système. Le choix du pas d'itération vous semble-t-il satisfaisant ? Justifier. **[0,5 pt]**
- b. Compléter les trois cases vides du tableau donné ci-après (à rendre avec la copie). Justifier. **[0,75 pt]**

Tableau des calculs utilisant la méthode d'Euler

| Temps  | Vitesse      | Accélération   |
|--------|--------------|----------------|
| $t(s)$ | $v(m/s)$     | $dv/dt(m/s^2)$ |
| 0      | 0            | 9,8            |
| 0,05   | 0,49         |                |
| 0,1    |              | 9,656 468 93   |
| 0,15   | 1,461 022 7  |                |
| 0,2    | 1,935 013 29 | 9,238 358 53   |
| 0,25   | 2,396 931 22 | 8,938 208 11   |

- c. Justifier très brièvement l'exclamation d'Amélie à propos de la précision des résultats des calculs d'Adrien. **[0,25 pt]**
8. a. Comparer les valeurs expérimentales (courbes 1 et 2) et les valeurs calculées avec la méthode d'Euler (courbes 3 et 4) qui sont rassemblées dans le graphe ci-après. **[0,25 pt]**



b. Avant de conclure sur la validité du modèle utilisé pour la force de frottement, que faut-il modifier dans le calcul numérique ? **[0,25 pt]**

c. Quel autre modèle pourrait-on proposer pour la force de frottement ? Expliquer brièvement ce qui serait modifié dans l'équation (2) qui sert de base à la méthode d'Euler. **[0,5 pt]**

France Métropolitaine, septembre 2002 / 5 points

# 35

## TOUJOURS PLUS LOIN

- Chute libre avec et sans vitesse initiale
- Théorème de l'énergie cinétique
- Satellisation

### Calculatrice NON autorisée

Deux enfants Amélie et Benoît sont sur un balcon. Ils jouent avec des palets de hockey identiques, et, au cours de leurs différentes parties, ils s'interrogent...

### I – Première partie

Amélie lâche son palet A sans vitesse initiale, et, en même temps, de la même altitude par rapport au sol, Benoît lance son palet B avec une vitesse

initiale horizontale  $\vec{v}_0$ . Benoît pense que son palet touchera le sol plus tard que celui d'Amélie.

La modélisation est la suivante :

- les palets sont assimilés à des points matériels (confondus avec leur centre d'inertie) de masse  $M$  ;
- les actions de l'air sont négligeables par rapport aux autres forces ;
- les palets sont initialement à une altitude  $h = 5,0$  m par rapport au sol (voir schéma 1).

On considérera que le référentiel terrestre est galiléen et on prendra pour accélération de la pesanteur  $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

La situation est schématisée ci-dessous.

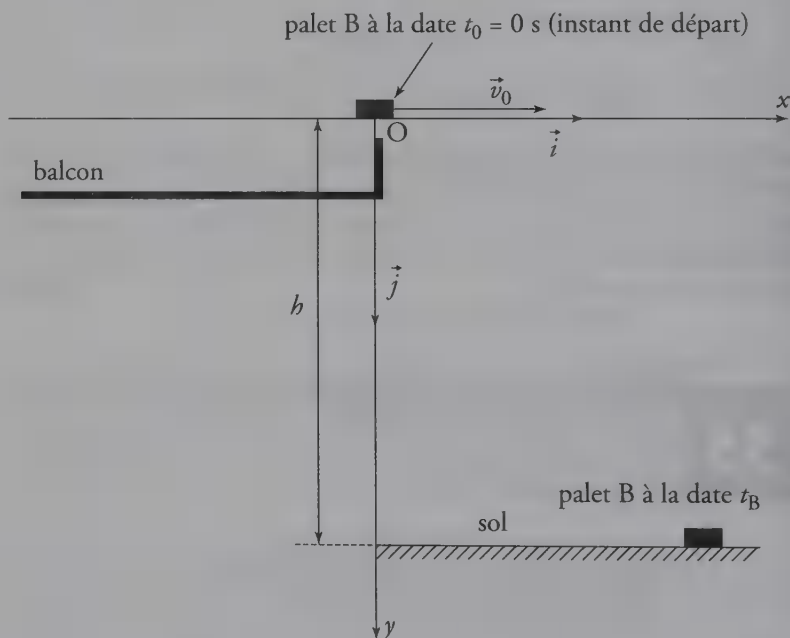


Schéma 1 (ce schéma n'est pas à l'échelle)

1. On considère que le mouvement a lieu dans le plan vertical  $xOy$  (schéma 1). Dans le repère  $(O; \vec{i}, \vec{j})$ , représenté sur le schéma 1, établir sous forme littérale les équations horaires  $x_B(t)$  et  $y_B(t)$  du palet B. **[1,25 pt]**
2. En déduire l'expression littérale de la durée de chute  $t_B$ . **[0,25 pt]**
3. À l'aide de ce résultat, montrer que Benoît a tort, et préciser si son palet arrive plus tôt ou en même temps que le palet d'Amélie. **[0,25 pt]**



## II – Deuxième partie

Amélie et Benoît décident de comparer leur force. Une gouttière lisse et horizontale leur sert de rampe de lancement. L'un après l'autre, chacun d'eux place son palet en K et le pousse jusqu'au point O où le palet quitte la rampe.

Le palet A touche le sol à la distance  $D_A = 8,0$  m du pied H du balcon, le point H appartenant au plan vertical  $xOy$ . Le palet B touche le sol à la distance  $D_B = 4,0$  m de H. Amélie affirme à Benoît : « je suis deux fois plus forte que toi ». On se propose de savoir si elle a raison.

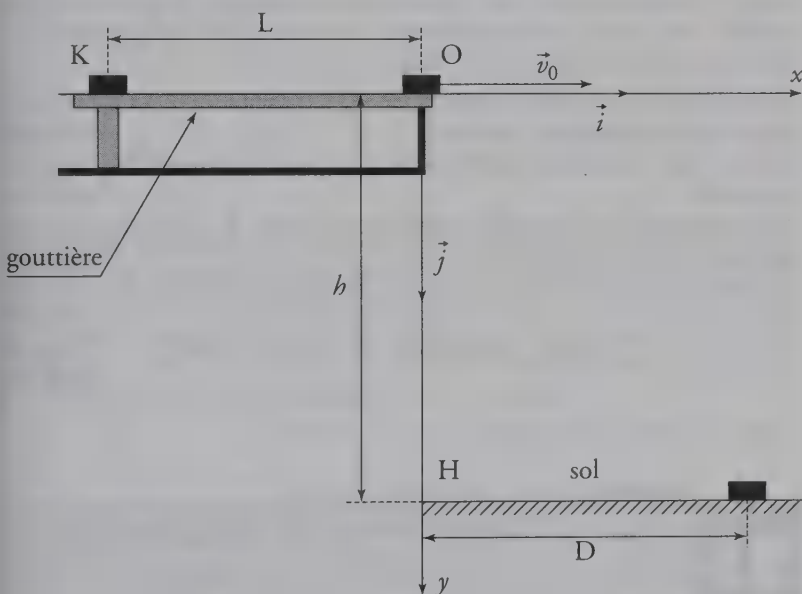


Schéma 2 (ce schéma n'est pas à l'échelle)

L'étude dynamique du mouvement du centre d'inertie du palet dans la phase de chute conduit à l'expression :  $D = v_0 \times \sqrt{\frac{2 \times h}{g}}$ , où  $v_0$  est la valeur de la vitesse en O.

On modélise l'action des mains d'Amélie (ou de Benoît) sur un palet par une force horizontale constante  $\vec{F}$  qui s'exerce sur la distance  $KO = L = 1,0$  m. La vitesse en K est nulle (voir schéma 2). Les forces de frottement agissant sur un palet sont négligées par rapport aux autres forces.

**1.** Faire le bilan des forces appliquées à un palet entre K et O et les représenter sur un schéma. **[0,25 pt]**

2. En appliquant le théorème de l'énergie cinétique, déterminer l'expression de  $v_0$  en fonction de  $F$ ,  $M$  et  $L$ . **[0,75 pt]**
3. En déduire l'expression de  $F$  en fonction de  $D$ ,  $M$ ,  $L$ ,  $g$  et  $h$ . **[0,25 pt]**
4. En déduire, sans calcul numérique, si la valeur de la force exercée par Amélie est deux fois plus grande que celle exercée par Benoît. Justifier. **[0,25 pt]**

### III – Troisième partie

Amélie se demande quelle vitesse devrait avoir le palet s'il tournait au voisinage de la surface de la Terre. Le mouvement supposé du palet peut être assimilé, dans ce cas, à un mouvement circulaire de centre  $T$ , centre de la Terre, et de rayon  $R = 6,4 \times 10^3$  km.

1. Au cours d'un tel mouvement, le champ de gravitation peut-il être considéré comme uniforme ? Justifier. **[0,25 pt]**
2. Dans quel référentiel faut-il se placer pour étudier ce mouvement circulaire ? **[0,25 pt]**
3. En assimilant le champ de gravitation au champ de pesanteur, montrer que ce mouvement serait uniforme. **[0,5 pt]**
4. Établir alors l'expression de la vitesse du palet en fonction de  $g$  et de  $R$ . **[0,5 pt]**
5. Calculer la valeur numérique de cette vitesse, en prenant  $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ . **[0,25 pt]**

Polynésie, Septembre 2001 / 6 points

# 36

## 1969 : L'HOMME MARCHE SUR LA LUNE

- Attraction lunaire
- Mouvement circulaire uniforme
- Vecteur accélération
- Alunissage

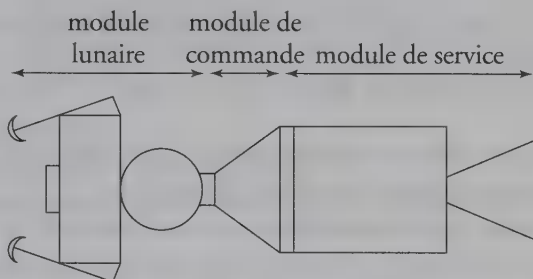
Calculatrice autorisée

### > DOCUMENT

Le 21 juillet 1969 à 3 h 56 min (heure française), Armstrong est le premier homme à poser le pied sur la Lune : c'est la mission Apollo XI.

Parti de la Terre le 16 juillet avec trois astronautes à bord, Apollo XI se satellise autour de la Lune le 19 juillet sur une orbite circulaire à 100 km d'altitude.

Apollo XI comprend trois parties (voir schéma ci-dessous) : un module de service (masse 24 tonnes), un module de commande (6 tonnes) et le module lunaire ou LEM (15 tonnes).



Le 20 juillet Armstrong et Aldrin quittent Collins (qui reste en orbite dans le module de commande) et se glissent dans le module lunaire. Le LEM se sépare du module de commande et commence à descendre vers la Lune : juste avant le contact, à 20 m du sol, sa vitesse n'est plus que de 1,5 km/h par rapport au sol ; il se pose à 21 h 17 min. Armstrong sortira après quelques heures de travail préparatoire et de vérifications.

*D'après un article de la Revue du Palais de la Découverte.*

## > QUESTIONS

On se propose d'étudier l'orbite lunaire d'Apollo XI et la descente du LEM. On ne s'intéresse qu'au mouvement des centres d'inertie du vaisseau et du LEM.

*Données :*

Absence d'atmosphère sur la Lune.

Rayon lunaire  $R_L = 1,74 \times 10^3$  km.

Masse de la Lune  $M = 7,35 \times 10^{22}$  kg (répartition de masse supposée à symétrie sphérique).

Valeur du champ de la gravitation sur le sol lunaire :  $g_L = 1,62 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

Constante de gravitation universelle :  $G = 6,67 \times 10^{-11}$  unités S.I.

On négligera l'influence de la Terre et du Soleil sur les objets étudiés au voisinage de la Lune. L'étude sera faite par rapport à un référentiel défini par le centre de la Lune et trois étoiles « fixes ». Ce référentiel sera considéré comme galiléen.

## I – Étude de l'orbite d'Apollo XI

1. a. Écrire l'expression de la valeur de la force subie par un vaisseau de masse  $m$  au voisinage de la Lune à l'altitude  $h$  ; préciser les unités des grandeurs utilisées (sauf celle de  $G$ ). **[0,75 pt]**
- b. Sur un schéma clair où apparaîtra la Lune, représenter la force subie par le vaisseau en orbite ainsi que la direction du vecteur vitesse de ce vaisseau. **[0,25 pt]**
2. a. Établir l'expression de la valeur de l'accélération du vaisseau en fonction des données. **[0,25 pt]**
- b. La valeur de l'accélération dépend-elle de la masse de l'objet en orbite ? **[0,25 pt]**
- c. Représenter le vecteur accélération sur le schéma précédent. **[0,25 pt]**
3. On rappelle que l'orbite d'Apollo XI est circulaire.
  - a. Démontrer que le mouvement de son centre d'inertie  $C$  est uniforme. **[0,75 pt]**
  - b. Établir l'expression de la vitesse de  $C$ . Dépend-elle de la masse  $m$  ? **[0,5 pt]**
  - c. En déduire l'expression de la période de révolution  $T$  d'Apollo XI sur son orbite lunaire. **[0,5 pt]**
  - d. Calculer numériquement la vitesse de  $C$  et la période  $T$  ; on rappelle que  $h = 100 \text{ km}$ . **[0,5 pt]**
4. Quel est le mouvement du LEM par rapport à Apollo XI, entre l'instant où on enlève ses attaches avec le reste du vaisseau et l'instant où on allume les moteurs pour amorcer la descente ? **[0,5 pt]**

## II – Étude de la descente du LEM sur la Lune

L'étude menée dans la partie I montre que le LEM, en orbite circulaire, ne peut pas quitter cette orbite sous l'action de la seule force de gravitation lunaire. Sa descente sur la Lune ne peut donc s'effectuer que sous l'action de forces supplémentaires.

1. À quoi sont dues ces forces :
  - à un (ou des) parachute(s) ?
  - à des moteurs fusées (exerçant une force résultante de même sens que la vitesse) ?
  - à des rétrofusées (exerçant une force résultante de sens contraire à la vitesse) ?
 Justifier la réponse. **[1 pt]**
2. La masse du LEM varie au cours de la descente. Dans quel sens et pourquoi ? **[0,5 pt]**

Inde, avril 2003 / 6 points

37

## MISE EN ORBITE D'UN SATELLITE ARTIFICIEL PAR LA FUSÉE ARIANE

- Décollage d'une fusée
- Loi de la gravitation universelle
- Satellite artificiel en orbite circulaire

### Calculatrice autorisée

D'après Encyclopædia Universalis (1998) :

(Certains renseignements et données sont nécessaires à la résolution du sujet).

Le premier lanceur Ariane est une fusée à trois étages dont la hauteur totale est de 47,4 m et qui pèse, avec sa charge utile (satellite), 208 tonnes au décollage.

Le premier étage qui fonctionne pendant 145 secondes est équipé de 4 moteurs Viking V alimentés par du peroxyde d'azote  $N_2O_4$  (masse de peroxyde emportée : 147,5 tonnes).

L'intensité de la force de poussée totale  $\vec{F}$  de ces 4 réacteurs est constante pendant leur fonctionnement : elle vaut  $F = 2\,445$  kN.

Ce lanceur peut mettre en orbite circulaire basse de 200 km d'altitude un satellite de 4 850 kg ; il peut également placer sur une orbite géostationnaire un satellite de 965 kg ; il peut aussi être utilisé pour placer en orbite héliosynchrone des satellites très utiles pour des applications météorologiques.

### I – L'ascension de la fusée Ariane

Le champ de pesanteur  $\vec{g}$  est supposé uniforme : son intensité est  $g_0 = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

On choisit un axe Oz vertical dirigé vers le haut. On étudie le mouvement de la fusée dans le référentiel terrestre qu'on suppose galiléen.

**1.** Représenter clairement, sur un schéma, en les nommant, les deux forces qui agissent sur la fusée Ariane lorsqu'elle s'élève verticalement. On néglige les frottements et la poussée d'Archimède dans l'air. [0,25 pt]

**2.** À un instant quelconque, la masse de la fusée est  $m$ . Déterminer en fonction de  $m$  et des intensités des deux forces précédentes la valeur de l'accélération  $a$ . [0,25 pt]

**3.** On considère d'abord la situation au décollage. La masse de la fusée vaut alors  $m_1$ . Calculer la valeur numérique de l'accélération  $a_1$  à cet instant.

On envisage la situation qui est celle immédiatement avant que tout le peroxyde d'azote ne soit consommé. La masse de la fusée vaut alors  $m_2$ . Calculer la valeur numérique de  $m_2$  puis celle de l'accélération  $a_2$  à cet instant. Le mouvement d'ascension de la fusée est-il uniformément accéléré ?

[0,75 pt]

4. La vitesse d'éjection  $\vec{V}_e$  des gaz issus de la combustion du peroxyde d'azote est donnée par la relation :

$$\vec{V}_e = \frac{\Delta t}{\Delta m} \cdot \vec{F}$$

où  $\frac{\Delta m}{\Delta t}$  est la variation de masse de la fusée par unité de temps et caractérise la consommation des moteurs.

Vérifier l'unité de  $V_e$  par analyse dimensionnelle. Calculer la valeur numérique de  $V_e$ .

Quel est le signe de  $\frac{\Delta t}{\Delta m}$  ? En déduire le sens de  $\vec{V}_e$ . Qu'en pensez-vous ?

À l'aide d'une loi connue qu'on énoncera, expliquer pourquoi l'éjection des gaz propulse la fusée vers le haut.

[1,5 pt]

## II – Étude du satellite artificiel situé à basse altitude ( $h = 200 \text{ km}$ )

On s'intéresse au mouvement d'un satellite artificiel S, de masse  $m_S$ , en orbite circulaire (rayon  $r$ ) autour de la Terre de masse  $M_T$ , de rayon  $R_T$  et de centre O. On suppose que la Terre est une sphère et qu'elle présente une répartition de masse à symétrie sphérique et que le satellite peut être assimilé à un point.

1. Préciser les caractéristiques du vecteur accélération  $\vec{a}$  d'un point animé d'un mouvement circulaire uniforme de rayon  $r$  et de vitesse  $v$ . [0,5 pt]

2. Énoncer la loi de la gravitation universelle. On appelle  $G$  la constante de gravitation universelle.

Faire un schéma sur lequel les vecteurs-forces sont représentés. [0,5 pt]

3. Le satellite S est à l'altitude  $h$  : on a donc  $r = R + h$ .

On appelle  $\vec{F}_S$  la force qu'exerce la Terre sur le satellite. Cette force dépend de la position du satellite et on pose  $\vec{F}_S = m_S \cdot \vec{g}(h)$ . On note  $g(h)$  l'intensité de la pesanteur  $\vec{g}(h)$  à l'endroit où se trouve le satellite :  $|\vec{g}(h)| = g(h)$ . Exprimer  $g(h)$  en fonction de  $M_T$ ,  $R_T$ ,  $h$  et  $G$  puis  $g(h)$  en fonction de  $R_T$ ,  $h$  et  $g_0 = g(0)$ . [0,75 pt]

4. Appliquer la deuxième loi de Newton au satellite en orbite circulaire. En déduire l'expression de la vitesse  $v_S$  du satellite en fonction de  $g_0$ ,  $R_T$  et  $h$  puis celle de sa période de révolution  $T_S$ . [1 pt]

5. Application numérique : Calculer  $v_S$  et  $T_S$  sachant que  $g_0 = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  ;  $h = 200 \text{ km}$  et  $R_T = 6\,400 \text{ km}$ . [0,5 pt]

Polynésie, session de remplacement, Septembre 2002 / 5 points

38

## MÉTÉOSAT, SPOT ET LES AUTRES...

- Champ gravitationnel terrestre
- Caractéristiques de l'orbite d'un satellite
- Satellite géostationnaire

**Calculatrice autorisée**

Un objet situé hors de l'atmosphère terrestre décrira une trajectoire circulaire (il sera satellisé) s'il est lancé avec une vitesse horizontale déterminée et à une altitude bien précise.

Dans ce problème, la Terre est assimilée à une sphère homogène de masse  $M_T$  de centre  $T$  et de rayon  $R_T$ .

*Données :*

Rayon de la Terre :  $R_T = 6\,380\text{ km}$ .

Valeur du champ de gravitation à la surface de la Terre :  $\mathcal{G}_0 = 9,80\text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

Période de rotation de la Terre sur elle-même dans le référentiel géocentrique appelée jour sidéral :  $T = 86\,164\text{ s}$ .

On considérera que  $\vec{g}_0$  champ de pesanteur terrestre au niveau du sol est égal à  $\vec{\mathcal{G}}_0$  champ de gravitation à la surface terrestre.

**I –** Pour lancer un satellite et le mettre sur orbite on utilise une fusée.

Cette fusée de centre d'inertie  $I$ , de masse totale  $m = 300$  tonnes, est propulsée verticalement à partir du sol terrestre. Ses moteurs exercent une force de poussée de valeur  $F = 4,30 \times 10^6\text{ N}$ .

Dans un référentiel à préciser, établir l'expression de l'accélération initiale de la fusée si l'on néglige l'effet des forces de frottement. Calculer sa valeur numérique.

**[1 pt]**

**II –** La fusée amène en quelques minutes le satellite hors de l'atmosphère et après passage sur une orbite de transfert, le satellite se retrouve sur son orbite circulaire.

**1.** Faire un schéma (sans respecter l'échelle) sur lequel apparaîtra le vecteur champ de gravitation terrestre  $\vec{\mathcal{G}}$  en  $I$ .

**[0,25 pt]**

**2.** Montrer que l'expression de la valeur de ce champ de gravitation  $\mathcal{G}(h)$

à l'altitude  $h$  peut se mettre sous la forme :  $\mathcal{G}(h) = \frac{g_0 R_T^2}{(R_T + h)^2}$ . Faire

l'application numérique pour  $h = 820\text{ km}$ .

**[0,5 pt]**



3. Montrer que dans le référentiel géocentrique le mouvement de ce satellite est uniforme. **[0,5 pt]**

4. Établir l'expression de la vitesse de ce satellite sur son orbite ainsi que celle de sa période, en fonction de  $g_0$ ,  $R_T$ , et  $h$ . **[1 pt]**

**III –** La fusée peut libérer plusieurs types de satellites artificiels, les données relatives à 2 de ces satellites figurent dans le tableau à trous ci-dessous :

|                                 | Météosat | Spot |
|---------------------------------|----------|------|
| Altitude $h$ en km              | 35 800   | 820  |
| Période $T$ en min              | 1 436    | ?    |
| Vitesse $v$ en $m \cdot s^{-1}$ | ?        | ?    |

1. Calculer les valeurs manquantes du tableau. **[0,75 pt]**

2. L'un de ces deux satellites est dit géostationnaire. Indiquer lequel et justifier la réponse. **[0,5 pt]**

3. Expliquer pourquoi la trajectoire de ce satellite géostationnaire est forcément dans le plan équatorial. **[0,5 pt]**

Antilles-Guyane, septembre 2002 / 6 points

**39**

## LE SYSTÈME MONDIAL DES SATELLITES MÉTÉOROLOGIQUES OPÉRATIONNELS

- Caractéristiques de l'orbite d'un satellite
- Troisième loi de Kepler
- Satellite géostationnaire

### Calculatrice autorisée

Sur Internet le site d'EUMETSAT donne la définition suivante de ce système de satellites : « ...une constellation [synonyme : ensemble ou groupe] d'au moins cinq satellites espacés régulièrement autour de l'équateur en orbite géostationnaire et au minimum deux satellites quasi polaires... »

Les satellites des deux familles citées ayant des orbites circulaires, nous allons commencer par définir les caractéristiques générales des mouvements circulaires des satellites terrestres, puis nous examinerons les caractéristiques propres aux deux familles.

Données :

• Terre :

- supposée parfaitement sphérique de centre O
- masse  $M_T = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
- rayon  $R_T = 6\,380 \text{ km}$
- période du mouvement d'ouest en est, autour de l'axe des pôles  $T_T = 86\,164 \text{ s}$

• Satellite :

- centre d'inertie S
- masse  $m$  telle que  $m \ll M_T$
- altitude  $h$
- Constante de gravitation universelle :  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ .

## I – Caractéristiques générales des mouvements circulaires des satellites

### 1. Force(s) mise(s) en jeu

a. Quelles sont les actions négligées lorsqu'un satellite est supposé soumis à la seule attraction gravitationnelle de la Terre (ce que nous admettrons dans la suite de l'exercice) ? Dans quel domaine (pour ce qui concerne l'altitude du satellite) ces approximations sont-elles légitimes ? **[0,75 pt]**

b. Quelles hypothèses fait-on sur la répartition de la masse de la Terre et sur la taille du satellite quand l'intensité de la force d'attraction a pour

expression :  $F_{T/S} = \frac{G \times M_T \times m}{(R_T + h)^2}$  ? **[0,25 pt]**

c. Faire un schéma clair représentant la Terre, le satellite, la trajectoire du satellite ainsi que la force de gravitation exercée par la Terre sur le satellite. **[0,25 pt]**

### 2. Grandeurs cinématiques

a. Par rapport à quel référentiel considéré comme galiléen le satellite est-il animé d'un mouvement circulaire ? **[0,25 pt]**

b. Montrer que le satellite a une accélération centripète et un mouvement uniforme. **[0,5 pt]**

c. En déduire l'expression suivante donnant la vitesse linéaire :

$$v = \sqrt{\frac{G \times M_T}{R_T + h}}. \quad \textbf{[0,25 pt]}$$

d. Retrouver la troisième loi de Kepler (relation liant le carré de la période de révolution et le cube du rayon  $r$  de l'orbite circulaire :  $\frac{T^2}{r^3} = \text{constante}$ ) en utilisant l'expression de  $v$  établie à la précédente question. **[0,5 pt]**

### 3. Énergie potentielle d'interaction gravitationnelle $E_p$ (analyse dimensionnelle)

L'énergie potentielle d'interaction gravitationnelle entre deux objets de masse  $m$  et  $M$  situés à la distance  $r$  l'un de l'autre augmente avec  $r$  et a même dimension que le travail d'une force. Choisir parmi les expressions suivantes celle qui convient pour  $E_p$  après justification. **[0,75 pt]**

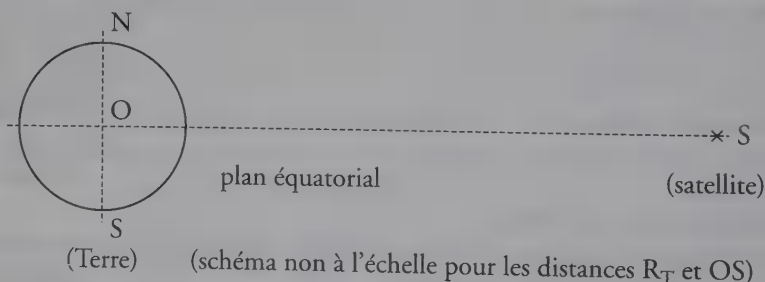
| hypothèse  | a                              | b                                             | c                               | d                                 |
|------------|--------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| expression | $G \times M \times m \times r$ | $-\left(\frac{G \times M \times m}{r}\right)$ | $\frac{G \times M \times m}{r}$ | $-(G \times M \times m \times r)$ |

## II – Caractéristiques propres aux satellites météorologiques opérationnels

1. Les satellites géostationnaires évoluent dans le plan équatorial à une altitude d'environ 35 800 km et restent à la verticale d'un point fixe de la surface terrestre.

a. Quel est le mouvement d'un satellite géostationnaire par rapport au référentiel terrestre ? **[0,25 pt]**

b. Donner dans le référentiel galiléen d'étude les caractéristiques de la vitesse angulaire d'un satellite géostationnaire. **[0,75 pt]**



c. Montrer géométriquement qu'il n'est pas possible d'observer les régions polaires depuis un satellite géostationnaire en complétant le schéma ci-dessus. Établir que le parallèle nord ( $+81,3^\circ$ ) et le parallèle sud ( $-81,3^\circ$ ) séparent les zones observables ou non observables. **[0,75 pt]**

2. Les satellites quasi polaires ont des orbites très inclinées par rapport au plan de l'équateur, ils survolent donc des régions situées à proximité des pôles du globe terrestre.

En utilisant la 3<sup>e</sup> loi de Kepler à quelle altitude doit évoluer un satellite quasi polaire dont la période de révolution est de 103 minutes ? **[0,75 pt]**

France Métropolitaine, juin 2002 / 5,5 points

40

## NEWTON ET LES SATELLITES DE JUPITER

- Force d'interaction gravitationnelle
- Mouvement circulaire uniforme
- Chute libre

Calculatrice **NON** autorisée

## &gt; DOCUMENT

Extraits du livre I :

*Proposition I :*

Les forces par lesquelles les satellites de Jupiter sont retirés perpétuellement du mouvement rectiligne (...) sont dirigées vers le centre de Jupiter et sont inversement proportionnelles aux carrés de leur distance à ce centre.

*Proposition V :*

Les satellites de Jupiter gravitent vers Jupiter, ceux de Saturne vers Saturne, et les planètes principales vers le Soleil, et c'est par la force de leur gravité que ces corps (...) sont retirés à tout moment de la ligne droite et qu'ils sont retenus dans des orbites curvilignes.

*Proposition VI :*

Tous les corps gravitent vers chaque planète et, sur la même planète, (...) leurs forces de gravité, à égale distance du centre, sont proportionnelles à la masse que chacun d'eux contient.

*Extraits de l'ouvrage de Newton « Les principes mathématiques de la philosophie naturelle », d'après la traduction de Mme de Chastelet (1756-1759).*

## &gt; QUESTIONS

On considère que tous les satellites et planètes sont des corps dont la répartition de la masse est à symétrie sphérique. Les mouvements sont étudiés dans le référentiel « jupitérocentrique » (d'origine le centre de Jupiter et d'axes dirigés vers trois étoiles fixes).

On note  $M$  la masse de Jupiter et  $G$  la constante de gravitation universelle.

1. On étudie le champ de gravitation de Jupiter.

a. Donner l'expression vectorielle de la force d'interaction gravitationnelle exercée par Jupiter sur un de ses satellites de masse  $m$  et situé à la distance  $r$  du centre  $O$  de Jupiter. Faire un schéma explicatif. **[0,5 pt]**

b. Donner, dans les propositions ci-avant extraites du livre I, les citations en accord avec cette expression vectorielle. **[0,5 pt]**

c. Donner l'expression vectorielle du champ de gravitation  $\vec{g}$  créé par Jupiter, à la distance  $r$  de son centre. **[0,25 pt]**

d. Représenter quelques lignes du champ de gravitation de Jupiter. **[0,25 pt]**

e. Pourquoi est-il important de préciser que la répartition de la masse des corps est à symétrie sphérique ? **[0,25 pt]**

2. On considère que Ganymède, un satellite de Jupiter, satellite de masse  $m$ , est soumis à la seule force de gravitation due à Jupiter et que son mouvement est circulaire de centre O (centre de Jupiter) et de rayon  $r$ .

a. Montrer que le mouvement du satellite est uniforme. **[1 pt]**

b. Établir l'expression de la vitesse  $v$  de Ganymède en fonction de  $G$ ,  $M$  et  $r$  ; en déduire l'expression de la période  $T$  de révolution. **[0,75 pt]**

c. Parmi les plus gros satellites du Jupiter, Europe gravite à raison de 14 km par seconde alors que Ganymède met 1 minute pour parcourir 660 km. Quel est le satellite le plus éloigné de Jupiter ? Justifier. **[0,5 pt]**

3. On considère que Ganymède se déplace sur son orbite de A en C en 1 seconde (voir figure 1) et que le rayon  $r$  de cette orbite est de l'ordre d'un million de kilomètres.

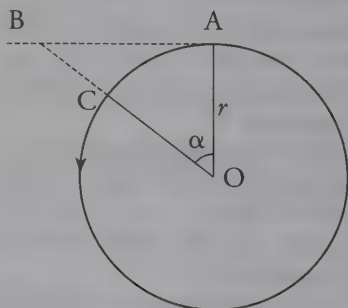


Figure 1 (non à l'échelle)

a. D'après les extraits cités, que représente la droite AB (fig. 1) ? **[0,25 pt]**

b. Si  $\alpha$  (en radian) est très petit, BC est égal à  $\frac{1}{2} r \alpha^2$ . En déduire que BC est aussi égal à  $\frac{1}{2} \frac{\widehat{AC}^2}{r}$ , où  $\widehat{AC}$  représente l'arc de cercle entre A et C.

Vérifier que la distance BC vaut environ 6 cm. **[0,5 pt]**

c. Supposons qu'on laisse tomber une pierre de l'altitude de Ganymède en direction de Jupiter. On admet que la hauteur de chute, pendant la première seconde, se calcule par l'expression  $\frac{1}{2} g t^2$ ,  $g$  représentant la valeur du champ de gravitation à cette altitude, soit  $g = 0,12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ . Calculer la hauteur de chute durant la première seconde. **[0,25 pt]**

d. Compte tenu des résultats des questions b. et c. et des propositions de Newton, que représente BC pour Ganymède ? **[0,5 pt]**

Polynésie, juin 2000 / 5 points

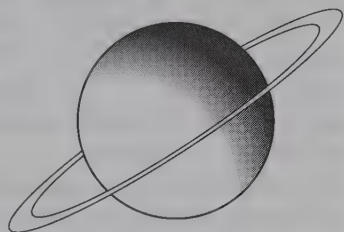
41

## SATURNE, SES SATELLITES, SES ANNEAUX

- Masse d'une planète
- Troisième loi de Kepler
- Sphère de Roche

## Calculatrice autorisée

La planète Saturne est entourée de nombreux satellites et d'anneaux. Voici quelques données relatives à cette planète, à ses anneaux et à ses principaux satellites.



Données :

Distance Soleil Saturne :  $D_{SS} = 1,425 \times 10^9$  km.Rayon de Saturne :  $R_S = 60 \times 10^3$  km.

| Satellites | Durée de révolution | Rayon de l'orbite (milliers de km) |
|------------|---------------------|------------------------------------|
| JANUS      | 17 h 58 min         | 159                                |
| MIMAS      | 22 h 37 min         | 185,8                              |
| ENCELADE   | 1 j 8 h 53 min      | 238,3                              |
| TÉTHIS     | 1 j 21 h 18 min     | 294,9                              |
| DIONE      | 2 j 17 h 41 min     | 377,9                              |

Les anneaux sont formés de divers éléments (cailloux, poussières et blocs de glace) non regroupés entre eux et tournant autour de Saturne.

Rayon intérieur du premier anneau : 74 milliers de kilomètres.

Rayon extérieur du dernier anneau : 136 milliers de kilomètres.

La constante de gravitation universelle sera notée  $G$  avec :

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ u.S.I.}$$

Dans la partie A, on considérera que les astres sont ponctuels et que les trajectoires sont circulaires.

## I – Masse de Saturne

1. Pour étudier le mouvement des satellites de Saturne, il convient de se placer dans un référentiel particulier que l'on peut appeler « saturnocentrique » par analogie à « géocentrique ».

Comment définir le référentiel « saturnocentrique » ? [0,25 pt]

2. À partir du bilan de forces exercées sur un satellite par Saturne (on néglige l'action des autres astres), démontrer la relation  $v^2 = \frac{G \cdot M_S}{r}$  qui lie la vitesse  $v$  du satellite, le rayon  $r$  de son orbite, la masse de Saturne  $M_S$  et la constante de gravitation universelle  $G$ . [0,75 pt]

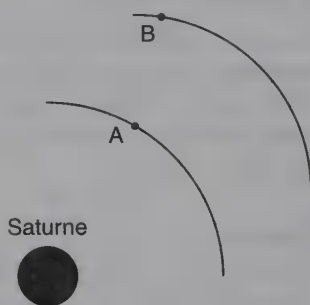
3. La 3<sup>e</sup> loi de Kepler peut s'énoncer ainsi : le carré de la période de révolution d'un satellite d'un astre est proportionnel au cube du rayon de sa trajectoire circulaire, soit :  $T^2 = k \cdot r^3$ .

Déterminer à partir du résultat de la 2<sup>e</sup> question, l'expression de la constante de proportionnalité  $k$  en fonction de  $M_S$  et  $G$ . [0,75 pt]

4. En utilisant les données relatives à l'un des satellites, déduire la masse de Saturne. [0,5 pt]

5. On néglige l'action des éléments les uns sur les autres devant l'action de l'astre sur chacun des éléments. A et B étant deux éléments de deux anneaux différents initialement alignés avec Saturne, cet alignement sera-t-il conservé ?

On justifiera la réponse. [0,75 pt]



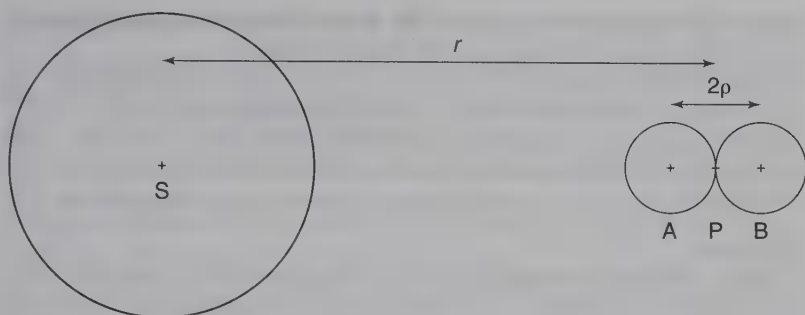
## II – Sphère de Roche

Il existe une distance  $R_0$ , appelée rayon de la sphère de Roche qui marque la limite entre une zone où des satellites peuvent se former par assemblage de poussière, cailloux... qui s'étaient formés en même temps que l'astre et une zone où cet assemblage est rendu impossible par l'action de l'astre. Il s'agit dans la partie suivante de déterminer les raisons de l'existence de cette limite qui explique en partie l'existence des anneaux de Saturne.

1. On considère donc deux sphères homogènes identiques en contact de masse  $m$  et de rayon  $\rho$  telles que la distance de leurs centres A et B soit  $AB = 2\rho$ . Le centre de gravité P de l'ensemble des deux sphères tourne à une distance  $r$  du centre S de Saturne. Les points S, A, P et B sont alignés (voir figure ci-après).

Exprimer en fonction des paramètres utiles choisis parmi  $m$ ,  $M_S$ ,  $G$ ,  $\rho$ ,  $R_S$ ,  $r$  la valeur de la force d'attraction  $F_{AB}$  qui s'exerce entre les sphères de centres A et B. [0,5 pt]





2. Les deux sphères sont attirées par Saturne par deux forces  $\vec{F}_{S/A}$  et  $\vec{F}_{S/B}$ . On montre que la valeur de la différence de ces forces est  $F_{S/A} - F_{S/B} = 4 \cdot \frac{G \cdot M_S \cdot m \cdot \rho}{r^3}$  et que cette différence d'attraction a tendance à séparer les deux sphères.

Pourquoi les deux sphères ne sont-elles pas attirées de la même façon par Saturne ? **[0,25 pt]**

3.  $R_0$ , le rayon de la sphère de Roche, est tel que pour  $r = R_0$ ,  $F_{AB} = F_{S/A} - F_{S/B}$ . L'espace où les deux éléments A et B peuvent se regrouper pour donner naissance à un élément plus gros est-il défini par  $r < R_0$  ou par  $r > R_0$  ? Justifier la réponse. Les données fournies au début du texte sont-elles en accord avec l'existence de la sphère de Roche ? **[1,25 pt]**

Polynésie, juin 2002 / 6 points

42

## ELASTIC BUNGEE OU LE SAUT À L'ÉLASTIQUE

- Chute libre
- Théorème de l'énergie cinétique
- Oscillations mécaniques

Calculatrice autorisée

### > DOCUMENT

Très loin dans le temps, on trouve des traces de jeux de lianes, réservés à quelques initiés. Il s'agissait alors d'une épreuve pour acquérir le statut de

guerrier. Plus récemment, c'est dans les années 30 à Londres, que l'on mentionne des sauts à l'élastique à partir de petits ponts.

C'est en 1987 en Nouvelle Zélande et en France (Pont de la Caille 147 m) que se situe la véritable naissance du saut à l'élastique ou « bungee ».

En 1988, une société prend l'initiative de faire découvrir le « bungee » aux citoyens français en amenant ce sport en ville grâce à des grues géantes.

Aujourd'hui, on saute d'un hélicoptère ou même d'une montgolfière.

### Le bungee

C'est un élastique composé de 960 fils de latex naturel, provenant de la sève d'hévéa, d'une section de  $10 \text{ cm}^2$ . Il mesure en général une dizaine de mètres.

### Déroulement de la séance de saut

**1<sup>re</sup> phase** : avant tout, la personne est attachée par un baudrier intégral fixé à l'élastique (lui-même fixé à la grue). Elle est ensuite hissée en haut de la grue à l'aide d'une nacelle qui joue le rôle d'un ascenseur. La nacelle s'élève jusqu'au point A d'altitude  $Y_A = 60 \text{ m}$  au-dessus du sol.

**2<sup>e</sup> phase** : en position A, la porte de la nacelle est ouverte, il est demandé à la personne de sauter avec une faible vitesse initiale  $\vec{V}_0$  supposée de direction horizontale. Dans cette phase de saut, la personne est en chute libre jusqu'au point B' d'altitude  $Y_{B'} = 50 \text{ m}$  (ce qui signifie que l'élastique n'a aucune action sur la personne).

**3<sup>e</sup> phase** : après que le sauteur ait passé le point B', l'élastique commence alors à s'étirer : le sauteur effectue quelques oscillations avant de s'immobiliser et d'être ramené au sol.

*Donnée* : accélération de la pesanteur  $g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

## > QUESTIONS

On étudiera les différents systèmes dans le référentiel terrestre supposé galiléen muni d'un repère (O, X, Y). (Voir schéma en fin d'exercice)

### I – Questions relatives à la première phase du saut

Un sauteur de masse  $m = 70 \text{ kg}$  est immobile dans la nacelle de masse  $M = 200 \text{ kg}$  et l'ensemble a pour centre d'inertie G.

1. Faire le bilan des forces extérieures qui agissent sur le système « nacelle + sauteur » lors de sa montée. **[0,5 pt]**

2. La nacelle démarre avec une accélération verticale  $\vec{a}_1$  de valeur  $1,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  puis s'élève ensuite à vitesse constante et ralentit avec une décélération verticale  $\vec{a}_2$  de valeur  $1,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

Calculer la tension du câble qui maintient la nacelle contenant le sauteur dans chacun des trois cas. **[0,75 pt]**

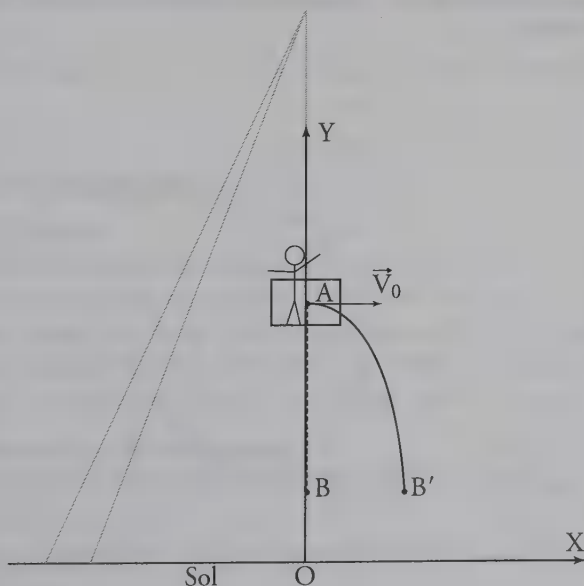
## II – Questions relatives à la deuxième phase du saut

1. Faire le bilan de la (ou des) force(s) qui s'exerce(nt) sur le sauteur durant cette phase du saut. On négligera les frottements de l'air. **[0,5 pt]**
2. En utilisant le théorème du centre d'inertie, établir les équations horaires du mouvement du sauteur et l'équation de sa trajectoire en fonction de  $g$ ,  $V_0$  et  $Y_A$ . **[1,5 pt]**
3. Calculer la valeur de la vitesse en  $B'$  en utilisant le théorème de l'énergie cinétique. On prendra  $V_0 = 0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . **[0,5 pt]**
4. Soit  $B$  le point d'abscisse  $X_B = 0$  et d'ordonnée  $Y_B = 50 \text{ m}$ . Calculer la distance  $BB'$  et montrer en comparant  $AB$  et  $BB'$  que l'on peut considérer la chute comme quasi verticale. **[1 pt]**

## III – Questions relatives à la troisième phase du saut

L'élastique, que l'on assimilera à un ressort de constante de raideur  $k$ , commence à s'étirer en  $B'$  et oscille dans une direction quasi verticale pendant environ 34 s, durée pendant laquelle le sauteur a effectué 4 allers retours avant de s'immobiliser.

1. Comment qualifie-t-on de telles oscillations ? **[0,25 pt]**
2. Estimer la constante de raideur  $k$  de l'élastique en assimilant la pseudo-période du sauteur à la période propre  $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$  d'un pendule élastique. (La valeur de  $T_0$  est approximative car on néglige la masse du bungee). **[1 pt]**



43

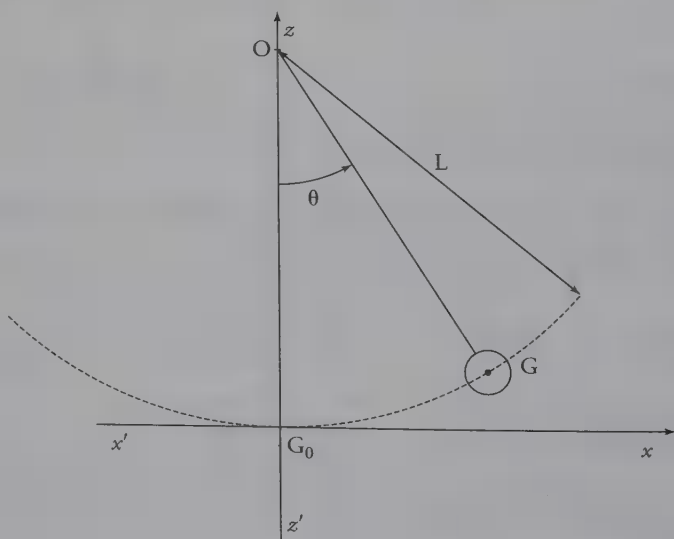
## PENDULE SIMPLE ET ÉNERGIE

- Vecteurs vitesses instantanées
- Énergie potentielle
- Énergie cinétique
- Énergie mécanique
- Oscillations mécaniques
- Forces de frottement

**Calculatrice autorisée**

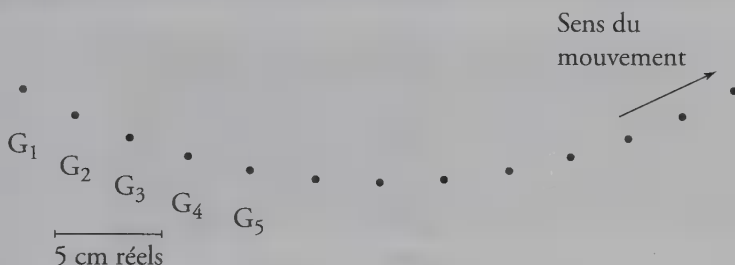
Le mouvement d'un pendule a été enregistré à l'aide d'une table à digitaliser reliée à un ordinateur et disposée verticalement.

Ce pendule est constitué du mobile à coussin d'air de masse  $m$ , adapté à la table, suspendu à l'extrémité d'un fil inextensible et de masse négligeable devant celle du mobile. L'autre extrémité du fil est accrochée en un point fixe  $O$ . On pourra assimiler ce pendule à un pendule simple de longueur  $L$ . Le plan vertical du mouvement du pendule est rapporté à un axe horizontal  $x'x$  et à un axe vertical  $z'z$ , d'origine  $G_0$ , orientés comme l'indique la figure ci-dessous.



Données :  $L = 41 \text{ cm}$  ;  $m = 236 \text{ g}$  et  $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

À l'aide d'un logiciel adapté, on enregistre les différentes positions du centre d'inertie  $G$  du mobile. On obtient la succession de points représentée sur le document ci-après :



## I – Étude du mouvement

L'intervalle de temps entre 2 points consécutifs est  $\tau = 30 \text{ ms}$ .

1. Déterminer, dans le système d'axes, les valeurs  $V_3$  et  $V_5$  des vecteurs vitesse instantanée du centre d'inertie du mobile aux points  $G_3$  et  $G_5$ .

Représenter ces vecteurs à l'échelle :  $1 \text{ cm} \rightarrow 0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . [0,75 pt]

2. Construire, avec l'origine au point  $G_4$ , le vecteur  $\Delta \vec{V}_4 = \vec{V}_5 - \vec{V}_3$  et déterminer, à l'aide de l'échelle précédente la valeur  $\Delta V_4$  du vecteur  $\Delta \vec{V}_4$ . [0,75 pt]

3. Calculer la valeur  $a_4$  du vecteur accélération du centre d'inertie au point  $G_4$ . [0,5 pt]

## II – Étude énergétique

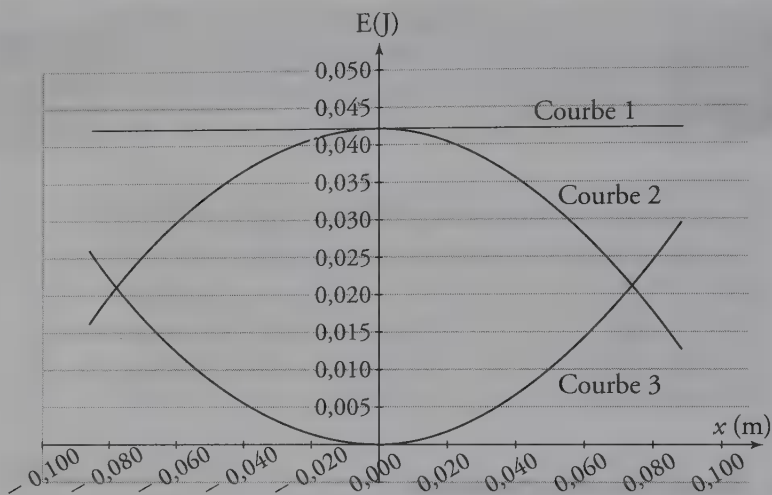
### 1. Étude théorique

Rappeler l'expression, en explicitant chaque terme :

- a. de l'énergie cinétique du pendule simple ainsi constitué, [0,25 pt]
- b. de l'énergie potentielle du pendule en fonction de  $z$ . Le niveau de référence des énergies potentielles est choisi à la position d'équilibre. [0,25 pt]
- c. Donner l'expression de l'énergie mécanique totale du pendule. [0,25 pt]

### 2. Exploitation des courbes d'énergie

- a. En justifiant votre choix, attribuer l'énergie correspondant à chaque type de courbe ci-après. [0,75 pt]
- b. Expliquer brièvement ce qui se passe du point de vue énergétique lors des oscillations. [0,5 pt]



### 3. Étude des oscillations

Faire l'analyse dimensionnelle des quatre formules suivantes. En déduire l'expression de la période propre des petites oscillations d'un pendule simple.

$$T_0 = 2\pi \frac{mg}{L} ; \quad T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{g}{L}} ; \quad T_0 = 2\pi \frac{L}{g} ; \quad T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} . \quad [1,25 \text{ pt}]$$

4. Dans la réalité, au cours du temps, on constate que les oscillations sont légèrement amorties.

a. Quelle est l'origine de cet amortissement ?

[0,25 pt]

b. Que devient l'énergie perdue ?

[0,25 pt]

Liban, juin 2003 / 9 points

44

## ÉVOLUTION TEMPORELLE DE DEUX OSCILLATEURS

- Oscillateur mécanique horizontal
- Pseudo-période
- Analyse dimensionnelle
- Oscillations électriques
- Capteur d'humidité

Calculatrice autorisée

## I – Oscillateur mécanique

Une table à digitaliser est un dispositif permettant d'enregistrer les positions d'un système mécanique en fonction du temps.

Un solide  $S$ , de masse  $m = 100 \text{ g}$ , relié à une soufflerie réglable est accroché à deux ressorts identiques à spires non jointives. On enregistre la position de son centre d'inertie  $G$  au cours du temps à l'aide de l'ordinateur connecté à une table à digitaliser horizontale. (voir schéma 1)

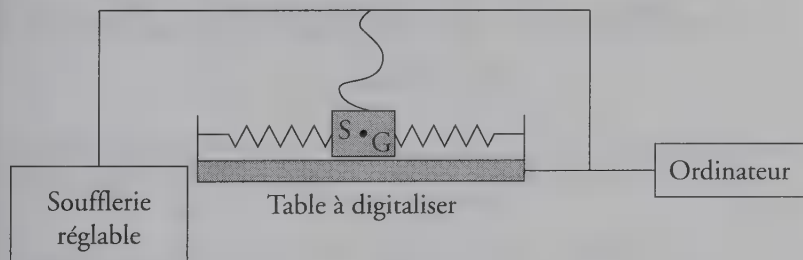


Schéma 1

L'oscillateur décrit ci-dessus est équivalent à un solide de masse  $m$  accroché à un seul ressort à spires non jointives de constante de raideur  $k$ . La position du centre d'inertie  $G$  du solide est repérée par son abscisse  $x$  dans le repère  $(O ; \vec{i})$  (voir le schéma 2 ci-après, à rendre avec la copie)

À l'équilibre, le centre d'inertie  $G$  coïncide avec l'origine  $O$  du repère.



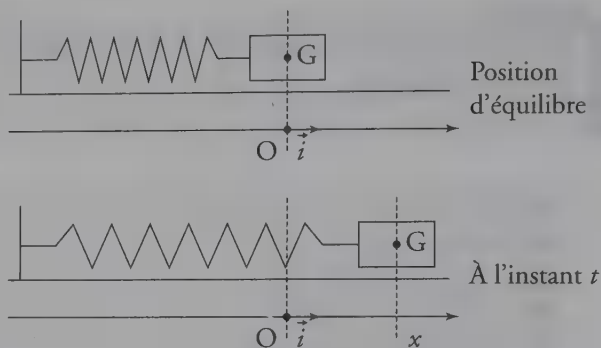
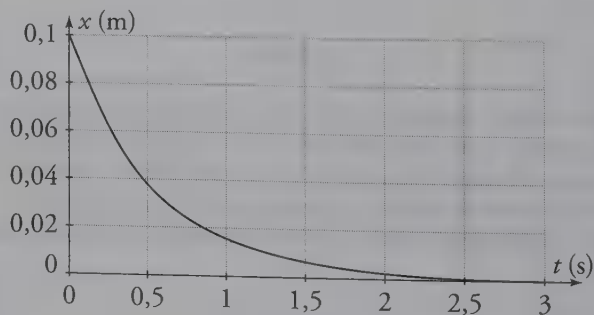
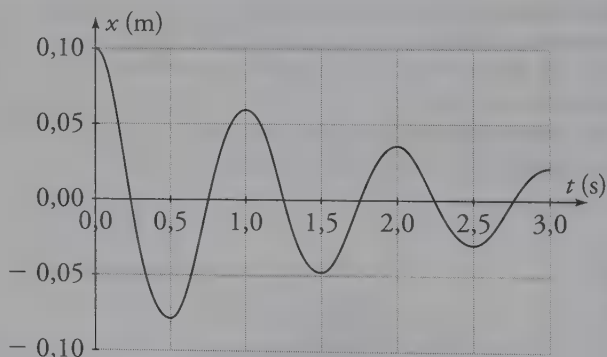


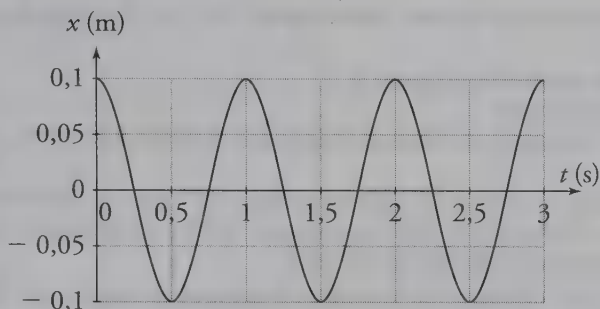
Schéma 2

On réalise trois enregistrements dans les conditions suivantes :

- Soufflerie à puissance maximale ;
- Puissance de la soufflerie légèrement diminuée ;
- Puissance de la soufflerie fortement diminuée.

On obtient les enregistrements 1, 2 et 3 ci-dessous :





Enregistrement 3

1. Indiquer pour chacun des trois enregistrements :

– la condition (a, b ou c) de fonctionnement de la soufflerie ;

– le régime d'évolution (périodique, pseudo-périodique ou apériodique).

Dans toute la suite on se place dans le cas où les frottements sont négligeables.

[0,75 pt]

2. a. Sur le schéma 2 ci-avant (à rendre avec la copie), représenter au centre de gravité G les forces s'exerçant à l'instant  $t$  sur le solide S, et les nommer.

[0,5 pt]

b. En appliquant la deuxième loi de Newton, montrer que l'équation différentielle du centre d'inertie G du solide S est :

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + k \cdot x = 0. \quad [0,5 \text{ pt}]$$

c. La solution analytique de l'équation différentielle est de la forme :

$$x = X_M \cos \left( \frac{2\pi t}{T_0} + \Phi_0 \right).$$

Comment nomme-t-on les constantes  $X_M$  et  $\Phi_0$  ? Déterminer leurs valeurs sachant que S est lâché à  $t = 0$  sans vitesse initiale au point d'abscisse  $x = 10,0 \text{ cm}$ .

[0,5 pt]

d. Déterminer la période propre  $T_0$  de l'oscillateur en utilisant l'un des enregistrements précédents.

[0,5 pt]

e. À l'aide d'une analyse dimensionnelle, déterminer l'expression de la période propre  $T_0$  parmi celles proposées ci-dessous :

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} ; T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{k}{m}} ; T_0 = 2\pi \frac{m}{k}.$$

En déduire la valeur numérique de la constante de raideur  $k$  du ressort équivalent.

[0,5 pt]

3. On étudie maintenant les différentes formes d'énergie du solide dans le cas du régime périodique.

a. Exprimer pour le système {ressort solide S} à une date  $t$ , en fonction de  $k$ ,  $m$ ,  $x$  et  $v$  :

– l'énergie potentielle élastique  $E_p$ ,

– l'énergie cinétique  $E_c$ .

Donner l'expression de l'énergie mécanique  $E$  en fonction de  $E_p$  et  $E_c$ .

[0,75 pt]

b. Que peut-on dire de l'énergie mécanique au cours du mouvement ?

Exprimer et calculer l'énergie mécanique à  $t = 0$ . En déduire la vitesse de S au passage par sa position d'équilibre.

[1 pt]

b. Les figures données sur le schéma 3 ci-après (à rendre avec la copie) représentent les variations au cours du temps des différentes énergies  $E$ ,  $E_p$ ,  $E_c$ . Compléter le schéma en identifiant chacune des courbes. Justifier.

[0,75 pt]

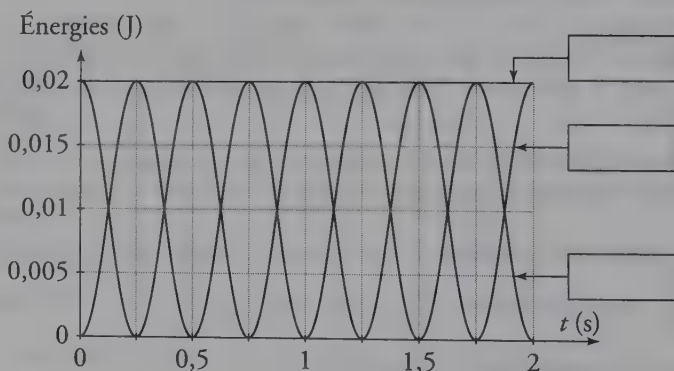


Schéma 3

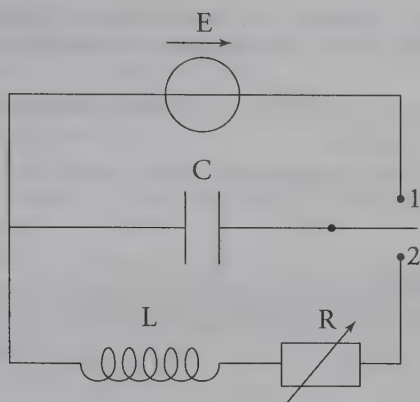
d. Dans le cas d'un régime pseudo-périodique, pourquoi l'énergie mécanique  $E$  diminue-t-elle au cours du temps ?

[0,25 pt]

## II – Application des oscillations électriques

Dans cette partie, on étudie une application des oscillations électriques dans le domaine de la météorologie. Pour mesurer le taux d'humidité relative de l'air (noté % d'HR), on peut employer un capteur appelé « humidistance » dont le principe simplifié utilise un condensateur de capacité variant avec l'humidité.

Pour mesurer la valeur de la capacité d'un condensateur, on peut le placer dans le circuit ci-dessous dans lequel la bobine d'inductance  $L$  a une résistance négligeable.



L'interrupteur est d'abord placé en position 1 pour charger le condensateur, puis basculé en position 2 pour le décharger. Un système informatisé d'acquisition de données permet de relever la tension aux bornes du condensateur au cours de la décharge.

1. Suivant la valeur de la résistance  $R$  non nulle, l'évolution du système ( $R, L, C$ ) se fait suivant deux régimes différents.

Tracer l'allure de la tension aux bornes du condensateur en fonction du temps pour ces deux régimes que l'on nommera. **[0,75 pt]**

2. On suppose maintenant que la résistance  $R$  est nulle ; reproduire la partie du circuit correspondant à la décharge. Établir l'équation différentielle régissant l'évolution temporelle de la charge  $q$  du condensateur. **[0,5 pt]**

3. Vérifier que l'expression :  $q = Q_M \cos\left(\frac{2\pi t}{T_0} + \Phi_0\right)$  est solution de l'équation différentielle, si la période propre  $T_0$  a pour expression

$$T_0 = 2\pi\sqrt{L \cdot C}. \quad \textbf{[0,5 pt]}$$

4. Le condensateur du capteur d'humidité est introduit dans le circuit précédent. Dans les conditions atmosphériques de l'expérience, la période mesurée vaut  $T = 31,4 \mu\text{s}$ . Sachant que l'inductance de la bobine est  $L = 200 \text{ mH}$ , calculer la capacité du condensateur. **[0,5 pt]**

5. On lit sur la notice de l'appareil :

« Caractéristiques du capteur d'humidité :

gamme de mesures : 10 à 100 % d'HR.

sensibilité : 0,4 pF par % d'HR.

capacité à 25 °C et à 43 % d'HR : 122 pF.

température d'utilisation : 0 à 85 °C. »

a. L'expression de la capacité  $C$  du capteur est une fonction affine croissante du taux d'HR notée  $h$  (exprimée en % d'HR). On peut donc écrire  $C = a \cdot h + b$ .

En vous aidant des caractéristiques du capteur, déterminer les valeurs des constantes  $a$  et  $b$  positives. [0,5 pt]

b. Dans les conditions expérimentales de la question 4., déterminer le % d'HR de l'atmosphère. [0,25 pt]

Nouvelle Calédonie, Décembre 2002 / 5 points

45

## OSCILLATEUR MÉCANIQUE

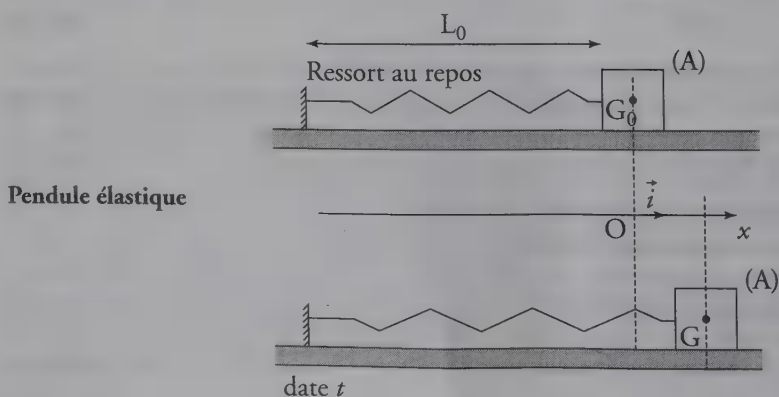
- Équation différentielle caractéristique
- Énergie potentielle
- Énergie mécanique
- Influence des forces de frottement

### Calculatrice NON autorisée

Dans cet exercice, les réponses attendues doivent être rédigées de façon succincte. À cet effet, il faut répondre exclusivement dans les **cadres de l'annexe** dont la taille est prévue pour contenir toute la réponse. **L'annexe est à rendre avec la copie.**

Le modèle d'oscillateur étudié est décrit ci-dessous, et les notations utilisées (noms des objets, des paramètres...) sont reprisés dans tout l'exercice.

### > DOCUMENT



Le ressort est à spires non jointives.

La constante de raideur du ressort est  $k$ .

La longueur du ressort non déformé est  $L_0$ .

La masse du ressort sera négligée.

La masse de l'objet (A) est  $m$ .

Le centre d'inertie de (A) est G.

La position de G quand le ressort n'est pas déformé est  $G_0$ , d'abscisse 0 sur l'axe  $Ox$  horizontal.

À un instant de date  $t$  quelconque, l'abscisse de G est  $x$ .

La force exercée par le ressort sur (A) est notée  $\vec{F}$ .

On étudie le mouvement de l'objet (A) dans un référentiel galiléen. Le contact entre l'objet (A) et le support est sans frottement sauf dans la question VI.

## > QUESTIONS

**I – Tracer sans souci d'échelle dans le cadre 1. :**

1. Les vecteurs représentant les forces exercées sur l'objet (A) dans le cas (a) du cadre 1 ; [0,25 pt]

2. Les vecteurs représentant les forces exercées sur l'objet (A) dans le cas (b) du cadre 1. [0,25 pt]

**II – Dans le cadre 2.,** donner l'expression vectorielle de la tension  $\vec{F}$  exercée par le ressort sur l'objet (A). [0,25 pt]

**III – Dans le cadre 3.,** en appliquant le théorème du centre d'inertie (deuxième loi de Newton) à l'objet (A), établir la relation existant entre l'accélération  $\frac{d^2x}{dt^2}$  et l'abscisse  $x$  de G. [0,5 pt]

**IV – Dans le cadre 4.,**  $T$  désignant la période des oscillations de (A), parmi les propositions ( $P_1$ ) et ( $P_2$ ) choisir la proposition exacte et justifier la réponse par une analyse dimensionnelle. [0,5 pt]

**V – Dans le cadre 5.3.,** la figure 1 donne la représentation graphique de l'abscisse  $x$  en fonction du temps, alors que la figure 2 donne les représentations des énergies potentielle et mécanique en fonction de l'abscisse  $x$ .

1. Dans le cadre 5.1., identifier les deux courbes qui apparaissent sur la figure 2 du cadre 5.3. en cochant ☐ les réponses correctes. [0,25 pt]

2. Dans le cadre 5.2., donner au moins une justification à la réponse précédente. [0,25 pt]

**3. Dans le cadre 5.3.,** placer sur la courbe (b) de la figure 2 les points  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ ,  $N_4$  et  $N_5$  correspondant aux points  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ ,  $M_4$  et  $M_5$  de la figure 1. **[0,5 pt]**

**4. Dans le cadre 5.3.,** construire sur la figure 2 l'allure de la courbe donnant l'énergie cinétique en fonction de l'abscisse  $x$ , en choisissant quelques points particuliers. **[0,5 pt]**

**5. Dans le cadre 5.4.,** donner au moins une justification à la réponse précédente. **[0,25 pt]**

**VI – Dans cette question, des forces de frottement interviennent.** L'équation différentielle régissant l'évolution de l'abscisse devient  $\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{h}{m} \frac{dx}{dt} + \frac{k}{m} x = 0$ . La figure 3 du cadre 6 donne la représentation graphique de l'abscisse  $x$  en fonction du temps, alors que la figure 4 donne les représentations des énergies potentielle et mécanique en fonction de l'abscisse  $x$ .

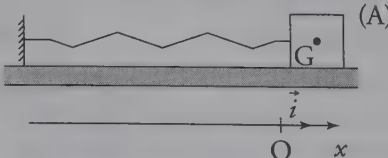
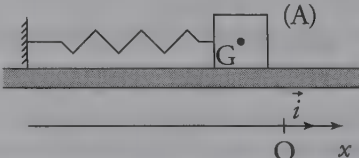
**1. Dans le cadre 6.1.,** identifier les deux courbes qui apparaissent sur la figure 4 du cadre 6.3. en cochant ☒ les réponses correctes. **[0,25 pt]**

**2. Dans le cadre 6.2.,** donner au moins une justification à la réponse précédente. **[0,25 pt]**

**3. Dans le cadre 6.3.,** construire sur la figure 4 l'allure de la courbe donnant l'énergie cinétique en fonction de l'abscisse  $x$  en utilisant les points  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ,  $P_4$  et  $P_5$  de la courbe (d). On pourra s'aider de la figure 3 donnée à titre indicatif. **[0,5 pt]**

**4. Dans le cadre 6.4.,** indiquer comment varient les valeurs extrémales de la vitesse. **[0,25 pt]**

### ANNEXE (à rendre avec la copie)

| Cadre 1                                                                                               | Représentation des vecteurs force                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Cas (a)</b><br> | <b>Cas (b)</b><br> |

| Cadre 2                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Expression vectorielle de la tension $\vec{F}$ exercée par le ressort sur l'objet (A) pour les cas 1 (a) et 1 (b) précédents : ..... |



## Cadre 3

Relation existant entre l'accélération  $\frac{d^2x}{dt^2}$  et l'abscisse  $x$  de G : .....

## Cadre 4

Proposition ( $P_1$ ) :  $T = 2\pi \sqrt{\frac{k}{m}}$

Proposition ( $P_2$ ) :  $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$

Proposition exacte : .....

Justification : .....

## Cadre 5

5.1.

la courbe (a)  
représente  $E_{\text{potentielle}}$  ☐

la courbe (a)  
représente  $E_{\text{mécanique}}$  ☐

la courbe (b)  
représente  $E_{\text{potentielle}}$  ☐

la courbe (b)  
représente  $E_{\text{mécanique}}$  ☐

5.2.

Justification :

5.3.

Figure 1

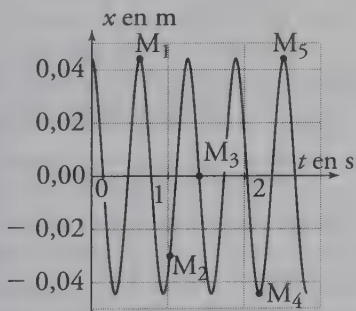
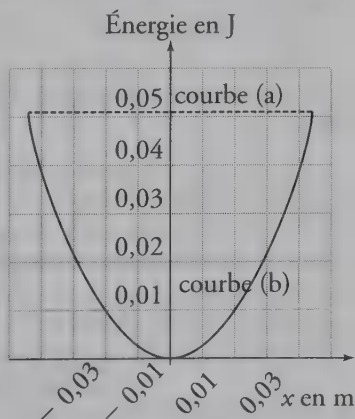


Figure 2



5.4. Justification : .....

## Cadre 6

6.1.

 la courbe (c)  
représente  $E_{\text{potentielle}}$  ☐

 la courbe (c)  
représente  $E_{\text{mécanique}}$  ☐

 la courbe (d)  
représente  $E_{\text{potentielle}}$  ☐

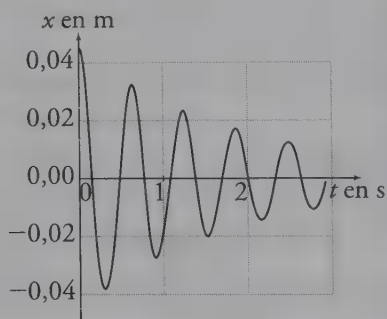
 la courbe (d)  
représente  $E_{\text{mécanique}}$  ☐

6.2.

Justification :

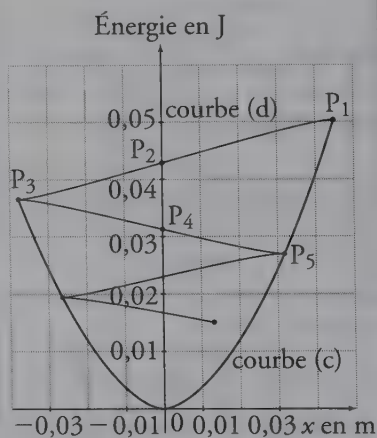
 .....  
 .....  
 .....

Figure 3 donnée à titre indicatif



6.3.

Figure 4



6.4. Valeurs extrémales de la vitesse : .....

La Réunion, juin 2003 / 5,5 points

46

## OSCILLATIONS LIBRES ET FORCÉES

- Raideur d'un ressort
- Pendule élastique vertical
- Oscillations mécaniques libres amorties
- Frottement fluide
- Résonance en amplitude

**Calculatrice NON autorisée**

Les valeurs numériques nécessaires à la résolution sont données à la fin de l'exercice.

Pour modéliser le ressort du système de suspension de voiture, un élève suggère d'utiliser un ressort de constante de raideur  $k$  (valeur indiquée par le fournisseur).

**I – Étude statique**

Dans un premier temps, cet élève se propose de vérifier la valeur de la constante de raideur du ressort.

Pour cela il mesure la longueur du ressort seul et trouve une longueur  $\ell_0$ . Il suspend ensuite une masse  $m$  au ressort, celui-ci a alors une longueur  $\ell$ .

1. À partir de la mesure observée, calculer la valeur  $k'$  de la raideur.

**[0,25 pt]**

2. Quelle est l'erreur relative commise par rapport à la valeur de  $k$  indiquée par le fournisseur.

**[0,25 pt]****II – Étude dynamique**

Cet élève utilise un système d'acquisition de données schématisé figure 1. Deux électrodes A et B, immobiles plongées dans la solution S, sont reliées aux bornes  $+5\text{ V}$  et  $-5\text{ V}$  d'un générateur de tension (voir schéma ci-après). Une tige métallique  $t$ , recouverte d'un isolant sur toute sa longueur, est fixée à la masse  $m$ . Son extrémité E, légèrement dénudée de son isolant, suit donc exactement le mouvement de la masse  $m$ .

La mesure de la tension entre le point E et la borne  $0\text{ V}$  du générateur permet de détecter la position de E (le dispositif de mesure n'est pas représenté sur le schéma). Ainsi, il est possible de connaître la position de la masse  $m$  au cours des oscillations.

R : ressort

m : masse

t : tige

S : solution conductrice

A : électrode

B : électrode

E : extrémité de la tige

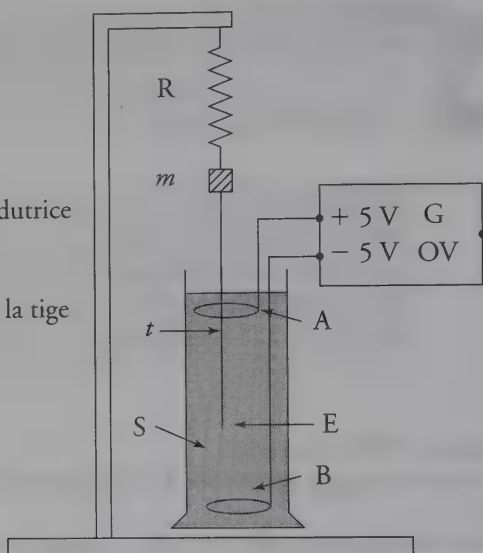


Figure 1

Après réglage des paramètres du logiciel d'acquisition, l'élève écarte la masse  $m$  vers le bas, de 1 cm, et il laisse le système osciller librement. Le déclenchement de l'acquisition se fait par le passage à la position d'équilibre. La courbe obtenue est donnée figure a ci-après (à rendre avec la copie) :

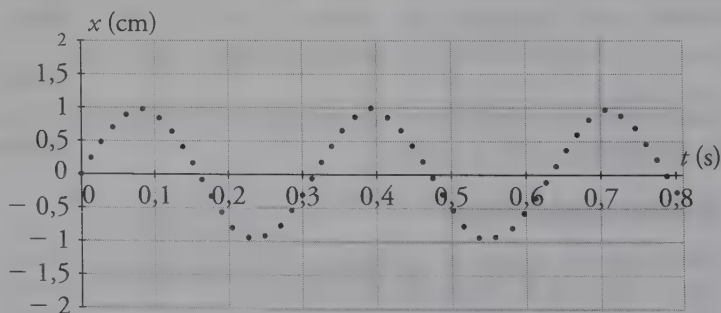


Figure a. Oscillations sans frottement

1. Indiquer comment mesurer la période d'oscillations de la masse  $m$  suspendue au ressort et donner la valeur de cette période. [0,5 pt]

2. Cette valeur est-elle en accord avec la valeur théorique  $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$  ? [0,25 pt]

3. Sachant que le Newton a la dimension  $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ , montrer que  $T$  s'exprime en secondes. [0,5 pt]

4. On remplace la solution conductrice par une solution  $S'$  plus visqueuse. Dessiner sur la figure b donnée ci-après (à rendre avec la copie) l'allure de la courbe obtenue après une nouvelle acquisition. [0,75 pt]

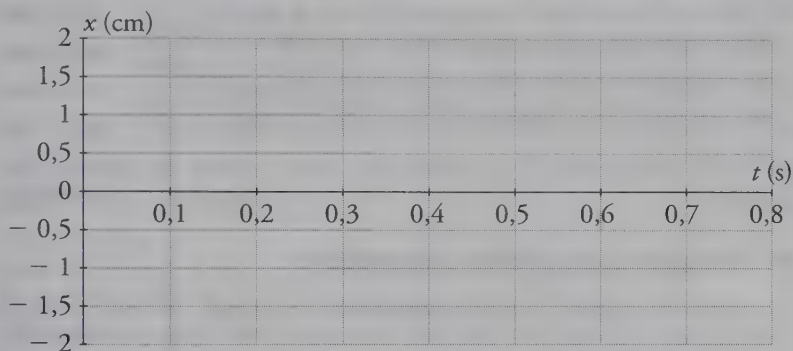


Figure b

### III – Étude des oscillations forcées

L'élève relie maintenant l'extrémité du ressort à un excentrique mu par un moteur (figure 2) et réalise plusieurs enregistrements pour différentes vitesses de rotation du moteur mesurées par la fréquence de rotation  $f$  en Hertz.

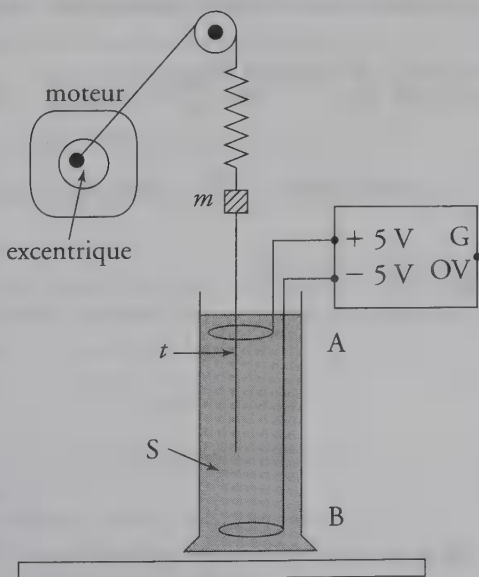


Figure 2

Il relève l'amplitude de chaque courbe enregistrée.

|                 |     |     |     |     |     |     |     |     |   |     |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|-----|
| $f$ (Hz)        | 1,5 | 2   | 2,5 | 2,8 | 3,1 | 3,2 | 3,3 | 3,6 | 4 | 4,5 |
| $x_{\max}$ (cm) | 0,4 | 0,6 | 1   | 1,5 | 2,1 | 2,3 | 2   | 1,5 | 1 | 0,7 |

1. Quel nom donne-t-on au moteur muni de l'excentrique ? **[0,25 pt]**
2. Quel nom donne-t-on au système (ressort + masse) ? **[0,25 pt]**
3. Quel phénomène obtient-on à  $f = 3,2$  Hz ? **[0,375 pt]**
4. En déduire la période des oscillations à la résonance. **[0,375 pt]**
5. Comparer cette période à celle des oscillations libres. **[0,25 pt]**
6. Quel(s) changement(s) observerait-on si on utilisait la solution visqueuse  $S'$ . **[0,5 pt]**

#### IV – Suspension d'une automobile

Le système de suspension d'une automobile comprend des ressorts et des amortisseurs. L'automobile est donc un système mécanique oscillant de fréquence propre  $f_0$ .

Certaines pistes du désert ont un aspect de « tôle ondulée » : elles comportent une succession régulière de bosses, distantes de  $L$  (quelques dizaines de centimètres).

Pour une vitesse  $V_R$ , le véhicule subit des oscillations de forte amplitude qui diminuent dangereusement sa tenue de route.

1. Expliquer ce phénomène, en précisant le rôle joué par la piste déformée. **[0,5 pt]**

2. Exprimer la vitesse  $V_R$  en fonction de  $f_0$  et  $L$ .

Calculer cette vitesse en  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$  avec  $f_0 = 5,0$  Hz et  $L = 80$  cm.

**[0,5 pt]**

Données :

$$k = 40 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1} ; \quad m = 100 \text{ g} ; \quad \ell_0 = 10,0 \text{ cm} ; \quad \ell = 12,4 \text{ cm} ; \\ g = 10 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}.$$

$$\frac{1}{2,4} = 0,42 ; \quad \frac{1}{3,2} = \frac{\pi}{10} ; \quad \pi = 3,14.$$

France Métropolitaine, septembre 1992 / 5 points

47

## DE LA MÉCANIQUE NEWTONNIENNE À LA MÉCANIQUE QUANTIQUE : ÉTUDE DE L'ATOME D'HYDROGÈNE

- Mouvement circulaire uniforme
- Énergie mécanique
- Niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène

### Calculatrice autorisée

Données : électron :

masse  $m = 9,109 \times 10^{-31}$  kg ; charge  $-e = -1,602 \times 10^{-19}$  C.

$k = 8,988 \times 10^9$  S.I.

L'électron n'est pas relativiste.

1. Rutherford a décrit l'atome d'hydrogène par un modèle planétaire : l'électron a un mouvement circulaire, de rayon  $r$ , autour du noyau constitué d'un proton. La force électrostatique subie par l'électron est dirigée selon la droite proton-électron, attractive, de valeur  $f = k \frac{e^2}{r^2}$ . La force gravitationnelle est négligeable devant cette force électrostatique.

a. Démontrer que le mouvement de l'électron est uniforme. [0,75 pt]

b. Établir l'expression de sa vitesse  $v$  en fonction de  $k$ ,  $e$ ,  $r$  et  $m$ . [0,5 pt]

c. Exprimer son énergie cinétique en fonction des mêmes paramètres.

[0,5 pt]

d. Exprimer son énergie mécanique  $E$  en fonction de  $k$ ,  $e$ ,  $r$ , sachant que

son énergie potentielle est  $E_p = -\frac{ke^2}{r}$ . Quelle est sa limite quand  $r$  tend

vers l'infini ?

[0,75 pt]

2. Différents faits expérimentaux ont conduit Niels Bohr à formuler l'hypothèse suivante : l'électron ne peut se déplacer que sur certains cercles dont les rayons  $r_n$  obéissent à la loi :

$$v_n \times r_n = n \times \frac{K}{m}$$

$K$  : constante universelle  $K = 1,054 \times 10^{-34}$  J · s

$n$  : nombre entier  $\geq 1$

$v_n$  : vitesse de l'électron sur le cercle de rayon  $r_n$ .

a. Déterminer l'expression de  $r_n$  en fonction des constantes  $k$ ,  $K$ ,  $m$  et de  $n$ .

Exprimer  $r_n$  en fonction de  $r_1$ . Calculer  $r_1$ .

[1 pt]



b. Déterminer l'expression de  $E_n$ , énergie mécanique de l'électron sur le cercle de rayon  $r_n$ , en fonction des mêmes paramètres. Exprimer  $E_n$  en fonction de  $E_1$ . **[0,75 pt]**

c. Calculer  $E_1$  et  $E_2$  en électronvolts. Quelle cause peut faire passer l'énergie de l'électron de  $E_1$  à  $E_2$ ? **[0,75 pt]**

France Métropolitaine, juin 1990 / 4,5 points

**48**

## NIVEAUX D'ÉNERGIE ATOMIQUES

- Niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène
- Niveaux d'énergie de l'ion hélium  $\text{He}^+$
- Niveaux d'énergie de l'ion lithium  $\text{Li}^{2+}$

### Calculatrice autorisée

1. On rappelle que les énergies des niveaux de l'atome d'hydrogène sont données par la relation  $E_n = -\frac{E_0}{n^2}$  où  $E_0$  désigne l'énergie d'ionisation de cet atome et où  $n$  est un entier positif.

a. Expliquer brièvement comment on interprète l'existence de raies dans un spectre d'émission atomique. **[0,25 pt]**

b. Montrer que les longueurs d'onde  $\lambda$  des radiations émises par l'atome d'hydrogène obéissent à la loi :

$$\frac{1}{\lambda} = R_1 \left( \frac{1}{p^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

où  $m$  et  $p$  sont des entiers tels que  $m > p$  et où  $R_1$  est une constante, appelée constante de Rydberg de l'hydrogène.

On exprimera  $R_1$  en fonction de  $E_0$ , de la constante de Planck  $h$  et de la célérité de la lumière  $c$ , puis on calculera sa valeur en  $\text{m}^{-1}$ . **[1 pt]**

2. Le spectre de l'ion hélium  $\text{He}^+$  comporte, entre autres, les raies dont les inverses des longueurs d'onde valent respectivement :

$$3,292 \times 10^7 \text{ m}^{-1} ; 3,901 \times 10^7 \text{ m}^{-1} ;$$

$$4,115 \times 10^7 \text{ m}^{-1} ; 4,213 \times 10^7 \text{ m}^{-1} .$$

a. Vérifier numériquement que ces valeurs sont compatibles avec une relation de la forme :

$$\frac{1}{\lambda} = R_2 \left( \frac{1}{p^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

où  $p = 1$  et  $m = 2, 3, 4, 5$  et où  $R_2$ , si on l'exprime avec trois chiffres significatifs, est une constante.

On donnera, en  $\text{m}^{-1}$ , la valeur de  $R_2$ , constante de Rydberg de l'ion  $\text{He}^+$ . Vérifier que  $R_2 = 4R_1$ . [2 pts]

b. L'ion lithium  $\text{Li}^{2+}$  peut émettre des raies dont les longueurs d'onde sont données par une loi du type précédent :

$$\frac{1}{\lambda} = R_3 \left( \frac{1}{p^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

où  $R_3$ , constante de Rydberg de l'ion  $\text{Li}^{2+}$ , vaut  $9,86 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ . Comparer  $R_3$  à  $R_1$ .

Sachant que les numéros atomiques des éléments hydrogène, hélium et lithium sont respectivement  $Z = 1$ ,  $Z = 2$ ,  $Z = 3$ , en déduire une relation simple existant entre la constante de Rydberg  $R$  et le numéro atomique  $Z$  de l'élément correspondant, pour les trois cas précédemment étudiés. [1 pt]

c. Déterminer le point commun entre l'atome H et les ions  $\text{He}^+$  et  $\text{Li}^{2+}$  qui explique la ressemblance des spectres. [0,25 pt]

Données :  $E_0 = 13,6 \text{ eV}$  ;  $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$  ;

$h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$  ;  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

# Enseignement de Spécialité

## PRODUIRE DES IMAGES – OBSERVER

France métropolitaine, septembre 2002 / 4 points

49

### UNE CARTE PLEIN CADRE

- Lentille convergente
- Grandissement
- Obtention d'une image

#### Calculatrice NON autorisée

Un appareil photographique comporte deux éléments essentiels : l'objectif et la pellicule. On modélise :

- l'objectif par une lentille mince convergente (L) de centre optique O ; on appelle F et F' les foyers principaux, respectivement objet et image, de cette lentille, dont la distance focale est :  $\overline{OF'} = +50$  mm ;
- la pellicule par un écran (E), où se forme l'image réelle de l'objet photographié (figure 1).

L'objectif est conçu pour pouvoir déplacer la lentille (L) par rapport à la pellicule.

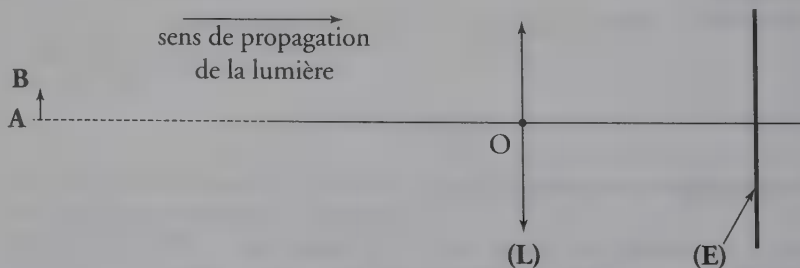


Figure 1

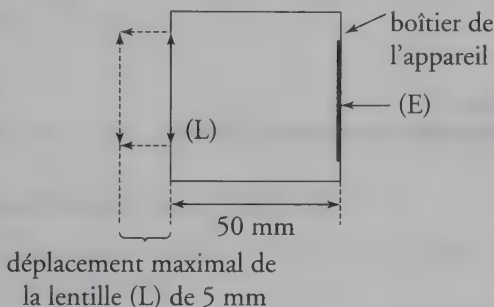
On rappelle les relations de conjugaison et de grandissement, avec A', point image d'un point A situé sur l'axe principal, et B', point image d'un point B situé dans un plan perpendiculaire à cet axe contenant A :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}} \quad \gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

**I –** On photographie un objet AB situé à une très grande distance de (L). En le considérant « à l'infini », et pour avoir une image nette, à quelle distance OA' de l'écran (E) se trouve la lentille (L) ? [0,25 pt]

**II –** Pour obtenir des images, sur l'écran (E), d'objets plus rapprochés de (L), il est nécessaire d'effectuer une mise au point, c'est-à-dire de faire varier la distance lentille-écran (voir la figure 2).

**Figure 2**  
(figure non représentée à l'échelle)



**1.** Si l'objet AB à photographier se rapproche de (L), la distance entre la lentille et l'écran doit-elle augmenter ou diminuer ? Justifier à l'aide d'un schéma. [0,5 pt]

**2.** L'objectif permet d'augmenter de 5 mm au maximum la distance entre la lentille et la pellicule par rapport à sa position quand l'objet est « à l'infini ».

**a.** À quelle distance doit se trouver un objet pour que son image soit nette sur la pellicule quand la distance lentille-écran est maximale ? [0,75 pt]

**b.** Calculer le grandissement  $\gamma$  dans ces conditions. [0,25 pt]

**III –** On veut photographier une carte postale de format 10 cm  $\times$  15 cm .

**1.** En la plaçant à 55 cm de (L) dans un plan perpendiculaire à l'axe optique de la lentille (L), le grandissement vaut 0,1 en valeur absolue. Quelles seraient les dimensions de son image sur la pellicule de format 24 mm  $\times$  36 mm ? [0,5 pt]

**2.** On veut que les dimensions de l'image de la carte postale soient 24 mm  $\times$  36 mm .

**a.** Calculer la valeur absolue du grandissement  $\gamma$  souhaité. [0,25 pt]

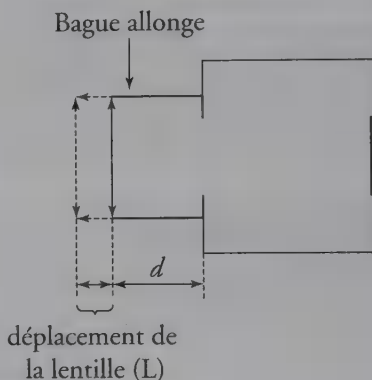
**b.** Pour simplifier les calculs numériques, prendre :  $\gamma = -\frac{1}{4}$  .

Calculer alors la distance OA à laquelle on doit placer la carte postale, ainsi que la distance OA' entre la lentille et l'écran. [0,75 pt]

c. On ne peut pas obtenir la distance  $OA'$  nécessaire trouvée au III – 2.a. avec le seul objectif de l'appareil photographique.

Il est toutefois possible d'adapter, entre l'objectif et le boîtier de l'appareil photographique, un ou plusieurs tubes creux appelés « bagues allonges » de longueur  $d$  (figure 3 ci-après).

Figure 3  
(figure non représentée à l'échelle)



Disposant de bagues allonges de longueurs 5 mm, 10 mm et 20 mm, indiquer :

- laquelle ou lesquelles choisir ;
- comment procéder pour que l'image de la carte postale soit nette sur la pellicule avec pour grandissement  $\gamma = -\frac{1}{4}$ .

[0,75 pt]

La Réunion, juin 2003 / 4 points

50

## MODÉLISATION D'UN MICROSCOPE SUR BARRE D'OPTIQUE

- Grandissement
- Utilité d'un diaphragme
- Construction graphique d'une image
- Grossissement du microscope

### Calculatrice NON autorisée

- Au cours d'une séance de travaux pratiques, un élève modélise un microscope à l'aide de deux lentilles convergentes qui sont décrites ci-dessous :

- Pour l'objectif : une lentille  $L_1$ , de centre optique  $O_1$ , de vergence  $C_1 = 10 \text{ } \delta$  et de diamètre 4 cm.
- Pour l'oculaire : Une lentille  $L_2$ , de centre optique  $O_2$ , de vergence  $C_2 = 5 \text{ } \delta$  et de diamètre 4 cm.
- Les centres optiques des deux lentilles sont distants de 50 cm.
- L'élève utilise comme objet AB un quadrillage millimétrique éclairé, perpendiculairement à l'axe optique. Le point A est considéré sur l'axe. La hauteur de l'objet AB est de 5 mm. Cet objet est placé devant l'objectif à 15 cm du centre optique  $O_1$ .

## I – Calcul préalable

Déterminer les distances focales des deux lentilles.

[0,25 pt]

## II – Étude de l'image donnée par l'objectif

À l'aide d'un écran, l'élève recherche la position de l'image intermédiaire  $A_1B_1$  de l'objet AB donnée par la lentille  $L_1$ .

1. Calculer, en utilisant la relation de conjugaison, la position de l'image intermédiaire  $A_1B_1$  formée sur l'écran.

[0,25 pt]

2. Calculer le grandissement de l'objectif.

En déduire la taille de l'image intermédiaire  $A_1B_1$ .

[0,5 pt]

## III – Étude de l'image donnée par l'oculaire

1. L'élève observe l'image définitive  $A'B'$  en regardant à travers l'oculaire, son œil n'accomode pas.

Que peut-on dire de la position de l'image définitive  $A'B'$  ainsi observée ? Quelle doit être la position particulière de l'image intermédiaire  $A_1B_1$  ?

[0,5 pt]

2. Expliquer pourquoi la qualité de l'image  $A'B'$  est améliorée lorsque l'élève ajoute un diaphragme de faible diamètre (15 mm) contre l'objectif.

[0,25 pt]

## IV – Construction de la marche de rayons lumineux à travers le microscope

1. Faire un schéma du dispositif à l'échelle 1/5 horizontalement et 1/1 verticalement sur une feuille de papier millimétré.

[0,5 pt]

2. Placer les foyers  $F_1$ ,  $F'_1$ ,  $F_2$ ,  $F'_2$  des lentilles  $L_1$  et  $L_2$  et également l'objet AB (représenté par une flèche de hauteur 5 mm).

[0,5 pt]

3. Construire l'image intermédiaire  $A_1B_1$  et l'image définitive  $A'B'$ .

[0,5 pt]

## V – Détermination du grossissement du microscope

Ce grossissement est donné par le rapport  $G = \theta' / \theta$  :

–  $\theta$  correspond au diamètre apparent de l'objet **AB**, c'est-à-dire l'angle sous lequel l'œil voit l'objet, sans microscope, à une distance  $d_m = 0,25 \text{ m}$ .

–  $\theta'$  est l'angle sous lequel l'œil, placé au foyer image  $F'_2$  de l'oculaire, voit l'image définitive **A'B'**.

*Remarque* : les angles utilisés étant petits, on pourra utiliser l'approximation suivante :  $\tan \theta \approx \theta$  ;  $\tan \theta' \approx \theta'$ .

1. Représenter  $\theta'$  sur le schéma.

[0,25 pt]

2. Calculer le grossissement  $G$ .

[0,5 pt]

Amérique du Nord, juin 2003 / 4 points

**51**

### MODÉLISATION DU PRINCIPE DU MICROSCOPE

- Construction graphique d'une image
- Grandissement
- Marche d'un rayon lumineux
- Grossissements

#### Calculatrice autorisée

Au cours d'une séance de travaux pratiques les élèves doivent modéliser un microscope en utilisant le banc d'optique.

Pour cela, ils disposent du matériel suivant :

- un banc d'optique ;
- un objet lumineux **AB** de hauteur  $0,5 \text{ cm}$  ;
- un écran ;
- une lentille mince convergente  $L_1$  de distance focale  $f'_1 = 5 \text{ cm}$  pour l'objectif ;
- une lentille mince convergente  $L_2$  de distance focale  $f'_2 = 20 \text{ cm}$  pour l'oculaire.

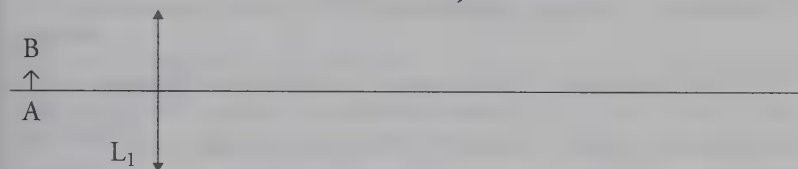


## I – Étude de l'objectif

La consigne reçue par les élèves est la suivante : « Placer l'objet lumineux à 6 cm devant la lentille  $L_1$  et observer l'image nette sur l'écran. Noter la position de l'image, sa taille et calculer le grandissement de l'objectif ».

1. Compléter le schéma 1 ci-après (échelle 1/2 suivant l'axe optique et échelle 1 suivant la perpendiculaire à l'axe optique) en plaçant les foyers de la lentille et en traçant l'image  $A_1B_1$  donnée par  $L_1$ . **[0,75 pt]**

Schéma 1. L'objectif



2. En utilisant la relation de conjugaison et celle du grandissement, calculer la position et la taille de l'image ainsi que le grandissement  $\gamma_1$  de l'objectif. **[0,5 pt]**

3. Après avoir réalisé l'expérience, un élève trouve une image  $A_1B_1$  de hauteur 2,7 cm et située à 31 cm derrière la lentille. Ces mesures sont-elles compatibles avec les valeurs calculées ? Commenter. **[0,5 pt]**

4. Un élève, n'ayant pas respecté la consigne, a placé l'objet à 4 cm devant la lentille. Pourquoi ne peut-il pas obtenir d'image sur un écran ? **[0,25 pt]**

## II – Étude de l'oculaire

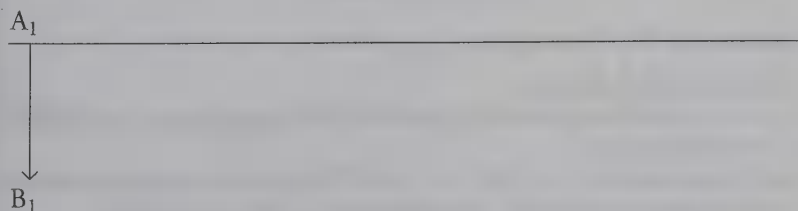
$A_1B_1$  joue maintenant le rôle d'objet pour l'oculaire.

La consigne reçue par les élèves est la suivante : « Enlever l'écran et placer la lentille  $L_2$  de telle façon que l'image  $A_2B_2$  donnée par  $L_2$  soit à l'infini ».

1. Où doit-on placer la lentille  $L_2$  pour que la consigne soit respectée ? Justifier. **[0,25 pt]**

2. Compléter le schéma 2 ci-après (échelle 1/2 suivant l'axe optique et l'échelle 1 suivant la perpendiculaire à l'axe optique) en plaçant la lentille  $L_2$ , ses foyers et en traçant la marche de deux rayons lumineux. **[0,75 pt]**

Schéma 2. L'oculaire



### III – Grossissement du microscope

Dans cette partie, on pourra utiliser l'approximation  $\tan \alpha \approx \alpha$  dans laquelle l'angle est exprimé en radians.

1. Calculer, en radians, la valeur de l'angle  $\alpha'$  sous lequel l'œil voit l'image  $A_2B_2$ , dans le cas où  $A_1B_1 = 2,5 \text{ cm}$ . [0,25 pt]
2. Calculer l'angle  $\alpha$  sous lequel l'objet est vu, à l'œil nu, à une distance  $d = 25 \text{ cm}$ . [0,25 pt]
3. En déduire la valeur du grossissement  $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$  dans ces conditions. [0,25 pt]
4. Pour un microscope, le grossissement commercial est donné par la relation  $G_c = C_2 \cdot |\gamma_1| \cdot d$ ,  $C_2$  étant la vergence de l'oculaire. Montrer que le grossissement  $G$  calculé à la question 3 correspond au grossissement commercial. [0,25 pt]

Nouvelle-Calédonie, décembre 2002 / 4 points

**52**

### QUELLE EST VOTRE OPTIQUE ?

- Tracé d'un rayon lumineux
- Position d'une image
- Grandissement
- Conditions de Gauss
- Lunette astronomique

#### Calculatrice NON autorisée

Choisir la réponse correcte.

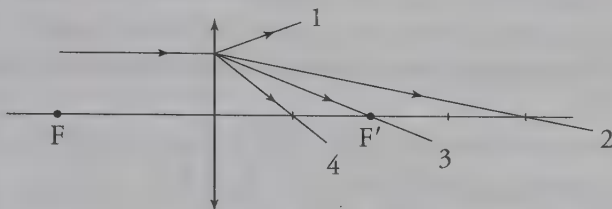
A priori, tous les cas peuvent se présenter (par exemple toutes les réponses peuvent être fausses).

Pour les questions 1., 2., 3., 4., 6., 7. et 8., les réponses considérées comme exactes doivent être justifiées, éventuellement à l'aide de schémas.

1. Une lentille mince convergente de distance focale  $f'$  a pour foyers principaux les points F et F'.

[0,5 pt]

Figure 1



Quel est le rayon émergent correspondant au rayon incident indiqué sur la figure 1 ci-dessus ?

- a. le rayon 1
- b. le rayon 2
- c. le rayon 3
- d. le rayon 4

2. Un vase de 10 cm de hauteur est placé à 1,50 m d'une lentille mince convergente de distance focale  $f' = 50$  cm. L'image du vase :

[0,5 pt]

- a. est droite et plus petite que le vase
- b. est inversée et de même taille que le vase
- c. est inversée et plus grande que le vase
- d. est droite et plus grande que le vase

3. Lorsqu'on rapproche un objet réel d'une lentille convergente de position fixe, l'image restant réelle :

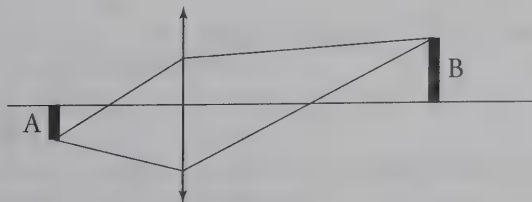
[0,5 pt]

- a. l'image se rapproche de la lentille
- b. l'image s'éloigne de la lentille
- c. la taille de l'image diminue
- d. la taille de l'image augmente

4. La figure ci-dessous représente la formation de l'image d'un objet par une lentille mince convergente.

[0,75 pt]

Figure 2



Dans le cas de la figure 2 :

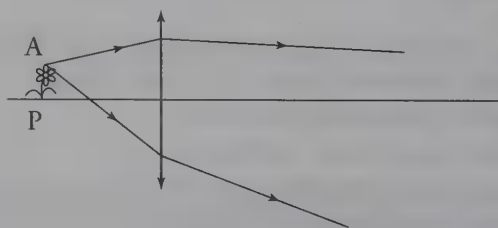
- a. A est obligatoirement l'objet, B est l'image.
- b. A peut être soit l'objet soit l'image.
- c. le foyer principal image est du côté de B si B est l'image.
- d. le foyer principal objet est du côté de A si la lumière se propage vers la droite.

5. Lorsqu'une lentille est utilisée dans les conditions de Gauss : **[0,25 pt]**

- a. des rayons lumineux passent par le bord de la lentille.
- b. elle est toujours utilisée sans diaphragme.
- c. tous les rayons incidents sont peu inclinés sur l'axe optique.
- d. l'image est plus nette que si les conditions de Gauss ne sont pas remplies.

6. La figure 3 ci-dessous représente la marche, à travers une lentille mince convergente, d'un faisceau lumineux issu d'un point A d'une fleur. **[0,5 pt]**

Figure 3



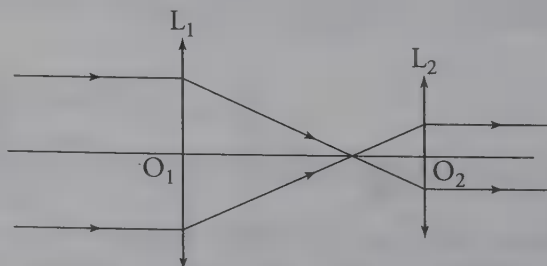
- a. le point P est situé entre le foyer principal objet et la lentille.
- b. le point P est au foyer principal objet de la lentille.
- c. l'image de la fleur s'observe à travers la lentille.
- d. la lentille joue le rôle d'une loupe.

7. On simule une lunette astronomique en utilisant le dispositif suivant (la figure 4 n'est pas à l'échelle) :

**[0,5 pt]**

$O_1 O_2 = 60 \text{ cm}$  ; La lentille  $L_1$  a pour vergence  $2 \delta$ .

Figure 4



- a. le foyer principal objet de  $L_1$  coïncide avec le foyer principal image de  $L_2$ .
  - b. le foyer principal image de  $L_1$  coïncide avec le foyer principal objet de  $L_2$ .
  - c. la distance focale de  $L_1$  est de 50 mm.
  - d. la vergence de  $L_2$  est de 10 δ.
8. Une lentille convergente donne d'un objet réel de 8 cm de hauteur, une image réelle de 2 cm de hauteur. [0,5 pt]
- a. l'objet est 4 fois plus près de la lentille que l'image.
  - b. l'objet est 4 fois plus loin de la lentille que l'image.
  - c. la distance objet-lentille est égale à 5 fois la distance focale de la lentille.
  - d. la distance objet-lentille est égale à 4 fois la distance focale de la lentille.

Amérique du Sud, novembre 2001 / 4 points

53

## UTILISATION D'UNE LUNETTE D'APPROCHE

- Tracé d'une image
- Caractéristiques d'une image
- Grossissement
- Détermination de la taille d'un objet

Calculatrice autorisée

### > DISPOSITIF

Une lunette grossissante est constituée :

- d'un objectif, assimilable à une lentille convergente  $L_1$ , de centre  $O_1$  et de distance focale  $f_1 = 50$  cm ;
- d'un oculaire, assimilable à une lentille convergente  $L_2$ , de centre  $O_2$  et de distance focale  $f_2 = 8$  cm .

Ces deux lentilles ont le même axe optique principal et le foyer objet  $F_2$  de  $L_2$  est confondu avec le foyer image  $F'_1$  de  $L_1$ .

### > QUESTIONS

Dans cet exercice, tous les angles rencontrés sont suffisamment petits pour qu'on puisse considérer que :  $\tan \theta \approx \theta$  (rad).

*Rappel de la relation de conjugaison :*

Les conventions sont celles utilisées habituellement. O étant le centre de la lentille, l'axe principal optique Ox est orienté dans le sens de propagation de la lumière.

A étant un point de l'objet situé sur l'axe Ox, A' son image et F' le foyer image de la lentille, la formule de conjugaison des lentilles minces s'écrit :

$$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{OF'}$$

**1.** Représenter sur la figure 1, donnée page ci-après et réalisée à l'échelle 1/8 (0,5 cm sur la figure représente 4 cm en réalité) :

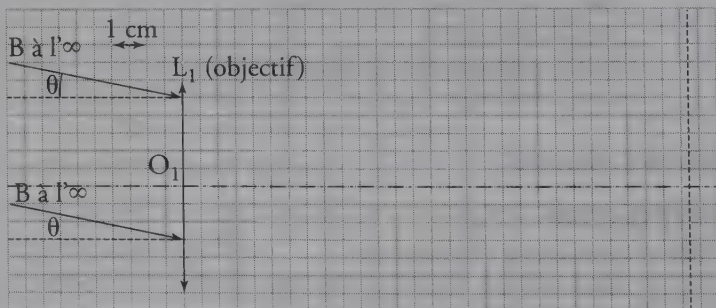
- le foyer image F'<sub>1</sub> de L<sub>1</sub> ;
- la lentille L<sub>2</sub> et ses deux foyers F<sub>2</sub> et F'<sub>2</sub>.

**[0,5 pt]**

**2.** On observe avec cette lunette un objet réel AB, situé à l'infini. AB est perpendiculaire à l'axe optique et A se trouve sur l'axe optique. Sur la figure 1, on a représenté deux rayons lumineux issus de B. Ils font un angle  $\theta$  avec l'axe optique.

**a.** Où l'image A<sub>1</sub>B<sub>1</sub> de AB, donnée par L<sub>1</sub> se forme-t-elle ? Justifier la réponse. Réaliser sur la figure 1 la construction correspondante. **[1 pt]**

**b.** Calculer la dimension de A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>. Pour l'application numérique, on prendra  $\theta = 0,012$  rad. (Cette valeur n'a pas été respectée sur la figure 1 pour davantage de clarté de la construction). **[0,5 pt]**



**Figure 1**

**3.** Pour l'oculaire L<sub>2</sub>, A<sub>1</sub>B<sub>1</sub> est un objet. Il en forme donc une image, notée A'B'.

**a.** Où cette image définitive A'B' de AB à travers toute la lunette se forme-t-elle ? Réaliser la construction correspondante sur la figure 1. **[0,5 pt]**

**b.** Indiquer le sens de cette image A'B'.

**[0,25 pt]**

4. On appelle grossissement  $G$  de la lunette, le rapport  $G = \frac{\theta'}{\theta}$  ; où  $\theta'$  représente l'angle sous lequel l'observateur voit l'image  $A'B'$  à travers la lunette.

a. Représenter  $\theta'$  sur la figure 1.

[0,25 pt]

b. Exprimer littéralement le grossissement  $G$  de cette lunette, en fonction de  $f_1$  et  $f_2$ , puis faire application numérique.

[0,5 pt]

5. On place maintenant dans le plan focal objet de l'oculaire  $L_2$  un micromètre, c'est-à-dire une plaque de verre sur laquelle sont gravées des graduations régulières, espacées de 0,1 mm les unes des autres.

Avec la lunette ainsi équipée, on observe la tour Eiffel, située à une distance  $d = 20$  km du lieu d'observation (elle pourra ainsi être considérée comme un objet à l'infini pour la lunette). Voir figure 2 ci-après.

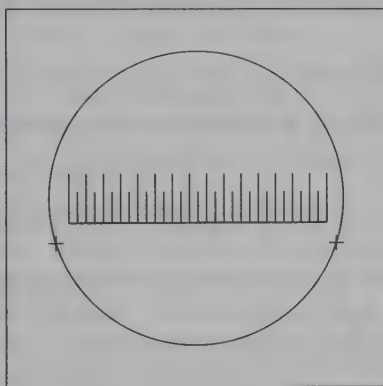
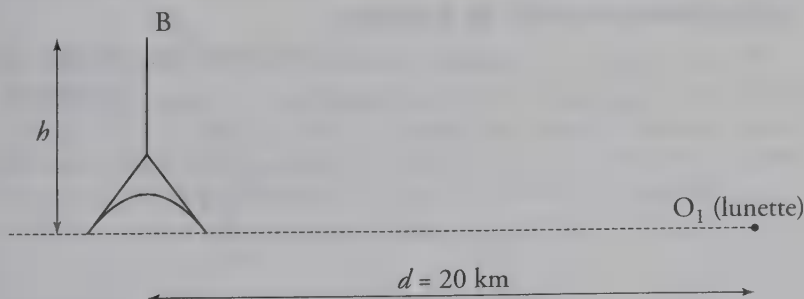


Figure 2



L'image de la tour vue dans la lunette couvre 79 graduations du micromètre : déterminer la hauteur  $h$  de la Tour Eiffel.

[0,5 pt]



**54****NOTICE D'UNE LUNETTE ASTRONOMIQUE**

- Construction graphique d'une image
- Grossissement
- Conditions de Gauss
- Luminosité

**Calculatrice NON autorisée**

Le but de cet exercice est d'étudier le fonctionnement d'une lunette astronomique et de vérifier certaines indications portées sur la notice descriptive.

*Données :*

Lunette astronomique

– Grossissements : 32 ; 51 ; 107 ; 64 ; 102 ; 214.

– Objectif : achromatique, de diamètre 80 mm, de focale 640 mm.

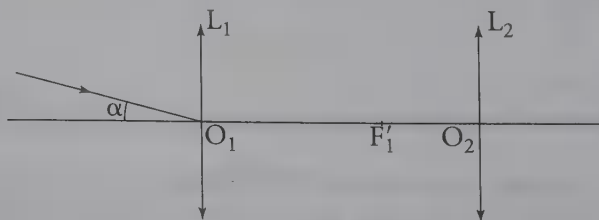
– Oculaires : trois oculaires interchangeables de focale : 20 mm ; 12,5 mm ; 6 mm.

– Lentille de Barlow (elle double le grossissement de la lunette pour chaque oculaire).

Une lunette astronomique est constituée de deux systèmes optiques convergents assimilés à deux lentilles minces. L'objectif (lentille  $L_1$  de centre optique  $O_1$ ) pointe dans la direction de l'astre, objet de l'observation. L'oculaire (lentille  $L_2$  de centre optique  $O_2$ ) est situé devant l'œil de l'observateur. Le foyer principal image  $F'_1$  de l'objectif est confondu avec le foyer principal objet  $F_2$  de l'oculaire.

**I – Modèle réduit de la lunette**

1. Placer sur la figure 1 ci-après, les foyers principaux des deux lentilles  $L_1$  et  $L_2$ .

**[0,125 pt]**

**Figure 1**

Le schéma n'est pas à l'échelle.

2. On observe à travers  $L_1$  un objet AB situé à l'infini, le point A étant sur l'axe optique principal.

Sur le schéma figure un rayon issu de B.

a. Où se trouve l'image  $A_1B_1$  de AB donnée par la lentille  $L_1$  ? [0,125 pt]

b. Construire  $A_1B_1$ . [0,25 pt]

c. Donner deux caractéristiques de cette image. [0,25 pt]

d. Indiquer de manière précise quelle position particulière  $A_1$  occupe par rapport à  $L_2$ . [0,25 pt]

e. Dédurre de la question précédente où se trouve  $A'B'$ , image de  $A_1B_1$  donnée par l'oculaire  $L_2$ . Justifier sans calcul. [0,25 pt]

f. Tracer deux rayons permettant de situer  $A'B'$ . [0,5 pt]

## II – Grossissement du modèle

On appelle  $\alpha$  l'angle entre l'axe optique et un rayon issu de B (B situé à l'infini) comme indiqué sur la figure 1 ci-avant.

On appelle  $\alpha'$  l'angle entre l'axe optique et le faisceau lumineux sortant de  $L_2$  venant de  $B_1$ . Le grossissement d'une lunette est défini par  $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$ . On

considère que  $\alpha$  et  $\alpha'$  sont petits.

1. Rappeler les conditions de Gauss. [0,25 pt]

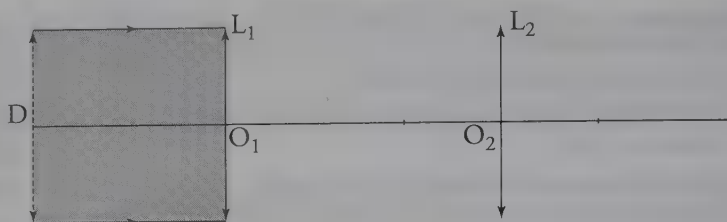
2. Dans ces conditions, établir l'expression du grossissement  $G$  en fonction de  $O_1F'_1$  et  $O_2F_2$  (on rappelle que  $\tan \theta \approx \theta$ , si  $\theta$  est un angle petit exprimé en radians). [0,5 pt]

3. Retrouver, pour chacun des trois oculaires, le grossissement correspondant. [0,375 pt]

4. Comment peut-on expliquer les six valeurs du grossissement indiquées sur la notice ? [0,125 pt]

## III – Gain en luminosité

On envisage maintenant un faisceau incident de rayons lumineux parallèles entre eux et parallèles à l'axe optique de la lunette. Ce faisceau, centré sur l'axe optique, a même diamètre  $D$  que l'objectif  $L_1$ . On note  $d$  le diamètre du faisceau qui émerge de l'oculaire  $L_2$  (voir figure 2 ci-après).



**Figure 2**  
Le schéma n'est pas à l'échelle.

1. Compléter la marche du faisceau lumineux à travers tout le système optique. On indiquera  $d$  sur le schéma de la figure 2 ci-dessus. **[0,5 pt]**
2. Montrer que la relation entre  $D$ ,  $d$ ,  $O_1F'_1$  et  $O_2F_2$  est la suivante :

$$d = D \cdot \frac{O_2F_2}{O_1F'_1} \quad \text{[0,25 pt]}$$

3. À l'aide des valeurs indiquées sur la notice, calculer la plus grande valeur de  $d$ .

Un des principaux rôles d'une lunette astronomique est de collecter le maximum de lumière provenant d'un objet ponctuel très éloigné. Sachant que le diamètre d'une pupille dilatée est de l'ordre de 8 mm, la lunette est un bon collecteur de lumière car  $d_{\max}$  est inférieur à 8 mm. **[0,25 pt]**

(Ministère) / 4 points

**55**

## ÉTUDE DE LA NOTICE D'UN TÉLÉSCOPE

- Miroir sphérique
- Miroir plan
- Grossissement d'un télescope

### Calculatrice autorisée

Le but de cet exercice est d'étudier le fonctionnement d'un télescope de Newton, et de vérifier certaines indications portées sur sa notice descriptive.

### Télescope

Grossissements :  $45\times$  ;  $90\times$  ;  $150\times$  ;  $300\times$ .

Miroir sphérique de diamètre 114 mm, de focale 900 mm.

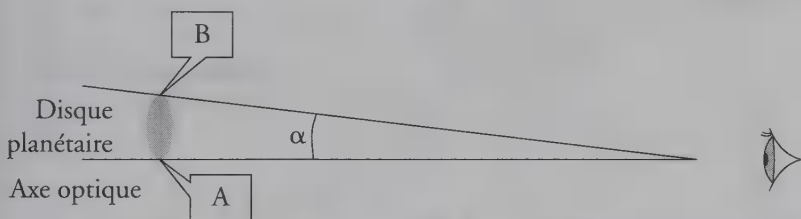
Deux oculaires interchangeables de focales 6 mm ; 20 mm.

Lentille de Barlow (elle double le grossissement du télescope pour chaque oculaire).

Le télescope est donc constitué des éléments suivants :

- un miroir sphérique (M) de diamètre D, de centre C, de sommet S, de distance focale  $f'_1$  ;
- un miroir plan ( $m$ ), incliné à  $45^\circ$  par rapport à l'axe optique du miroir (M) ;
- une lentille mince convergente (L) de distance focale  $f'_2$ , de centre O, appelée oculaire.

On considérera que le télescope est utilisé dans les conditions de Gauss. L'utilisateur du télescope observe une planète, de diamètre AB, suffisamment éloignée pour être considérée à l'infini.



### I – Image $A_1B_1$ donnée par le miroir sphérique

Sur le schéma 1 on a tracé deux rayons du faisceau lumineux provenant du point B de la planète. Ces rayons sont inclinés d'un angle  $\alpha$  par rapport à la direction de l'axe optique du miroir (M). Le rayon (2) est un des rayons du faisceau intercepté par le miroir sphérique (M). Le rayon (1) est un rayon permettant la construction des images. On appelle  $A_1B_1$  l'image intermédiaire que donne le miroir (M) de la planète AB.

*Remarque :* sur les schémas donnés, les distances et les angles ne sont pas représentés à l'échelle.

1. Justifier la position particulière de l'image  $A_1B_1$  donnée par le miroir sphérique. [0,25 pt]

2. Exprimer la dimension de  $A_1B_1$  en fonction de  $\tan \alpha$  et de  $f'_1$ . [0,25 pt]

### II – Image $A_2B_2$ donnée par le miroir plan

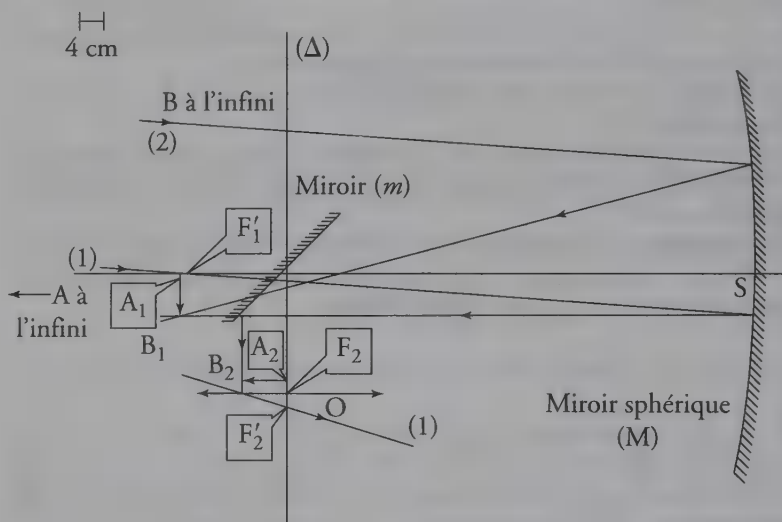
Dans le télescope (voir schéma 1), on place sur le chemin du faisceau émergent du miroir sphérique (M), un petit miroir plan ( $m$ ). Les rayons sont

ainsi envoyés sur une lentille (L) dont l'axe optique  $\Delta$  est perpendiculaire à celui du miroir (M). On appelle  $A_2B_2$  l'image intermédiaire donnée par le miroir ( $m$ ).

Justifier la position de  $A_2B_2$  sur l'axe ( $\Delta$ ).

[0,25 pt]

Schéma 1 (à rendre avec la copie)



### III – Image définitive $A'B'$

1. D'après le schéma 1, quelle position particulière l'image intermédiaire  $A_2B_2$  occupe-t-elle pour l'oculaire ? Quelle en est la conséquence pour l'image définitive  $A'B'$  ?

[0,25 pt]

2. Où l'observateur doit-il se placer par rapport à la lentille, pour observer l'image de la planète par le télescope ?

[0,25 pt]

3. Quel est l'intérêt d'avoir inséré le miroir plan ( $m$ ) ?

[0,25 pt]

### IV – Grossissement du télescope

On note  $\alpha'$  l'angle que font les rayons émergent de l'ensemble {miroirs, lentille} avec l'axe optique. Le grossissement du télescope est défini par  $G = \alpha' / \alpha$ . Les angles  $\alpha'$  et  $\alpha$  sont assez petits pour que l'on puisse considérer que  $\tan \alpha \approx \alpha$  et  $\tan \alpha' \approx \alpha'$  si  $\alpha$  et  $\alpha'$  sont exprimés en radians.

1. Indiquer sur le schéma 1 les angles  $\alpha$  et  $\alpha'$ .

[0,25 pt]

2. Établir l'expression du grossissement  $G$  en fonction de  $f_1'$  et de  $f_2'$ .

[0,25 pt]

3. Calculer la valeur du grossissement du télescope pour chacun des deux oculaires possibles. [0,25 pt]

4. Comment peut-on expliquer les quatre valeurs du grossissement indiquées sur la notice ? [0,25 pt]

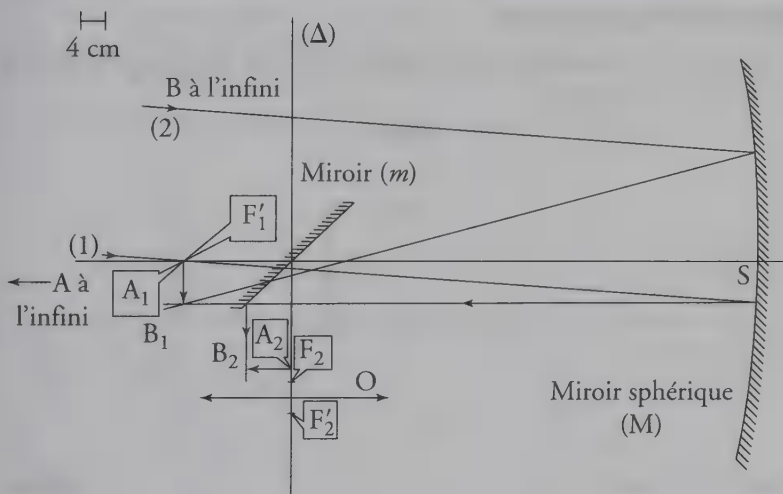
5. Le diamètre apparent de la planète Saturne observée à l'œil nu est  $2,18 \cdot 10^{-4}$  rad.

Sous quel diamètre apparent maximal l'utilisateur peut-il l'observer à travers le télescope ? [0,25 pt]

## V – Photographie de la planète

L'observateur souhaite maintenant récupérer une image de la planète sur une plaque photographique. À cette fin, il écarte légèrement la lentille par rapport à sa position précédente. Cette position est représentée sur le schéma 2.

Schéma 2 (à rendre avec la copie)



1. Pourquoi est-il nécessaire de décaler l'oculaire si on veut récupérer une image de la planète sur la plaque photographique ? [0,25 pt]

2. Si l'observateur avait rapproché la lentille du miroir au lieu de l'en écarter, aurait-il pu alors récupérer l'image définitive A'B' sur une plaque photographique ? Justifier la réponse. [0,25 pt]

3. La lentille de distance focale égale à 20 mm est placée à 3,0 cm de A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>.

a. Tracer la marche du rayon (1) de manière à déterminer la position de l'image définitive A''B'' dans ce cas là. [0,25 pt]

b. Déterminer par le calcul la position de l'image finale A''B''. [0,5 pt]

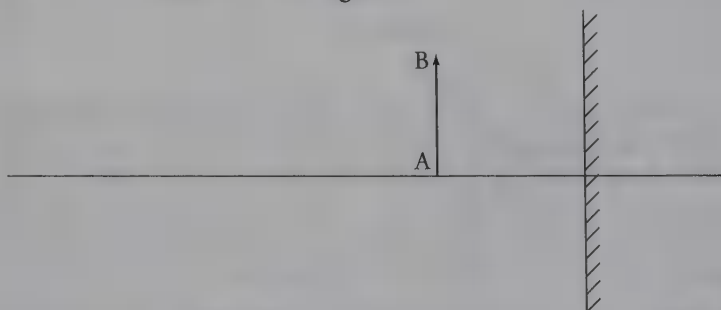
Inde, avril 2003 / 4 points

**56****LE TÉLÉSCOPE DE NEWTON**

- Miroir plan
- Miroir sphérique
- Construction graphique d'une image
- Lentille mince convergente
- Grossissement
- Grandissement

**I – Images d'un objet réel AB dans un miroir plan et un miroir sphérique**

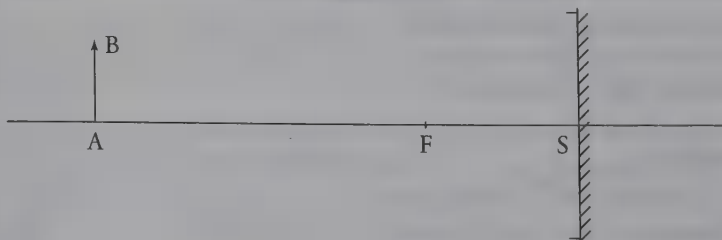
1. Construire géométriquement l'image  $A'B'$  de la flèche AB dans le miroir plan de la figure 1.

**Figure 1**

Que vaut le grandissement  $\gamma$  ?

**[0,5 pt]**

2. On considère le miroir sphérique de foyer F (figure 2).

**Figure 2**



Où se trouve l'image de l'objet AB si ce dernier est placé à une très grande distance (éloigné à l'infini) sur l'axe optique, à gauche du miroir sphérique ?

Construire géométriquement l'image de la flèche AB telle qu'elle est placée sur la figure pour le miroir sphérique. **[0,5 pt]**

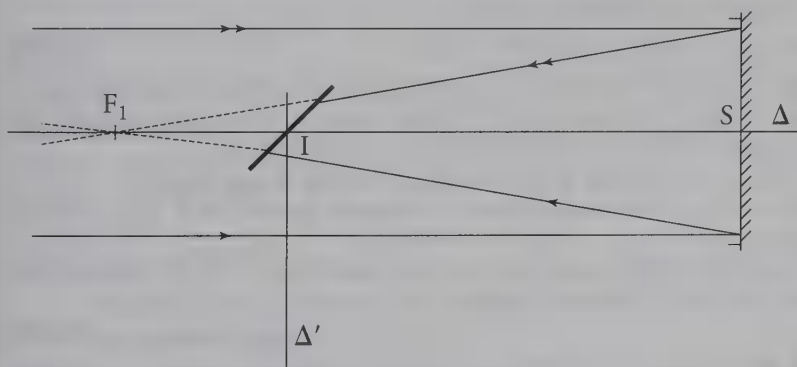
## II – Étude du télescope

Un télescope de Newton est essentiellement constitué d'un miroir sphérique concave, optique  $\Delta$ , de sommet S, de foyer  $F_1$  et de distance focale  $f_1 = SF_1$ .

On souhaite observer un objet éloigné à l'infini (étoile, planète, Lune, ...) dans la direction de l'axe optique  $\Delta$  du miroir. Le télescope est équipé d'un oculaire assimilable à une lentille mince convergente de distance focale  $f'_2$  ( $f'_2 > 0$ ) et de foyers  $F_2$  et  $F'_2$ . On souhaite que l'observation se fasse selon un axe  $\Delta'$  perpendiculaire à l'axe  $\Delta$ . C'est pourquoi on place un miroir plan incliné à  $45^\circ$  par rapport à  $\Delta$ , de centre I situé sur cet axe entre le foyer  $F_1$  et le sommet S du miroir sphérique.

1. Sur la figure 3, indiquer la position de l'image  $F'_1$  de  $F_1$  dans le miroir plan.

Figure 3



L'axe  $\Delta'$  de l'oculaire est perpendiculaire en I à  $\Delta$ . Le réglage du télescope est afocal : dans ces conditions,  $F'_1$  et  $F_2$  sont confondus.

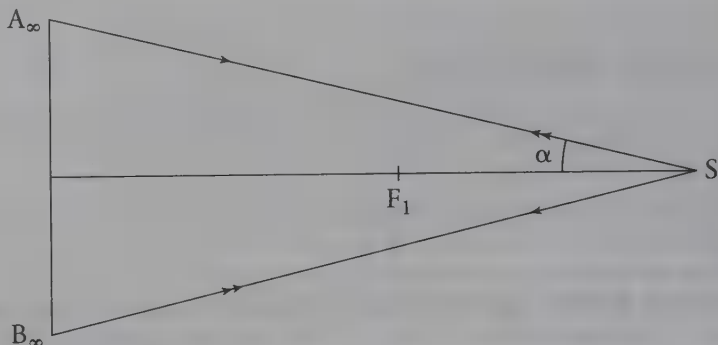
Placer l'oculaire sur la figure 3. On ne tiendra pas compte sur le dessin des valeurs relatives de  $f_1$  et  $f'_2$  données ultérieurement.

Si l'objet observé est à l'infini sur  $\Delta$ , où se trouve son image finale ?

**[0,75 pt]**

2. L'astronome désire observer la Lune (considérée comme infiniment éloignée et de centre situé sur  $\Delta$ ). Le rayon lumineux issu du bord supérieur de la Lune  $A_\infty$  arrive en S en faisant l'angle  $\alpha$  supposé faible avec  $\Delta$  (voir figure 4 ci-dessous).

Figure 4



Justifier que  $\theta = 2\alpha$  est le diamètre apparent de la Lune observée à l'œil nu.

Où se trouve l'image  $A_1$  de  $A_\infty$  pour le miroir sphérique ?

Soit  $B_1$  l'image de  $B_\infty$ , bord inférieur de la Lune.

Quelle relation existe-t-il entre  $A_1B_1$ ,  $f_1$  et  $\theta$  ? On suppose  $\theta$  petit :  $\tan \theta \approx \theta$ .

Que vaut  $A_2B_2$ , image de la Lune dans le miroir plan ?

Calculer numériquement  $A_2B_2$  si  $f_1 = SF_1 = 1,20$  m ;

$\theta = 2\alpha = 30'$  d'arc  $= 0,008\,72$  rad.

[1,25 pt]

3. Le télescope étant afocal, l'astronome observe la Lune dans l'oculaire.

Sur la figure 3 (à rendre avec la copie), faire un schéma de l'oculaire (axe optique  $\Delta'$ , foyers  $F_2$  et  $F'_2$ ) sur lequel on placera  $A_2B_2$ .

Où se trouve l'image de la Lune dans l'oculaire (image finale) ?

Soit  $\alpha'$  l'angle d'inclinaison sur  $\Delta'$  du rayon passant par  $A_2$  et le centre de l'oculaire.

Exprimer  $\alpha'$  (supposé petit) en fonction de  $\alpha$ ,  $f_1$  et  $f'_2$ . Justifier que  $\theta' = 2\alpha'$  est le diamètre apparent de la Lune vue dans le télescope.

[0,5 pt]

4. On donne :  $f'_2 = 2,00$  cm. Calculer la valeur numérique du rapport

$\frac{\theta'}{\theta} = \frac{\alpha'}{\alpha}$ . Comment appelle-t-on ce quotient ? Justifier ce nom.

[0,5 pt]

Antilles-Guyane, juin 2003 / 4 points

57

## LE TÉLESCOPE DE NEWTON

- Miroir sphérique
- Construction graphique d'une image
- Grossissement
- Diamètre apparent
- Marche d'un rayon lumineux

**Calculatrice autorisée**

Un télescope de Newton est constitué de trois éléments optiques principaux :

- l'objectif (miroir concave convergent noté  $M_1$ )
- le miroir secondaire (miroir plan noté M)
- l'oculaire (lentille convergente notée L)

Le télescope amateur, dont le principe et la fiche technique figurent ci-dessous, est utilisé par un élève pour observer la planète Mars sous son diamètre apparent  $\alpha$ . Le télescope sera considéré comme afocal.

*Notice du constructeur :*

Caractéristiques :

Objectif (miroir concave à courbure parabolique).

Focale : 800 mm

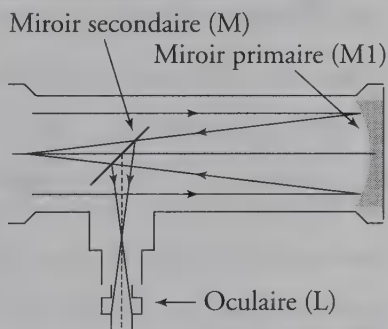
Diamètre : 130 mm

Pouvoir séparateur : 0,89"

Magnitude limite : 12,4

Clarté : 469 ×

Grossissement maxi théorique : 325

**I – Miroir sphérique**

Envisageons le miroir sphérique  $M_1$  de ce télescope.

1. Définir la distance focale d'un miroir concave. [0,25 pt]
2. Sur la figure 1, positionner le sommet (S), le centre (C), le foyer ( $F_1$ ) en respectant l'échelle 10 mm sur la figure correspondant à 100 mm pour le télescope, sachant que la distance  $SC = 1\,600$  mm. [0,5 pt]
3. Construire sur la figure 1 l'image  $A_1B_1$  de la planète Mars située à l'infini. [0,5 pt]

## II – Miroir secondaire

On considère maintenant le miroir plan (M) associé au miroir concave ( $M_1$ ) comme indiqué sur la figure 2. L'image  $A_2B_2$  donnée par ce miroir plan est notée sur le schéma de cette figure 2.

1. À partir de  $A_2B_2$  replacer par construction l'image intermédiaire  $A_1B_1$  de Mars sur la figure 2. **[0,5 pt]**
2. Quel rôle joue l'image intermédiaire  $A_1B_1$  pour le système miroir plan (M) et l'oculaire (L) ? **[0,25 pt]**

## III – L'oculaire

Aux deux éléments d'optiques précédents, on associe une lentille convergente (L) qui constitue l'oculaire comme indiqué sur la figure 3.

1. Placer le foyer objet  $F_2$  de la lentille. **[0,25 pt]**
2. Où se situe l'image définitive de la planète Mars observée à l'aide de ce télescope ? **[0,25 pt]**
3. Justifier la réponse précédente en traçant, sur la figure 3, la marche de deux rayons caractéristiques, à partir du point  $B_2$ , passant la lentille (L). **[0,25 pt]**

## IV – Le grossissement

1. Le grossissement maximum du télescope, noté  $G$ , correspond au quotient de la distance focale de l'objectif  $f'_1$  par la distance focale de l'oculaire

$f'_2$  soit  $G = \frac{f'_1}{f'_2}$ . À partir des données de la fiche technique du télescope,

calculer la distance focale  $f'_2$  de l'oculaire. **[0,25 pt]**

2. Le grossissement  $G$  est aussi égal au quotient du diamètre apparent  $\alpha'$  sous lequel est vu l'astre à travers le télescope par le diamètre apparent  $\alpha$  sous lequel est vu l'astre à l'œil nu soit  $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$ .

La planète Mars est observée sous le diamètre apparent  $\alpha = 14''$  soit  $3,88 \cdot 10^{-3}$  degré.

- a. Définir le diamètre apparent  $\alpha$ . **[0,25 pt]**
- b. Calculer le diamètre apparent  $\alpha'$  (en degré). **[0,25 pt]**
- c. Tracer la marche d'un rayon issu de Mars et passant par le foyer  $F_1$  sur la figure 4.

Pour faciliter la construction, l'angle  $\alpha$  représenté sur la figure 4 est plus grand que la réalité. **[0,25 pt]**

- d. En respectant l'augmentation d'angle  $\alpha$  faire figurer le diamètre apparent  $\alpha'$  sur la figure 4. **[0,25 pt]**

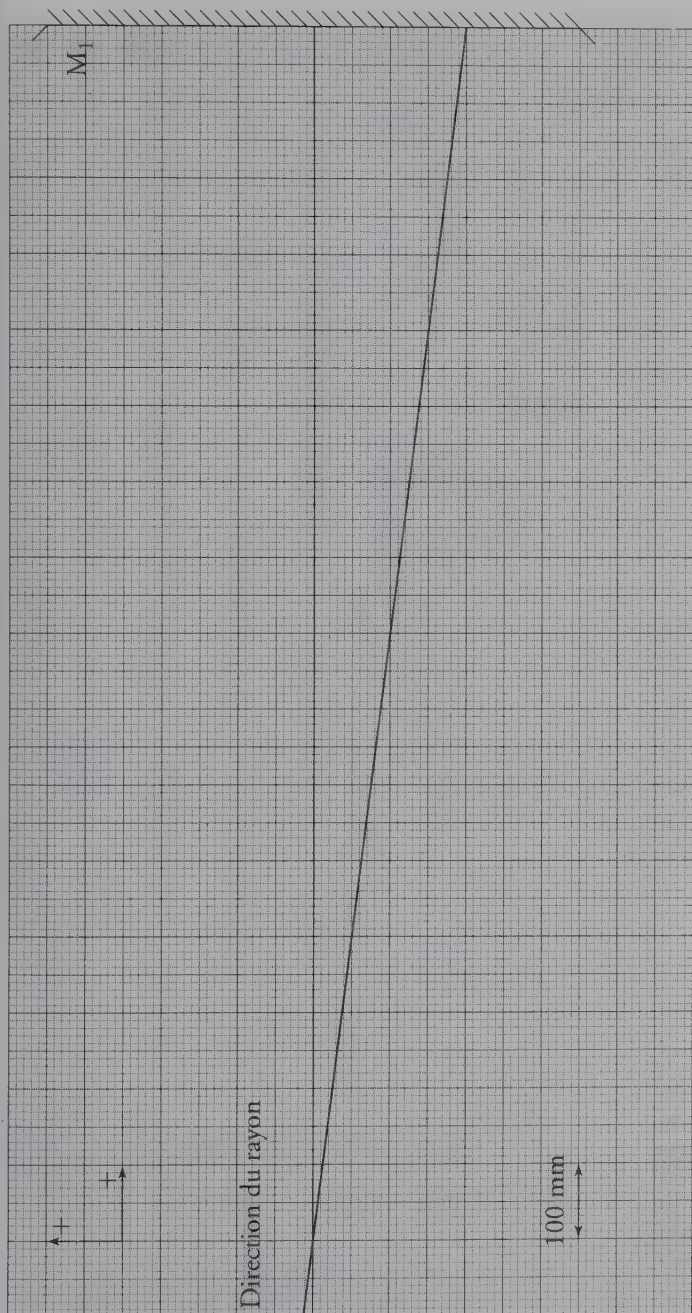


Figure 1



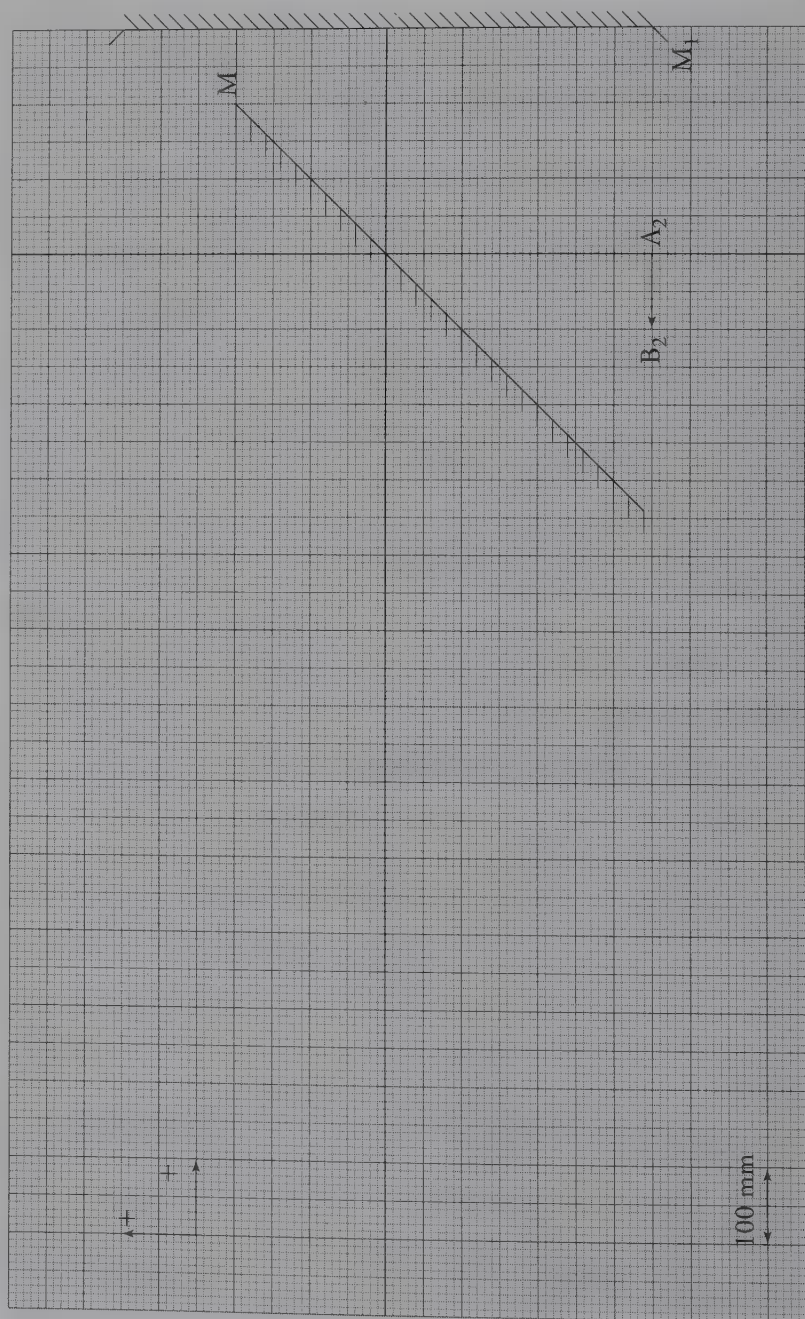


Figure 2

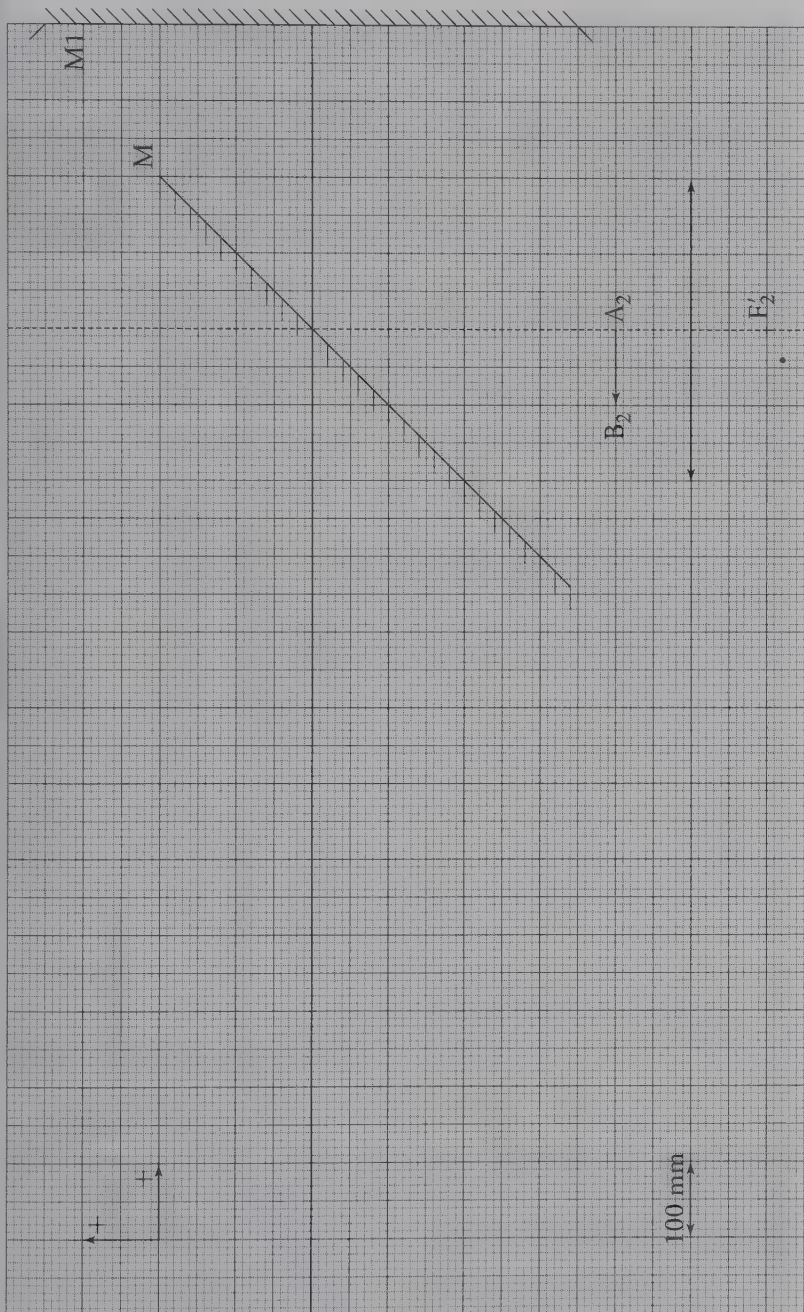


Figure 3



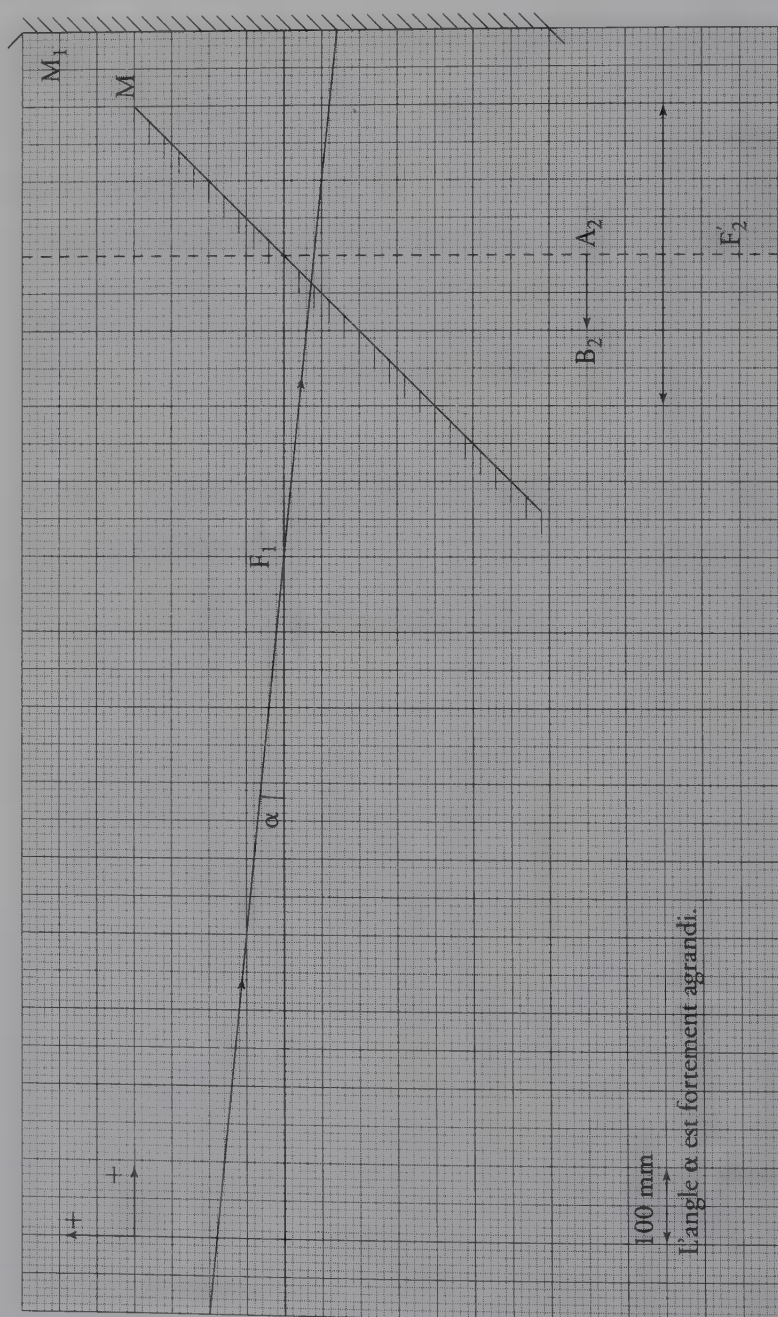


Figure 4

# PRODUIRE DES SONS – ÉCOUTER

France métropolitaine, juin 1981 / 4 points

58

## ONDES PROGRESSIVES ET STATIONNAIRES

- Ondes stationnaires
- Phénomène de résonance
- Célérité du son dans l'air

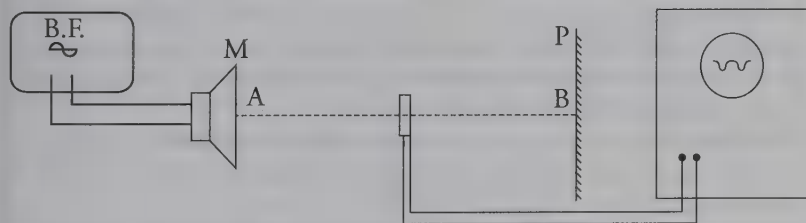
Calculatrice autorisée

### > DISPOSITIF

Un haut-parleur est alimenté par un générateur basse fréquence émettant des ondes de fréquence  $f$ . L'onde sonore, localement plane et sinusoïdale, se réfléchit sur un plan P fixe. L'air, entre M et P, constitue un résonateur pour les ondes qui s'y propagent avec une célérité  $V$ . Les points A et B (cf. figure) seront considérés comme étant des nœuds de déplacement.

On donne  $AB = \ell = 1,20 \text{ m}$ .

Un petit microphone, sensible aux variations de pression, situé entre A et B à égale distance de A et B, est relié à un oscillographe.



La présence du microphone n'introduit pratiquement aucune perturbation du système d'ondes.

### > QUESTIONS

1. Exprimer en fonction de  $V$  et  $\ell$  les valeurs de  $f$  permettant d'obtenir des ondes stationnaires en résonance. Le phénomène de résonance étant obtenu, que peut-on dire du signal enregistré sur l'oscillographe ? Discuter.

[1,5 pt]

2. À partir de la valeur  $f_0 = 100 \text{ Hz}$ , on augmente progressivement  $f$  et on observe sur l'écran un premier minimum d'amplitude pour  $f_1 = 140 \text{ Hz}$ .

- a. Vérifier qu'en dessous de 100 Hz, aucune résonance n'est possible, la célérité du son dans l'air atmosphérique étant de  $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . [1 pt]
- b. Calculer une valeur plus précise de  $V$  dans les conditions de l'expérience. [1 pt]
- c. Pour quelle valeur  $f_2$  de  $f$  obtiendrait-on le second minimum ? [0,5 pt]

(Ministère) / 4 points

59

## VIBRATIONS D'UNE CORDE MÉTALLIQUE

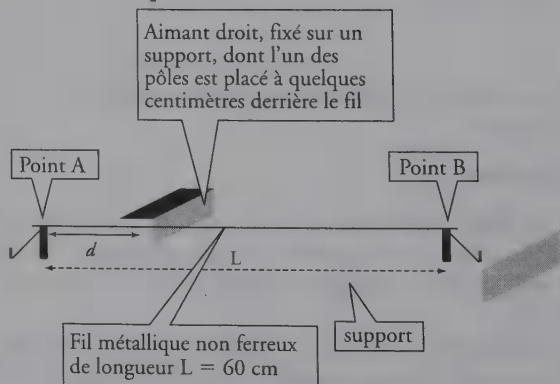
- Ondes stationnaires
- Longueurs d'onde
- Mode fondamental
- Analyse spectrale
- Harmoniques

## Calculatrice non autorisée

I – On réalise au laboratoire le dispositif schématisé ci-après.

Un fil métallique non ferreux, de longueur  $L = 60 \text{ cm}$ , appelé « corde » dans le reste de l'énoncé, est tendu entre les points A et B. Entre ces points, on applique une tension sinusoïdale  $u_{AB}$  de fréquence  $f$ . Un courant de même fréquence circule alors dans la corde.

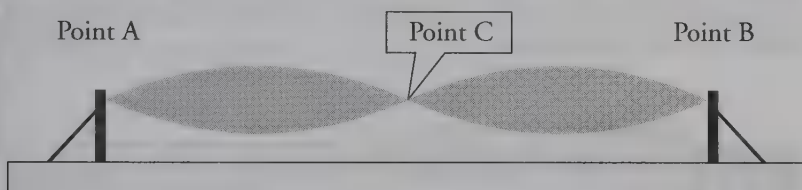
Un aimant droit fixe est placé derrière la corde (voir schéma).



La courbe est localement soumise à une force magnétique verticale due à la circulation du courant et à la présence de l'aimant. On admettra que :

- les vibrations transversales ainsi imposées à la corde sont de nature sinusoïdale et qu'elles ont la même fréquence que la tension  $u_{AB}$  ;
- les fréquences des vibrations, du courant et de la tension  $u_{AB}$  sont les mêmes.

1. La tension  $u_{AB}$  a une fréquence  $f_1$  égale à 100 Hz et la corde est éclairée par la lumière du jour. À cause de la persistance rétinienne, on voit deux fuseaux comme le montre la figure ci-dessous (dispositif vu de face, sans représentation de l'aimant).



a. Quel est l'état vibratoire du point C ? Quel nom donne-t-on à ce point de la corde dans cette expérience ? **[0,25 pt]**

b. Décrire qualitativement le mouvement d'un point de la corde situé à égale distance de A et de C. Comment nomme-t-on son état vibratoire ? **[0,50 pt]**

c. Déterminer la longueur d'onde  $\lambda_1$  de l'onde stationnaire ainsi générée. **[0,50 pt]**

d. Déterminer sa célérité  $v$ . **[0,50 pt]**

e. Parmi les positions de l'aimant définies par les valeurs de  $d$  ci-après, laquelle paraît-il souhaitable d'adopter pour obtenir ces deux fuseaux de manière bien visible ? La réponse doit être justifiée. Valeurs de  $d$  proposées : 15 cm, 30 cm ou 45 cm. **[0,25 pt]**

2. Déterminer la fréquence  $f_0$  de la tension  $u_{AB}$  qui permettrait d'obtenir un système d'ondes stationnaires ne présentant qu'un seul fuseau, la longueur et la tension de la corde restant inchangées. Quel nom particulier donne-t-on à ce mode de vibration ? **[0,5 pt]**

II – On supprime la tension  $u_{AB}$  et l'aimant. La corde, horizontale, garde une longueur et une tension identiques à celles de la partie I-1. On dispose également d'une boîte en bois parallélépipédique dont une grande face est percée d'un orifice circulaire. La boîte est disposée horizontalement sous la corde. Le milieu de la corde se trouve au-dessus de l'orifice circulaire. La corde est mise en vibration par pincement en son centre, on perçoit alors un son d'une hauteur de 50 Hz.

1. Expliquer pourquoi on peut entendre un son avec ce nouveau dispositif. **[0,25 pt]**
2. On réalise l'analyse spectrale de ce son sur un intervalle de fréquences  $f$  tel que  $20 \text{ Hz} < f < 300 \text{ Hz}$ .
  - a. Qu'appelle-t-on « fréquence fondamentale » d'un son, quelle est sa valeur ici ? **[0,25 pt]**
  - b. Quelles sont les fréquences des harmoniques qui sont susceptibles de se trouver dans l'analyse spectrale de ce son ? **[0,5 pt]**
  - c. Parmi les harmoniques attendus, le spectre montre la quasi-absence des harmoniques de fréquence 100 Hz et 200 Hz. Proposer une explication de cette particularité du spectre en raisonnant à partir de la manière dont la corde a été mise en vibration. **[0,5 pt]**

France métropolitaine, juin 2002 / 4 points

**60****UN XYLOPHONE D'ENFANT**

- Paramètres d'acquisition
- Caractéristiques des oscillations
- Période
- Comment accorder le xylophone

**Calculatrice NON autorisée****> DOCUMENT**

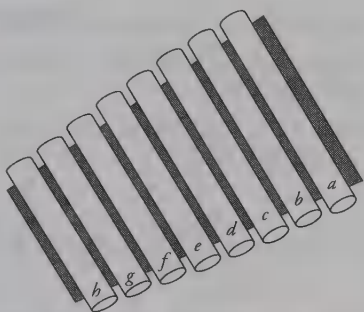
Les instruments de musique correctement accordés produisent des notes ( $\text{do}_5$ ,  $\text{ré}_5$ , ...,  $\text{la}_7$ ,  $\text{si}_7$ ) dont les fréquences sont définies très rigoureusement, à savoir :

| Note           | Fréquence<br>en hertz | Note           | Fréquence<br>en hertz | Note           | Fréquence<br>en hertz |
|----------------|-----------------------|----------------|-----------------------|----------------|-----------------------|
| $\text{do}_5$  | 1 046                 | $\text{do}_6$  | 2 093                 | $\text{do}_7$  | 4 186                 |
| $\text{ré}_5$  | 1 175                 | $\text{ré}_6$  | 2 350                 | $\text{ré}_7$  | 4 699                 |
| $\text{mi}_5$  | 1 318                 | $\text{mi}_6$  | 2 637                 | $\text{mi}_7$  | 5 274                 |
| $\text{fa}_5$  | 1 397                 | $\text{fa}_6$  | 2 794                 | $\text{fa}_7$  | 5 588                 |
| $\text{sol}_5$ | 1 568                 | $\text{sol}_6$ | 3 136                 | $\text{sol}_7$ | 6 272                 |
| $\text{la}_5$  | 1 760                 | $\text{la}_6$  | 3 520                 | $\text{la}_7$  | 7 040                 |
| $\text{si}_5$  | 1 976                 | $\text{si}_6$  | 3 951                 | $\text{si}_7$  | 7 902                 |

Un xylophone d'enfant est composé de 8 tubes métalliques creux (notés  $a, b, \dots, g, h$ ), tous identiques mais de longueurs  $\ell$  différentes.

Lorsqu'on frappe sur l'un de ces tubes avec un petit marteau, il vibre, ce qui produit un son bref d'une durée d'environ 2 secondes.

On place devant le xylophone un microphone qui transforme le son en tension électrique. En reliant le microphone à une interface d'acquisition, on cherche à tracer le graphe de la tension aux bornes du microphone en fonction de la durée et à en déduire la période du son.



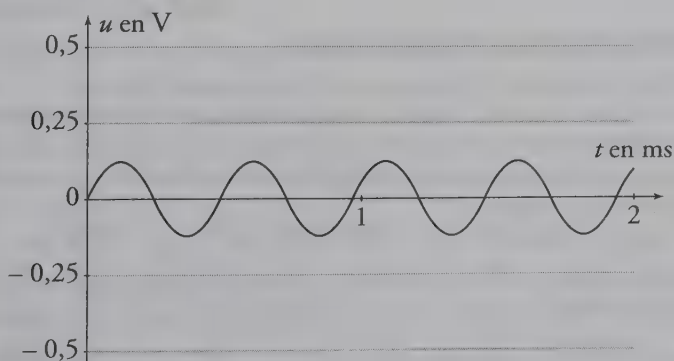
## > QUESTIONS

### I – Obtention de l'enregistrement

Comme pour un oscilloscope, qu'il est nécessaire de régler, il faut paramétrer l'interface d'acquisition afin d'obtenir un enregistrement exploitable. On peut régler deux paramètres de la voie d'acquisition : la durée d'acquisition (c'est-à-dire la durée de l'enregistrement) et la sensibilité verticale (ou calibre de la voie).

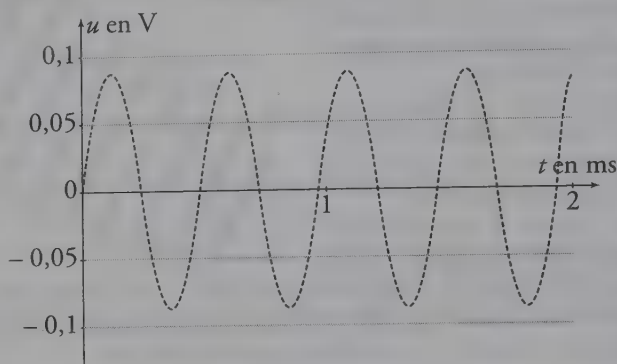
L'expérimentateur fait plusieurs essais avec le tube  $a$  en utilisant un dispositif permettant de frapper les tubes d'une façon que l'on considérera identique à chaque fois. Il obtient les enregistrements I, II et III donnés ci-après, représentant la tension aux bornes du microphone en fonction de la durée.

Enregistrement I

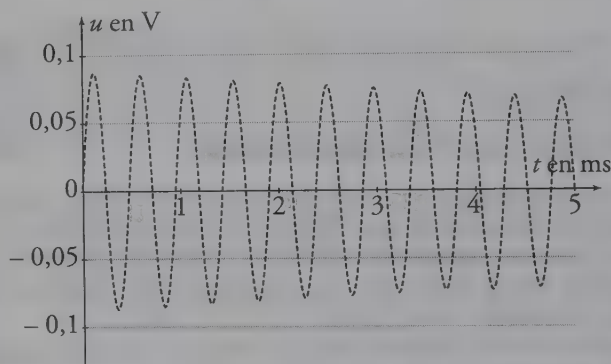




## Enregistrement II



## Enregistrement III



1. Quel(s) paramètre(s) de l'interface l'expérimentateur a-t-il modifié(s) entre l'enregistrement I et l'enregistrement II ? **[0,125 pt]**
2. Quel(s) paramètre(s) de l'interface l'expérimentateur a-t-il modifié(s) entre l'enregistrement II et l'enregistrement III ? **[0,125 pt]**

## II – Modélisation de la tension

L'expérimentateur décide de conserver l'enregistrement II.

Pendant la durée d'acquisition de cet enregistrement, la tension électrique **peut être considérée comme** sinusoïdale de la forme  $u(t) = U_m \cdot \cos(\omega t + \varphi)$ .

Un logiciel de traitement permet de déterminer les valeurs de  $U_m$ ,  $\omega$  et  $\varphi$ .

Pour le tube a, il propose :

$$(U_m)_a = 83 \text{ mV} \quad \omega_a = 1,32 \times 10^4 \text{ S.I.} \quad \varphi_a = -1,74 \text{ rad}$$

1. Le choix d'une fonction sinusoïdale comme modèle convient-il pour les deux autres enregistrements I et III ? Justifier sans calcul. **[0,125 pt]**
2. Que représente la grandeur  $(U_m)_a$  ? **[0,125 pt]**



3. Que représente la grandeur  $\omega_a$  ? Quelle est son unité ? [0,25 pt]
4. Donner la relation entre  $\omega_a$  et la fréquence  $f_a$  de la tension électrique. [0,25 pt]
5. En déduire la valeur de la fréquence  $f_a$  et celle de la période  $T_a$  de la tension électrique  $u_a$ . [0,25 pt]

Aide au calcul numérique :

$$\frac{1,32}{2\pi} \approx 0,210 ; \frac{2\pi}{1,32} \approx 4,76 ; 1,32 \times 2\pi \approx 8,29 ; \frac{1}{1,32 \times 2\pi} \approx 0,121.$$

### III – La vibration du tube

On admettra que la fréquence de la vibration du tube est la même que celle du son et que celle de la tension électrique enregistrée.

#### 1. Observation globale du phénomène

Le tube vibre quand il est frappé avec un marteau. Le son produit s'atténue et n'est plus audible au bout de 2 secondes. Décrire par une phrase ce qui se passe pour le tube en choisissant les termes adaptés dans la liste suivante : *oscillations ; mécaniques ; électriques ; libres ; entretenues ; forcées ; amorties ; non amorties ; critiques*. [0,5 pt]

#### 2. Étude restreinte à la durée d'acquisition

On rappelle que pendant la durée d'acquisition de l'enregistrement, la tension électrique peut être considérée comme sinusoïdale.

Quelle est la fréquence du son émis par le tube  $a$  ? À quelle note cela correspond-il ? [0,375 pt]

3. L'expérimentateur a utilisé une interface d'acquisition. Il aurait pu utiliser un oscilloscope à mémoire. Pourquoi n'a-t-il pas utilisé un oscilloscope classique ? [0,125 pt]

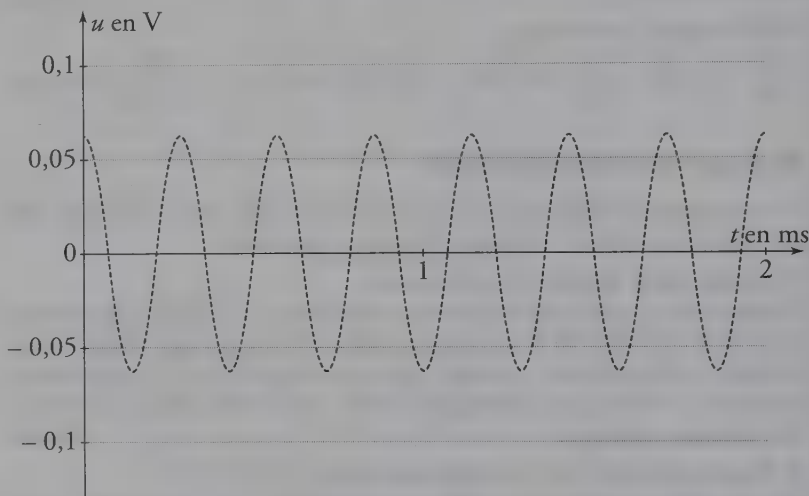
### IV – Variation de la période du son en fonction de la longueur $\ell$ du tube

On réalise la même expérience pour les 7 autres tubes. Pendant les acquisitions, la tension électrique peut être considérée comme sinusoïdale comme dans l'enregistrement II de la question II. Grâce à la valeur de  $\omega$  donnée par le logiciel, on en déduit la période  $T$  et la fréquence  $f$  du son émis par chaque tube. On obtient le tableau de mesures suivant :

|              | tube $b$ | tube $c$ | tube $d$ | tube $e$ | tube $f$ | tube $g$ | tube $h$ |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $\ell$ en cm | 17,3     | 16,3     | 15,4     | 14,8     | 14,0     | 13,2     | 12,8     |
| $T$ en ms    | 0,430    | 0,381    | 0,340    | 0,317    | 0,286    | 0,253    | 0,238    |
| $f$ en kHz   | 2,32     | 2,63     | 2,94     | 3,15     | 3,50     | 3,95     | 4,20     |

1. On donne l'enregistrement IV ci-après. En le comparant aux autres enregistrements, justifier qu'il s'agit de l'enregistrement du son d'un tube différent du tube  $a$ . **[0,25 pt]**

Enregistrement IV



2. Sans la mettre en œuvre, décrire la méthode qui permettrait de montrer, à partir des valeurs du tableau précédent, que la période  $T$  du son n'est pas proportionnelle à la longueur  $\ell$  du tube. **[0,25 pt]**

3. On a tracé le graphe représentant  $T$  en fonction de  $\ell^2$  (document 1).

a. À partir du graphique, justifier que l'on peut considérer que la période  $T$  est proportionnelle à  $\ell^2$ . **[0,25 pt]**

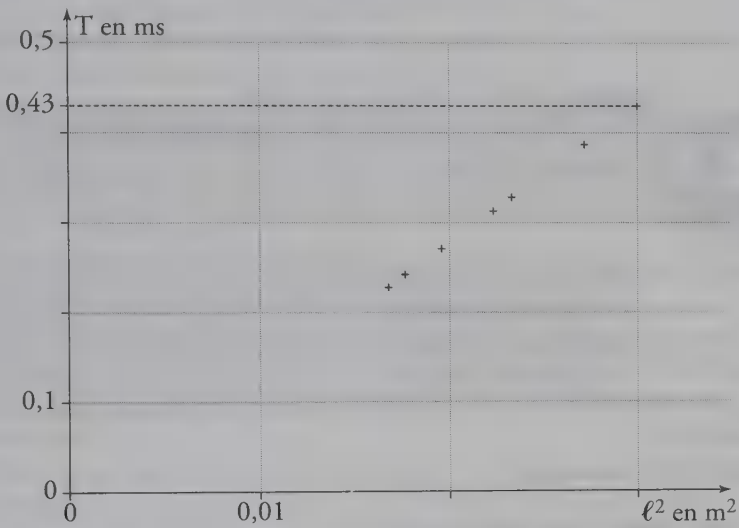
b. En déduire la relation numérique entre  $T$  et  $\ell$  en précisant les unités. Aide au calcul numérique :

$$\frac{4,3}{3} \approx 1,4 ; \frac{3}{4,3} \approx 0,70 ; 3 \times 4,3 \approx 12,9 ; \frac{1}{3 \times 4,3} \approx 0,078 \quad \mathbf{[0,375 \text{ pt}]}$$

4. Lorsque la fréquence expérimentale du son émis par un tube est très différente de la fréquence de la note attendue pour ce tube, le tube est mal accordé. L'expérimentateur constate que l'un des tubes est mal accordé. Indiquer lequel. Pour accorder ce tube, faut-il augmenter ou diminuer sa longueur, tous les autres paramètres restant constants ? Justifier la réponse. **[0,625 pt]**

*Remarque :* on notera, bien entendu, le caractère particulièrement simplificateur de la modélisation pour l'étude de la vibration et du son émis par chaque tube.

## Document 1



# 61

## ÉMISSION D'UN $\text{La}_3$ PAR MODULATION D'AMPLITUDE

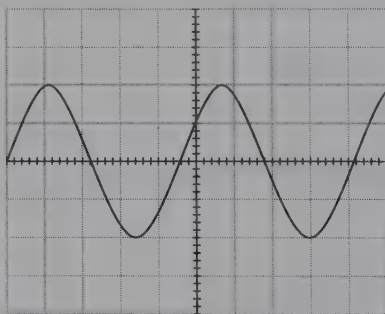
- Modulation d'amplitude
- Oscillogrammes
- Taux de modulation
- Spectre de fréquences

Calculatrice autorisée

### I - $\text{La}_3$ émis par un diapason

À l'aide du matériel approprié (microphone, oscilloscope à mémoire, fils de connexion), on peut visualiser la tension  $u(t)$  correspondant à un  $\text{La}_3$  émis par un diapason.

L'oscillogramme obtenu est le suivant :



Coefficient de balayage :  $500 \mu\text{s}/\text{div}$  ; sensibilité verticale :  $5 \text{ mV}/\text{div}$  ; couplage : DC.

En l'absence de tension, le spot occupe la ligne médiane de l'écran.

1. Déterminer l'amplitude  $U_m$  de la tension  $u(t)$  correspondant à ce signal sonore. [0,25 pt]

2. Vérifier que la fréquence  $f$  de la tension  $u(t)$  correspondant à ce signal sonore vaut  $440 \text{ Hz}$ . [0,25 pt]

## II - À propos de la modulation d'amplitude

*Donnée* : bande passante oreille humaine 15 Hz à 16 kHz.

Pour transmettre l'onde sinusoïdale correspondant à ce  $\lambda_3$ , les émetteurs grandes ondes fonctionnent en modulation d'amplitude.

1. Recopier les phrases suivantes et les compléter à l'aide des termes convenables choisis parmi : *modulant, modulé, faible, élevée, variable, constante*. Le signal utile correspondant au son, (encore appelé signal ...) est superposé à un signal porteur de fréquence .... Le signal obtenu encore appelé signal ... a une amplitude .... **[0,5 pt]**

2. Sur le boîtier d'un récepteur radio grandes ondes, on peut lire des valeurs de fréquence s'étalant de 120 kHz à 260 kHz.

a. Les sons correspondant à ces fréquences sont-ils audibles par une oreille humaine ? Justifier la réponse. **[0,375 pt]**

b. À quel signal (modulé, modulant, porteur) correspondent ces fréquences ? **[0,125 pt]**

3. Un signal modulé en amplitude peut se mettre sous la forme :  $s(t) = A(1 + m \cdot \cos 2\pi f_m t) \cdot \cos 2\pi f_p t$  expression dans laquelle  $f_m$  correspond à la fréquence du signal modulant,  $f_p$  correspond à la fréquence du signal porteur et  $m$  au taux de modulation.

On sait que  $s(t)$  peut se mettre sous la forme de la somme de 3 fonctions sinusoïdales de fréquences  $f_p - f_m$ ,  $f_p$ ,  $f_p + f_m$ .

On donne :

$$s(t) = A \cos 2\pi f_p t + 0,5A \cdot m \cos 2\pi (f_p + f_m)t + 0,5A \cdot m \cos 2\pi (f_p - f_m)t$$

Parmi les 3 couples  $(f_m, f_p)$  proposés dans le tableau ci-dessous, choisir le seul possible.

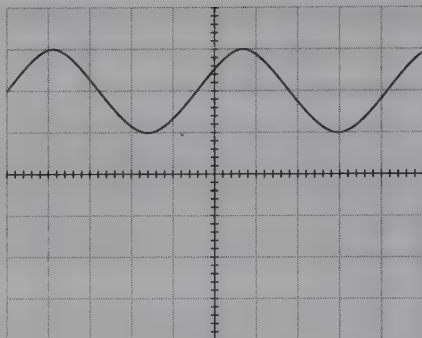
|               |         |         |         |
|---------------|---------|---------|---------|
| $f_m$ (en Hz) | 440     | 162 000 | 440 000 |
| $f_p$ (en Hz) | 180 000 | 440     | 162 000 |

Le couple possible étant retenu, indiquer, parmi les fréquences suivantes, celles qui figurent dans le signal modulé: 440 Hz, 180 000 Hz, 140 000 Hz, 180 440 Hz, 179 560 Hz. **[0,25 pt]**

## III - Simulation

1. Pour simuler la tension  $u(t)$  correspondant à un  $\lambda_3$  émis par un diapason, on utilise un GBF<sub>1</sub> délivrant une tension d'amplitude  $U_1$  de fréquence  $f_m = 440$  Hz. À l'aide du bouton convenable, on décale cette tension vers le haut d'une valeur  $U_0$ . On visualise cette tension à l'aide d'un oscilloscope.

Déterminer  $U_1$  et  $U_0$  sur l'oscillogramme obtenu et reproduit ci-après :

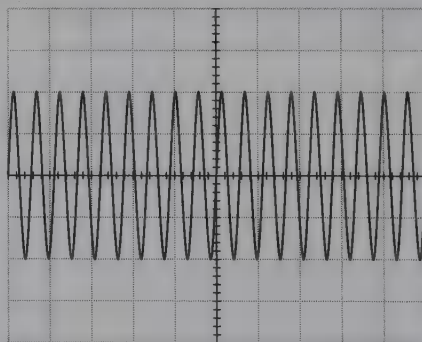


Coefficient de balayage :  $500 \mu\text{s}/\text{div}$  ; sensibilité verticale :  $2 \text{ V}/\text{div}$  ; couplage : DC.

En l'absence de tension, le spot occupe la ligne médiane de l'écran.

**[0,25 pt]**

2. On dispose d'un second GBF, noté  $\text{GBF}_2$ , délivrant une tension d'amplitude  $U_2 = 4 \text{ V}$  de fréquence  $f_p = 180 \text{ kHz}$ . On visualise cette tension à l'aide d'un oscilloscope. L'oscillogramme obtenu est donné page suivante :



Coefficient de balayage : ?

Sensibilité verticale : ?

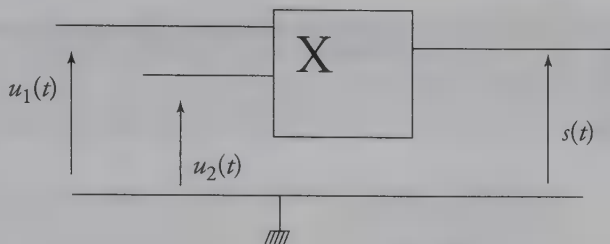
Couplage : DC

En l'absence de tension, le spot occupe la ligne médiane de l'écran.

Déterminer le coefficient de balayage et la sensibilité verticale.

**[0,5 pt]**

3. À l'aide des 2 GBF précédents, d'un circuit multiplieur avec son alimentation continue, d'un oscilloscope et de fils de connexion, on peut obtenir une tension modulée en amplitude  $s(t)$  :



a. À la sortie du multiplieur, on obtient une tension  $s(t) = k \cdot u_1(t) \cdot u_2(t)$  avec  $u_1(t) = U_0 + U_1 \cdot \cos(2\pi f_m t)$  et  $u_2(t) = U_2 \cdot \cos(2\pi f_p t)$  et  $k$  constante liée aux caractéristiques du multiplieur.

Montrer que  $s(t)$  peut se mettre sous la forme :

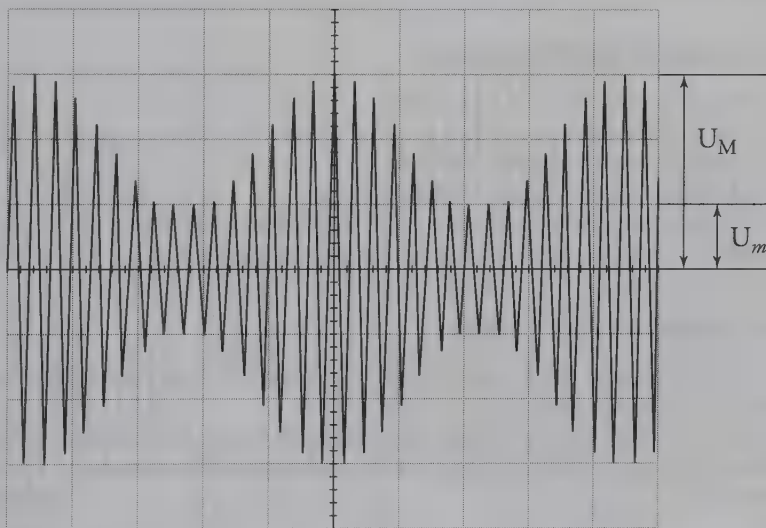
$$s(t) = A \cdot (1 + m \cdot \cos(2\pi f_m t)) \cdot \cos(2\pi f_p t)$$

avec  $m = \frac{U_1}{U_0}$  et  $A = k \cdot U_2 \cdot U_0$ .

[0,5 pt]

b. En utilisant la courbe  $s(t)$  schématisée ci-après, déterminer le taux de

modulation  $m = \frac{U_M - U_m}{U_M + U_m}$  et la fréquence  $f_m$  du signal modulant. [0,5 pt]



Coefficient de balayage :  $500 \mu s/div$

Sensibilité verticale :  $2 V/div$

Couplage : DC

En l'absence de tension, le spot occupe la ligne médiane de l'écran.

Remarque : pour des raisons de résolution graphique, la fréquence de la porteuse a été réduite.



**62****RÉCEPTEUR RADIO À MODULATION D'AMPLITUDE**

- Circuit oscillant
- Amplificateur
- Modulation d'amplitude
- Circuit RC
- Constante de temps

**Calculatrice autorisée****Circuit RC**

Un schéma de récepteur radio à modulation d'amplitude est donné ci-après. Il est divisé en quatre sous-ensembles numérotés de 1 à 4.

**I – Analyse du récepteur**

Les 4 sous-ensembles sont les suivants :

$\alpha$  : Démodulateur.

$\beta$  : Amplificateur du signal modulé.

$\gamma$  : Amplificateur du signal modulant.

$\delta$  : Circuit oscillant accordé sur la fréquence  $N$ , telle que  $4\pi^2 N^2 LC_r = 1$ .

Attribuer à chaque sous-ensemble le numéro correspondant. **[0,5 pt]**

**II – La gamme d'ondes**

Le circuit oscillant est accordé sur la fréquence que l'on veut capter. La bobine a une inductance  $L = 1,0 \text{ mH}$ .

Quelles devraient être les limites de la capacité  $C_r$  du condensateur pour balayer la plage de fréquences qui va en modulation d'amplitude de 150 à 280 kHz ? **[0,5 pt]**

**III – Étude des tensions**

On peut visualiser les cinq tensions  $u_{AM}$ ,  $u_{BM}$ ,  $u_{CM}$  (K ouvert),  $u_{CM}$  (K fermé),  $u_{DM}$  sur un oscilloscope,  $M$  étant la masse du circuit. Les oscillogrammes des cinq tensions sont obtenus en utilisant le mode DC de l'oscilloscope.

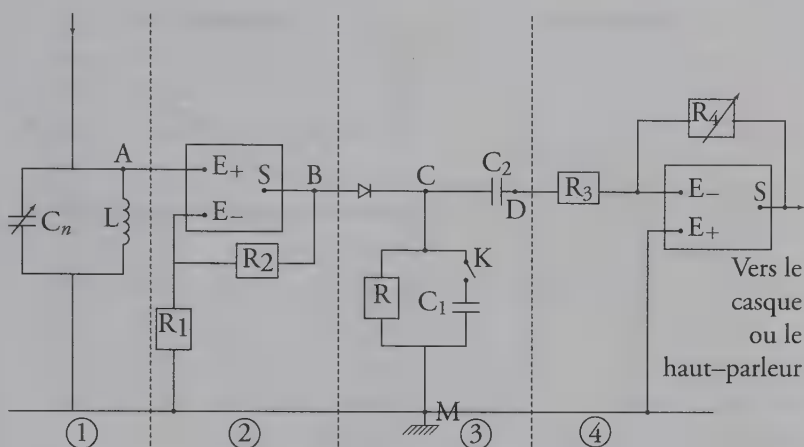
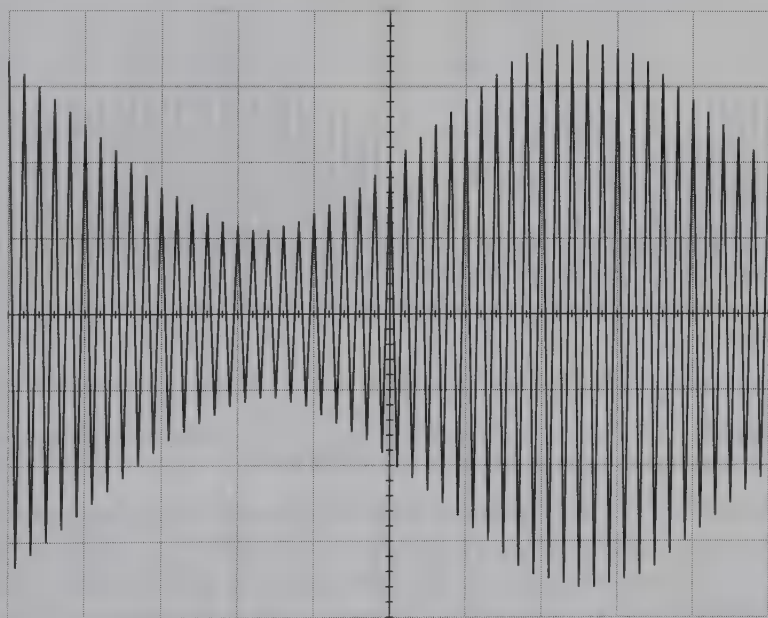


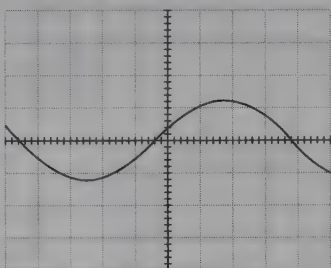
Figure 1

## Document I



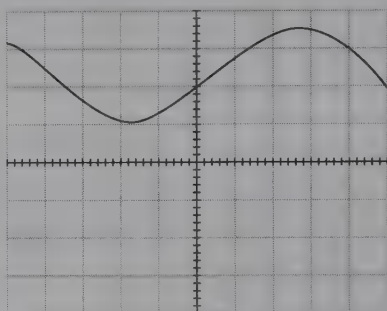
Déviation verticale : 0,5 V/div. Balayage : 0,2 ms/div.

Document II



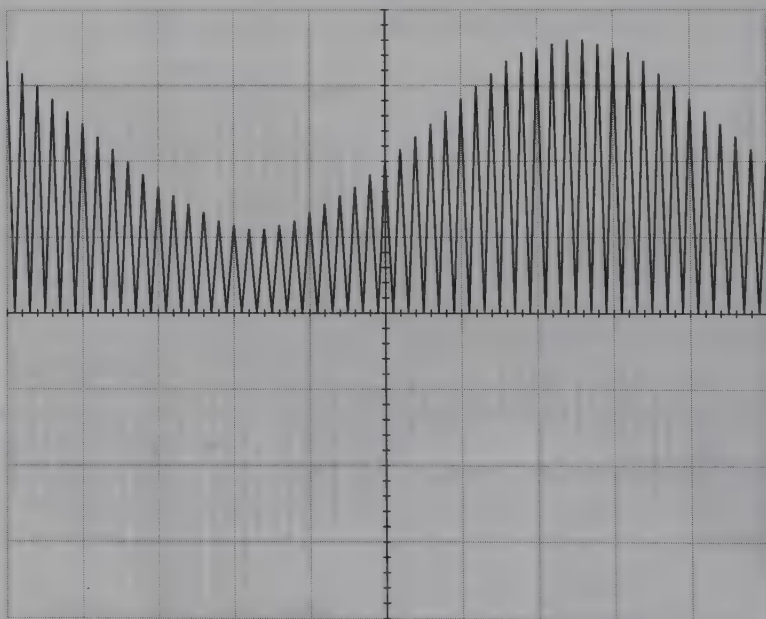
Déviatiun verticale : 0,5 V/div .  
Balayage : 0,2 ms/div .

Document III



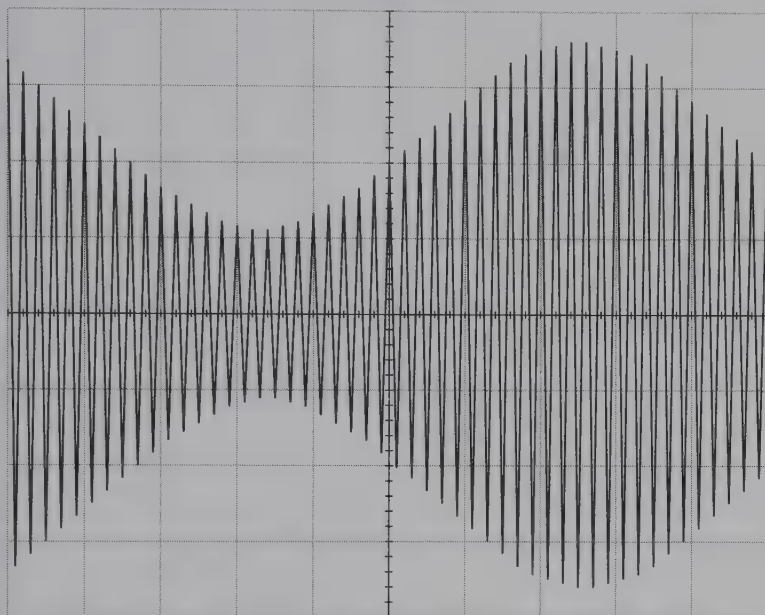
Déviatiun verticale : 0,5 V/div .  
Balayage : 0,2 ms/div .

Document IV



Déviatiun verticale : 0,5 V/div .      Balayage : 0,2 ms/div .

## Document V



Déviatiion verticale : 5 mV/div . Balayage : 0,2 ms/div .

En l'absence de signal appliqué aux voies, les traces obtenues sur l'écran coïncident avec la ligne horizontale médiane.

1. Identifier  $u_{AM}$  en indiquant le numéro de l'oscillogramme. Justifier. **[0,375 pt]**
2. Pour cette tension la modulation correspond à une onde sonore de fréquence  $N'$ . Déterminer  $N'$ . **[0,375 pt]**
3. Identifier  $u_{BM}$ . On note  $G$  le coefficient d'amplification du premier étage amplificateur  $G = \frac{u_{BM}(\max)}{u_{AM}(\max)}$ . Évaluer  $G$ . **[0,25 pt]**
4. Identifier  $u_{CM}$  (K ouvert). Quel est le rôle de la diode ? **[0,5 pt]**
5. Identifier  $u_{CM}$  (K fermé). Comparer la constante de temps  $RC_1$  à la période  $T$  de l'onde porteuse et à la période  $T'$  du signal modulant. **[0,75 pt]**
6. Identifier  $u_{DM}$ . Quel est le rôle du condensateur  $C_2$  ? **[0,5 pt]**



**Chimie**

# Enseignement obligatoire

## LA TRANSFORMATION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE EST-ELLE TOUJOURS RAPIDE ?

Polynésie, Juin 2003 / 2,5 points

63

### ÉTUDE CINÉTIQUE PAR SUIVI SPECTROPHOTOMÉTRIQUE

- Absorbance
- Avancement
- Facteur cinétique
- Temps de demi-réaction

#### Calculatrice autorisée

On se propose d'étudier la cinétique de la transformation lente de décomposition de l'eau oxygénée par les ions iodure en présence d'acide sulfurique, transformation considérée comme totale.

L'équation de la réaction qui modélise la transformation d'oxydoréduction s'écrit :  $\text{H}_2\text{O}_{2(\text{aq})} + 2\text{I}^-_{(\text{aq})} + 2\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})} = \text{I}_{2(\text{aq})} + 4\text{H}_2\text{O}_{(\ell)}$

La solution de diiode formée étant colorée, la transformation est suivie par spectrophotométrie, méthode qui consiste à mesurer l'absorbance  $A$  de la solution, grandeur proportionnelle à la concentration en diiode.

#### I – Étude théorique de la réaction

1. Donner la définition d'un oxydant, et celle d'un réducteur. [0,125 pt]
2. Identifier, dans l'équation de la réaction, les deux couples d'oxydoréduction mis en jeu et écrire leurs demi-équations correspondantes. [0,25 pt]

#### II – Suivi de la réaction

À la date  $t = 0$  s, on mélange 20,0 mL d'une solution d'iodure de potassium de concentration  $0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  acidifiée avec de l'acide sulfurique en excès, 8,0 mL d'eau et 2,0 mL d'eau oxygénée à  $0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

On remplit une cuve spectrophotométrique, et on relève les valeurs de l'absorbance au cours du temps. On détermine alors, grâce à la loi de Beer-Lambert, la concentration  $[\text{I}_2]$  du diiode formé :

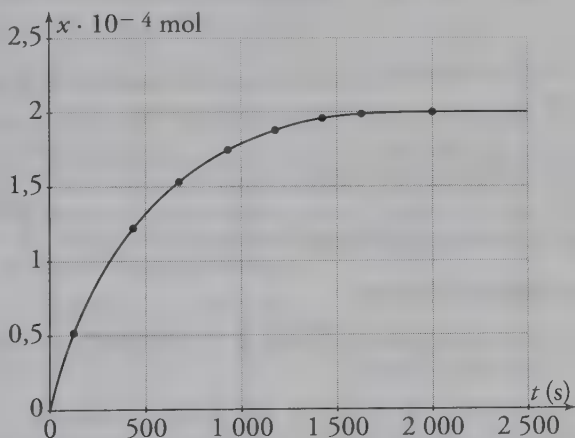


| $t$ (s)                           | 0    | 126  | 434  | 682  | 930  | 1 178 | 1 420 | $\infty$ |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|----------|
| $[I_2]$ (mmol · L <sup>-1</sup> ) | 0,00 | 1,74 | 4,06 | 5,16 | 5,84 | 6,26  | 6,53  |          |

1. Le mélange initial est-il stœchiométrique ? **[0,25 pt]**
2. Établir le tableau descriptif de l'évolution du système (tableau d'avancement de la transformation). **[0,5 pt]**
3. Établir la relation entre  $[I_2]$  et l'avancement  $x$  de la transformation. **[0,125 pt]**
4. Déterminer l'avancement maximal. En déduire la valeur théorique de la concentration en diiode formé lorsque la transformation est terminée. **[0,25 pt]**

### III – Exploitation des résultats

La courbe ci-après représente les variations de l'avancement  $x$  de la transformation en fonction du temps.



1. Donner la composition du mélange réactionnel pour  $t = 300$  s. **[0,25 pt]**
2. Comment varie la vitesse volumique de réaction ? Justifier. Quel facteur cinétique peut être responsable de cette variation ? **[0,5 pt]**
3. Donner la définition du temps de demi-réaction, puis le déterminer. **[0,25 pt]**

(Ministère) / 5 points

64

## SUIVI CONDUCTIMÉTRIQUE D'UNE TRANSFORMATION CHIMIQUE

- Molécule d'ester
- Conductance d'une solution
- Vitesse de réaction
- Temps de demi-réaction

### Calculatrice autorisée

Le but de cet exercice est d'étudier la cinétique de l'hydrolyse basique d'un ester E par suivi conductimétrique. À cette fin, on mélange rapidement dans un bécher une quantité  $n_1 = 1,0 \times 10^{-2}$  mol de soude et une quantité  $n_2$  d'ester E en excès à 25 °C. On note  $V_T$  le volume total du mélange. *Données* : Conductivités molaires ioniques de quelques ions à 25 °C :

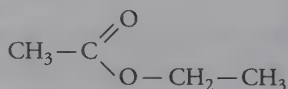
| ion                                                                                              | $\text{Na}^+_{\text{aq}}$ | $\text{HO}^-_{\text{aq}}$ | $\text{CH}_3\text{CO}^-_{2\text{aq}}$ |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| conductivité molaire ionique $\lambda_i$<br>en $\text{S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$ | $5,01 \times 10^{-2}$     | $1,99 \times 10^{-2}$     | $4,09 \times 10^{-3}$                 |

On négligera la contribution des ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  à la conductivité de la solution en raison de leur faible concentration.

On admettra que le volume  $V_T$  est suffisant pour pouvoir considérer la conductivité molaire ionique comme constante.

### I – La molécule d'ester

La formule semi-développée de l'ester E considéré est donnée ci-contre :



- Donner le nom de cet ester dans la nomenclature officielle. [0,25 pt]
- Sur la formule ci-dessus, identifier le groupe caractéristique de cette espèce chimique. [0,25 pt]

II – Écrire l'équation de la réaction associée à la transformation chimique suivie. [0,25 pt]

III – La conductance de la solution est mesurée au cours du temps. Les résultats sont rassemblés dans le tableau ci-dessous :

| $t$ (s) | 0    | 30   | 60   | 90   | 120  | 150  | au bout d'un temps très long |
|---------|------|------|------|------|------|------|------------------------------|
| G (ms)  | 46,2 | 18,6 | 12,4 | 12,3 | 11,5 | 10,8 | 10,7                         |

Pourquoi la conductance mesurée diminue-t-elle au cours de la transformation chimique ? [0,25 pt]

## IV – Étude de la conductance $G$ du mélange réactionnel

On appelle constante de cellule  $k$  le rapport de la conductance  $G$  et de la conductivité de la solution  $\sigma$ . On peut donc écrire la relation :  $G = k\sigma$ .

1. Donner l'expression de la conductance initiale  $G_0$  en fonction de  $k$ ,  $n_1$ ,  $V_T$  et des conductivités molaires ioniques  $\lambda_i$ . Trouver sa valeur dans le tableau. [0,5 pt]

2. On note  $x$  l'avancement de la réaction à la date  $t$ . Donner l'expression de la conductance  $G$  à la date  $t$  en fonction de  $x$ . [0,5 pt]

3. On rappelle que l'hydrolyse basique d'un ester peut être considérée comme une transformation chimique totale.

En déduire l'expression de la conductance  $G_f$  au bout d'un temps très long. Trouver sa valeur dans le tableau. [0,75 pt]

4. En utilisant les expressions de  $G_0$ ,  $G$  et  $G_f$ , établies plus haut,

montrer que : 
$$x = n_1 \frac{G - G_0}{G_f - G_0} .$$
 [0,5 pt]

## V – Étude de la vitesse de réaction

1. Calculer les valeurs de  $x$  aux dates indiquées dans le tableau. [0,5 pt]

2. Tracer la courbe représentant les variations de l'avancement  $x$  en fonction du temps. [0,5 pt]

3. À l'aide de la courbe tracée, décrire qualitativement la variation de la vitesse de réaction au cours du temps. [0,25 pt]

4. Définir le temps de demi-réaction  $t_{1/2}$ . [0,5 pt]

5. Déterminer graphiquement  $t_{1/2}$ . [0,5 pt]

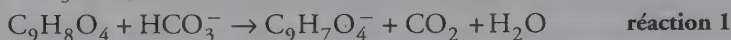
Antilles-Guyane, septembre 2002 / 5 points

65

## UNE RÉACTION DANS UN VERRE D'EAU (S U J E T P A R T I E L)

- Groupements caractéristiques
- Synthèse de l'aspirine
- Vitesse instantanée de formation d'un produit

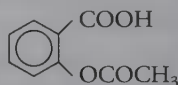
Un comprimé d'aspirine **effervescent** est mis dans un verre d'eau. Entre l'aspirine, principe actif du médicament, et l'ion hydrogénocarbonate  $\text{HCO}_3^-$ , se produit une réaction dont l'équation-bilan est :



Dans tout l'exercice elle sera considérée comme totale.

## I – Questions sur l'aspirine

L'aspirine est une molécule complexe, de formule semi-développée donnée ci-contre :



1. Quelles sont les fonctions présentes sur la molécule ?

[0,5 pt]

## 2. Synthèse de la molécule

Compléter l'équation de la réaction de synthèse de l'aspirine à partir d'anhydride acétique (éthanoïque) et d'acide salicylique, les produits de la réaction sont de l'aspirine et de l'acide éthanoïque.



## II – Simulation et suivi en continu de la réaction

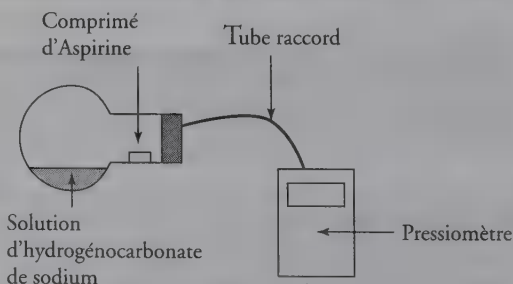
On envisage de reproduire la réaction 1 au laboratoire en mettant en contact un comprimé d'aspirine 500 non effervescent, qui contient donc 500 mg de principe actif et une solution d'hydrogénocarbonate de sodium.

1. La solution d'hydrogénocarbonate de sodium introduite dans le ballon a un volume  $V_1 = 10 \text{ mL}$  et une concentration  $C_1 = 0,5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . Vérifier que la solution permet la consommation totale de l'aspirine contenue dans un comprimé (la masse molaire de l'aspirine est  $M = 180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ).

[0,5 pt]

La réaction est suivie par une méthode physique : mesure de la pression à l'intérieur d'une enceinte étanche.

### Schéma de principe avant mise en contact des réactifs



- L'apparition de dioxyde de carbone, en supplément de l'air déjà présent, crée une surpression  $p_{\text{CO}_2}$  mesurée par le pressiomètre.
- Lorsque le ballon est placé verticalement, le comprimé tombe dans la solution et la réaction « démarre ».

### Informations théoriques :

La surpression  $p_{\text{CO}_2}$  vérifie l'équation :  $p_{\text{CO}_2} V = n_{\text{CO}_2} RT$  (1)

$p_{\text{CO}_2}$  : est exprimée en « Pascal » (Pa).

$V$  : correspond au volume de l'enceinte exprimé en  $\text{m}^3$ .

$n_{\text{CO}_2}$  : traduit le nombre de mole gazeuse de dioxyde de carbone, et s'exprime en mole.

$R$  est une constante de valeur  $8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

$T$  est la température en Kelvin, liée à la température exprimée en  $^{\circ}\text{C}$  par la relation :  $T(\text{K}) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273$ .

*Données expérimentales :*

Volume total de l'enceinte :  $300 \text{ mL} = 3,00 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ .

Température expérimentale :  $\theta = 26,0^{\circ}\text{C}$ .

2. Le suivi expérimental de la pression donne lieu à la courbe 1 ci-après.

L'expression littérale liant la pression  $p_{\text{CO}_2}$  et la quantité de matière  $n_{\text{CO}_2}$  est donnée par la relation (1) dans le tableau des informations théoriques.

Montrer alors que si  $p_{\text{CO}_2}$  est exprimé en Pascal on a sensiblement :

$$n_{\text{CO}_2} = 1,21 \cdot 10^{-7} p_{\text{CO}_2}$$

soit :  $n_{\text{CO}_2} = 1,21 \cdot 10^{-5} p_{\text{CO}_2}$  si on exprime la pression en hPa.

La courbe 2 donne l'évolution de la quantité de matière en dioxyde de carbone ( $n_{\text{CO}_2}$ ) en fonction du temps. **[0,5 pt]**

3. Définir et déterminer la vitesse instantanée (en  $\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ ) de formation du dioxyde de carbone à la date  $t_0$  ( $t = 0 \text{ s}$ ). **[0,75 pt]**

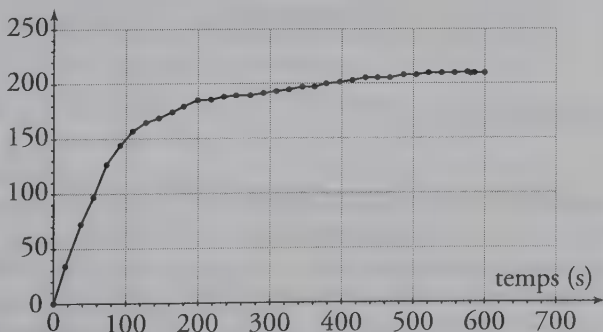
4. Peut-on estimer à partir de la courbe que la réaction est terminée ? Justifier votre réponse. **[0,5 pt]**

5. Déterminer la quantité de matière gazeuse formée au cours de la réaction. **[0,75 pt]**

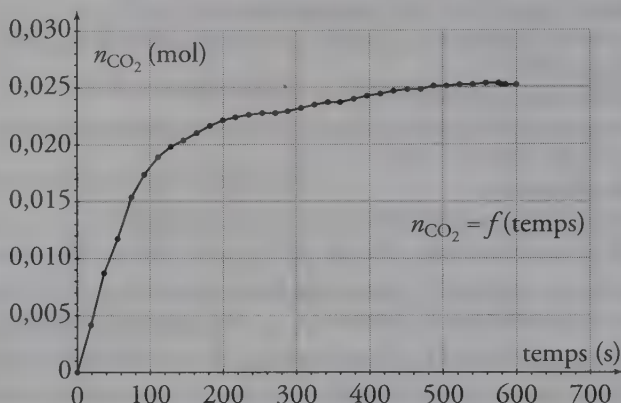
6. Établir la relation entre la quantité de dioxyde de carbone formée ( $n_{\text{CO}_2}$ ) et la quantité d'aspirine consommée ( $n_{\text{asp}}$ ). **[0,75 pt]**

7. En déduire la masse d'aspirine contenue dans le comprimé. Comparer à la valeur indiquée. **[0,5 pt]**

Courbe 1



Courbe 2 (à rendre avec la copie)



France métropolitaine, septembre 2002 / 5,5 points

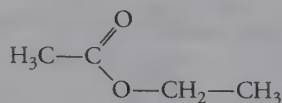
66

## ÉTUDE CINÉTIQUE D'UNE ESTÉRIFICATION

- Ester
- Caractéristiques d'une saponification
- Choix de verrerie
- Équivalence acido-basique
- Vitesse instantanée de disparition d'un réactif
- Influence de la température

## Calculatrice NON autorisée

L'éthanoate d'éthyle (ou acétate d'éthyle) est, à 20 °C, un liquide de formule semi-développée donnée ci-contre :



Certains organismes de sécurité indiquent qu'il y aurait incompatibilité entre l'éthanoate d'éthyle et la soude caustique. Ils font en fait référence à

la possibilité d'une réaction de saponification dont on se propose d'étudier ici la cinétique chimique.

On dispose d'une part d'hydroxyde de sodium (ou soude), en solution aqueuse, et d'autre part, d'éthanoate d'éthyle.

À l'instant de date  $t_0 = 0$  s, on met en présence  $1,0 \times 10^{-2}$  mol de chacun des réactifs précédents. Le mélange est placé dans un bain thermostaté qui maintient la température à  $20^\circ\text{C}$ .

On prélève, à différentes dates, un volume  $V = 2,0$  mL du mélange. Après avoir ajouté une grande quantité d'eau glacée, on dose les ions hydroxyde restants par une solution d'acide chlorhydrique de concentration  $C_A = 5,0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  en présence de phénolphthaléine. Dans ces conditions, au moment du virage de cet indicateur, seuls les ions hydroxyde ont réagi avec l'acide chlorhydrique.

*Donnée* : zone de virage de la phénolphthaléine :



**I – 1.** Recopier la formule semi-développée de l'éthanoate d'éthyle, puis entourer et nommer le groupe « caractéristique » (ou fonctionnel) de cette molécule. **[0,5 pt]**

**2.** Écrire l'équation-bilan de la réaction de saponification de l'éthanoate d'éthyle. **[0,5 pt]**

**3.** Nommer les produits obtenus. **[0,5 pt]**

**4.** Donner les caractéristiques de cette réaction. **[0,25 pt]**

**II – 1.** Nommer la verrerie la plus adaptée pour prélever le volume  $V = 2,0$  mL du mélange. **[0,25 pt]**

**2.** Pourquoi ajoute-t-on une grande quantité d'eau glacée avant de réaliser le dosage des ions hydroxyde restants dans le volume  $V$  prélevé ? **[0,25 pt]**

**3.** Écrire l'équation de la réaction qui sert de support au dosage. **[0,25 pt]**

**4.** Quel est le changement de teinte observé lors du dosage ? **[0,25 pt]**

**5.** Justifier que l'addition d'eau ne modifie pas le résultat du dosage. **[0,25 pt]**

**6.** Détermination de la quantité  $n_E$  d'éthanoate d'éthyle restant dans un prélèvement de volume  $V = 2,0$  mL. L'absence de résolution de cette question n'empêche pas de traiter les questions 3 et 4.

**a.** Établir l'expression donnant  $n_E$  en fonction de la concentration  $C_A$  et du volume  $V_{A(E)}$  de la solution d'acide chlorhydrique versée à l'équivalence du dosage. **[0,5 pt]**



b. Dans le prélèvement réalisé à l'instant de date  $t_1 = 7$  min, le volume d'acide chlorhydrique versé pour atteindre l'équivalence du dosage est  $V_{A(E)} = 6,0$  mL. Calculer la valeur numérique de la quantité  $n_E$  d'éthanoate d'éthyle restant à cet instant. **[0,25 pt]**

**III** – Les quantités  $n_E$  d'éthanoate d'éthyle restant aux différents instants de date  $t$ , dans un prélèvement de 2,0 mL, sont données dans le tableau ci-dessous. On rappelle que  $1 \mu\text{mol} = 10^{-6} \text{ mol}$ .

| $t$ (en min)                | 0   | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 8  | 11 | 14 | 17 | 21 |
|-----------------------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $n_E$ (en $\mu\text{mol}$ ) | 100 | 80 | 65 | 55 | 48 | 42 | 27 | 19 | 14 | 12 | 10 |

Tracer la courbe donnant  $n_E$  en fonction de la durée  $t$ . **[0,5 pt]**

Échelles : – en abscisses 1 cm pour 1 min ;  
– en ordonnées 1 cm pour 10  $\mu\text{mol}$ .

**IV** – On définit la vitesse instantanée de disparition de l'éthanoate d'éthyle à l'instant de date  $t$  par  $v_E(t) = -\left(\frac{dn_E}{dt}\right)_t$  : cette vitesse est égale à la vitesse instantanée de réaction  $v(t)$ .

1. Exposer succinctement la méthode permettant de déterminer la vitesse instantanée de réaction à l'instant de date  $t$  à partir de la courbe tracée. **[0,25 pt]**

2. Comment cette vitesse évolue-t-elle au cours du temps ? Justifier graphiquement sans calcul. Pourquoi subit-elle une telle évolution ? **[0,5 pt]**

3. Parmi les valeurs suivantes :

$1 \mu\text{mol} \cdot \text{min}^{-1}$  ;  $3 \mu\text{mol} \cdot \text{min}^{-1}$  ;  $7 \mu\text{mol} \cdot \text{min}^{-1}$  ;  $12 \mu\text{mol} \cdot \text{min}^{-1}$  ;  
quelle est celle qui correspond à la valeur de la vitesse de réaction à l'instant de date  $t_2 = 4$  min ? **[0,25 pt]**

4. Si on réalisait la même expérience à une température égale à  $45^\circ\text{C}$ , tracer l'allure de la courbe donnant  $n_E$  en fonction de la durée  $t$  sur le même graphique que celui de la question 3. Justifier ce tracé. **[0,25 pt]**

Amérique du Sud, novembre 2002 / 5 points

67

**ÉTUDE CINÉTIQUE D'UNE  
SAPONIFICATION**

- Saponification
- Sécurité au laboratoire
- Choix de verrerie
- Phénomène de trempe
- Vitesse de réaction

**Calculatrice autorisée***Données :*

Masses molaires atomiques des éléments suivants : carbone :  $M_C = 12,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ; hydrogène :  $M_H = 1,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ; oxygène :  $M_O = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

Masse volumique de l'ester E :  $\rho_E = 0,880 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ .

Masse molaire de l'ester E :  $M_E = 116 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

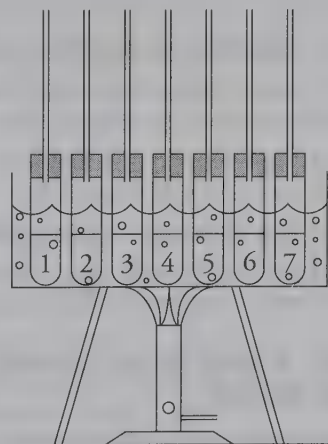
Pauline et Nicolas, élèves de terminale S, étudient expérimentalement la saponification d'un ester inconnu E au cours d'une séance de TP. Le but est de tracer la courbe donnant la concentration de l'alcool formé au cours du temps.

**> MODE OPÉRATOIRE**

1. Les élèves mesurent un volume  $V_E = 20,0 \text{ mL}$  de l'ester E, qu'ils versent dans une fiole jaugée de 100 mL ; puis ils placent la fiole dans un petit cristallisoir contenant de la glace pilée. Ensuite, les deux élèves complètent jusqu'au trait de jauge avec une solution d'hydroxyde de sodium de concentration  $C_B = 2,5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

On considérera la quantité de soude ajoutée comme suffisante pour que ce réactif soit en excès.

2. Après avoir bien agité le mélange des deux réactifs, ils en prélèvent, à huit reprises, un

**Figure 1**

volume  $V_0 = 10,0$  mL, qu'ils versent dans huit tubes à essais, numérotés de zéro à sept. Le tube zéro est maintenu dans la glace ; les tubes un à sept, après avoir reçu un réfrigérant à air, sont placés simultanément dans un bain-marie bouillant, à l'instant  $t = 0$ . Le chronomètre est déclenché à cet instant.

Le montage obtenu est représenté figure 1.

3. À des instants  $t$  convenablement choisis (voir le tableau, figure 2), les tubes sont sortis un à un du bain-marie et leur contenu est versé dans un bécher contenant 100 mL d'eau glacée. On ajoute les eaux de rinçage.

figure 2

| Numéro du tube                                         | 0    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    |
|--------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Date $t$ (min)                                         | 0    | 3    | 7    | 12   | 20   | 30   | 40   | 50   |
| $[\text{HO}^-]$ ( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )   | 2,00 | 1,65 | 1,27 | 0,95 | 0,66 | 0,50 | 0,48 | 0,48 |
| $[\text{Alcool}]$ ( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) |      |      |      |      |      |      |      |      |

Puis Pauline et Nicolas procèdent au dosage des ions hydroxyde restants à l'aide d'une solution d'acide chlorhydrique en présence d'un indicateur coloré judicieusement choisi. On admettra que le protocole de dosage ainsi choisi permet de doser les ions hydroxyde sans être perturbé par la présence des ions éthanoate.

Ils procèdent de même avec le tube zéro. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau, donné figure 2, à compléter ultérieurement.

## > QUESTIONS

I – L'analyse des produits formés montre qu'il s'agit d'ions éthanoate (ou acétate) et de butan-1-ol ; écrire l'équation de la réaction en utilisant les formules semi-développées et nommer l'ester E. [0,5 pt]

## II – Questions sur le mode opératoire

1. Quelles précautions particulières faut-il prendre, à l'étape 1, dans la manipulation de la solution d'hydroxyde de sodium ? [0,5 pt]

2. Quelle verrerie conseillez-vous à Nicolas et Pauline pour mesurer le volume  $V_E$  lors de l'étape 1 ? [0,25 pt]

3. Quelle est la concentration initiale de l'ester E dans chaque tube ? [0,5 pt]

4. Le refroidissement rapide de chaque tube avant le dosage porte le nom de *trempe* : quel est son but ? [0,25 pt]

## III – Étude de la concentration en alcool en fonction du temps

On montre que la concentration de l'alcool dans chaque tube, à l'instant  $t$ , est donnée par :  $[\text{Alcool}]_{(t)} = [\text{HO}^-]_{(0)} - [\text{HO}^-]_{(t)}$ .

1. Compléter le tableau donné figure 2, à l'aide de cette relation. [0,5 pt]
  2. Tracer la courbe donnant la concentration de l'alcool en fonction du temps. [1 pt]
- Échelle : 1 cm pour 2 min ; 1 cm pour  $0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

#### IV – Exploitation du graphe

On fera le tracé le plus précis possible à l'aide de la règle graduée.

1. Déterminer la vitesse de cette réaction à la date  $t = 10$  minutes (en  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ). [0,5 pt]
2. La réaction de saponification est-elle terminée à la date  $t = 40$  minutes ? Justifier. [0,5 pt]
3. Montrer qu'elle est totale. [0,25 pt]

V – Citer une application de la réaction de saponification. [0,25 pt]

Inde, avril 2002 / 4 points

68

### L'EAU DE JAVEL. PRÉCAUTIONS D'EMPLOI. STABILITÉ

- Degré chlorométrique de l'eau de Javel
- Vitesse instantanée de réaction
- Facteurs cinétiques
- Précautions d'emploi

Calculatrice autorisée

#### > DOCUMENT

L'eau de Javel est un produit courant très utilisé pour son pouvoir désinfectant. Elle peut être obtenue en dissolvant du dichlore gazeux dans une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium selon l'équation :



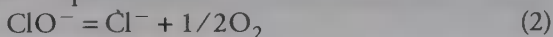
Lors de la préparation de l'eau de Javel, les ions  $\text{HO}^-$  sont introduits en excès. Le pH de l'eau de Javel est compris entre 11 et 12.

Les propriétés de l'eau de Javel sont dues au caractère oxydant des ions hypochlorites  $\text{ClO}^-$ . Ces ions peuvent donner lieu à diverses réactions,

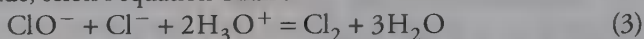
dans lesquelles interviennent différents facteurs : pH, concentrations, température, catalyseurs (ions métalliques), rayonnements (UV).

En particulier, les ions hypochlorites réagissent en présence d'eau :

- en milieu basique, selon l'équation-bilan :



- en milieu acide, selon l'équation-bilan :



### Quelques recommandations lues sur les emballages d'eau de Javel :

- Conserver au frais, à l'abri du soleil et de la lumière.
- Ne pas utiliser en combinaison avec d'autres produits ; au contact d'un acide, dégage un gaz toxique.

### Concentration d'une eau de Javel :

Elle est souvent définie par le degré chlorométrique (°chl). Il correspond au volume (exprimé en litres) de dichlore gazeux, mesuré dans les conditions normales de température et de pression, qu'il faudrait utiliser pour fabriquer 1 litre de cette eau de Javel selon l'équation (1).

Dans ces conditions, le volume molaire est :  $V_m = 22,4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

| conditionnement | en flacons (1 ou 2 L) | en berlingots (concentré) |
|-----------------|-----------------------|---------------------------|
| °chl            | 12°                   | 48°                       |

La figure 1 ci-après précise l'évolution de la réaction (2) à différentes températures.

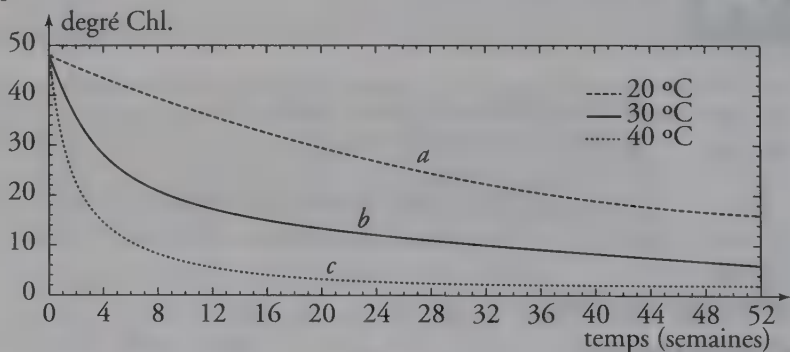


Figure 1

## > QUESTIONS

Les réponses qualitatives doivent être justifiées.

1. Dédurre de la définition du degré chlorométrique la concentration en ions hypochlorite  $[\text{ClO}^-]$  dans une eau de Javel à 48 °chl. [0,75 pt]

2. La figure 2, ci-après, présente l'évolution au cours du temps de la concentration en ions hypochlorite  $\text{ClO}^-$  pour une eau de Javel en berlingot conservée à 30 °C.

Définir la vitesse instantanée de cette réaction. La calculer en  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{sem}^{-1}$  à la date  $t = 4$  semaines après sa préparation. [1,5 pt]

3. L'examen de la figure 1 met en évidence l'influence de deux facteurs cinétiques.

a. Quels sont ces deux facteurs cinétiques ? Indiquer explicitement les comparaisons effectuées. [0,75 pt]

b. La recommandation « conserver au frais » vous semble-t-elle justifiée ? [0,25 pt]

c. Aucun délai d'utilisation ne figure sur les flacons d'eau de Javel contrairement aux berlingots. Justifier cette différence. [0,25 pt]

4. Quel est le gaz toxique dont il est question dans les recommandations ? [0,25 pt]

5. L'eau de Javel est commercialisée dans des récipients opaques. Pourquoi ? [0,25 pt]

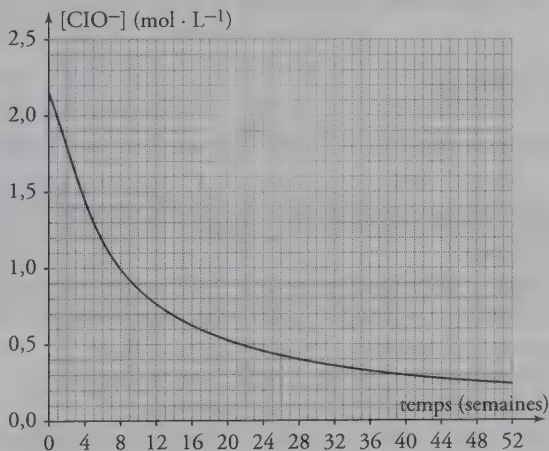


Figure 2. Eau de Javel d'un berlingot conservée à 30 °C

## LA TRANSFORMATION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE EST-ELLE TOUJOURS TOTALE ?

Antilles-Guyane, septembre 2002 / 4 points

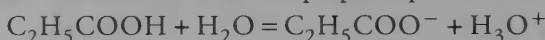
69

### SOLUTION AQUEUSE D'ACIDE PROPANOÏQUE (SUJET PARTIEL)

- Acide en solution aqueuse
- Couple acide-base conjugués
- Dilution
- pH d'une solution aqueuse
- Équivalence acido-basique

#### Calculatrice autorisée

I – L'équation de la réaction de l'acide propanoïque avec l'eau s'écrit :



Le  $pK_A$  associé à l'acide propanoïque vaut 4,87 (à 25 °C).

1. Un élève affirme :

« Les seules espèces chimiques présentes (quelle que soit leur concentration) dans une solution aqueuse d'acide propanoïque sont :

- pour les espèces moléculaires :  $\text{H}_2\text{O}$  et  $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$
- pour les espèces ioniques :  $\text{C}_2\text{H}_5\text{COO}^-$  et  $\text{H}_3\text{O}^+$  ».

Son affirmation est-elle fausse ? Justifier la réponse.

[0,5 pt]

2. Les espèces  $\text{C}_2\text{H}_5\text{COO}^-$  et  $\text{H}_3\text{O}^+$  forment-elles un couple acide-base ? Justifier la réponse.

[0,25 pt]

II – On dispose d'une solution aqueuse d'acide propanoïque ( $S_1$ ) de concentration  $C_1 = 1,0 \cdot 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

À partir d'un volume  $V_1$  de ( $S_1$ ) on prépare un volume  $V_2 = 100 \text{ mL}$  de solution aqueuse d'acide propanoïque ( $S_2$ ) de concentration  $C_2 = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

1. Comment se nomme la manipulation effectuée pour préparer ( $S_2$ ) ?

[0,25 pt]

2. Calculer la valeur du volume  $V_1$  et décrire brièvement les diverses étapes de la préparation de ( $S_2$ ). On précisera la verrerie utilisée mais on ne fera pas de schémas.

[0,5 pt]

3. Les pH des solutions ( $S_1$ ) et ( $S_2$ ) étant désignés respectivement par



$\text{pH}_1$  et  $\text{pH}_2$ , réfuter parmi les affirmations suivantes celle(s) qui est (sont) fausse(s) en argumentant :

(a) :  $\text{pH}_2 > \text{pH}_1$  ; (b) :  $\text{pH}_1 = -\log c_1$  ; (c) :  $\text{pH}_2 = \text{pH}_1 + 2$  ; (d) :  $\text{pH}_2 < 7$  à  $25^\circ\text{C}$ . [1 pt]

**III –** La réaction qui se produit entre une solution aqueuse d'acide propañoïque et une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium (soude) peut être utilisée à des fins de dosage.

1. Quelle(s) condition(s) une réaction de dosage doit-elle remplir ? [0,25 pt]

2. Écrire l'équation de la réaction entre les deux solutions. [0,25 pt]

3. Calculer le volume  $V$  d'une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium de concentration  $C = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  qu'il faut ajouter à un volume  $V' = 25 \text{ mL}$  de solution ( $S_2$ ) pour que les réactifs soient mélangés dans les proportions stœchiométriques. [0,5 pt]

4. Le mélange de la question précédente désigné par mélange (1), est-il acide, basique ou neutre ? Justifier la réponse. [0,25 pt]

5. Au mélange (1) on ajoute un volume  $V'' = 25 \text{ mL}$  de solution ( $S_2$ ). On obtient un mélange (2). Que vaut le pH de ce mélange ? [0,25 pt]

Polynésie, septembre 2002 / 4 points

70

## DOSAGE D'UNE SOLUTION COMMERCIALE

- Acide en solution aqueuse
- Équivalence acido-basique
- Dilution
- Utilisation d'indicateurs colorés

### Calculatrice autorisée

Données :

Masses molaires atomiques :  $M_{(\text{H})} = 1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ;  $M_{(\text{Br})} = 80 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ;  
 $M_{(\text{Na})} = 23 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ;  $M_{(\text{O})} = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

**Verrerie et matériel disponibles :**

- pipettes jaugées de 10 et 20 mL ;
- burette graduée de 25 mL ;
- fioles jaugées de 50, 100, 200, 500 et 1 000 mL ;

- pipettes simples ;
- ballons de 250 et 500 mL ;
- béchers de 25, 50 et 100 mL ;
- agitateur magnétique et barreau aimanté.

Au cours d'une séance de travaux pratiques de chimie, le professeur propose à ses élèves de doser une solution commerciale S d'acide bromhydrique. Cette solution résulte de la dissolution de bromure d'hydrogène (HBr) dans l'eau. L'acide bromhydrique est un acide totalement dissocié en solution aqueuse.

L'étiquette de la solution S indique : pourcentage en masse 46 %, densité  $d = 1,47$ .

**I –** Écrire l'équation de la réaction du bromure d'hydrogène avec l'eau. **[0,25 pt]**

**II –** Vérifier que la concentration molaire  $c$  de la solution S est égale à  $8,35 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . **[0,25 pt]**

**III –** Pour vérifier cette concentration, on envisage d'utiliser une solution d'hydroxyde de sodium de concentration  $c_B = 0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

Avant de laisser les élèves faire leur dosage, le professeur leur propose de prévoir le volume de solution titrée à verser pour atteindre la fin du dosage.

1. Quelle est l'équation de la réaction mise en jeu dans ce dosage ? **[0,25 pt]**
2. Qu'appelle-t-on équivalence dans un dosage acide-base ? **[0,25 pt]**
3. Quel est le volume  $V_{\text{BE}0}$  de solution d'hydroxyde de sodium nécessaire pour atteindre cette équivalence si le volume  $V_A$  de solution S dosée est de 20,0 mL ?

Commenter le résultat compte tenu du matériel disponible. **[0,5 pt]**

**IV –** Le professeur demande aux élèves de diluer 100 fois la solution S et de préparer une solution S' avec la verrerie disponible. Décrire le mode opératoire de cette dilution en précisant la verrerie utilisée. **[0,5 pt]**

**V –** Chaque groupe ayant préparé cette solution S', de concentration molaire  $c'$ , ils vont faire leur dosage en parallèle. Ils prélèvent chacun  $V'_A = 20,0 \text{ mL}$  de leur solution S' qu'ils dosent avec la même solution d'hydroxyde de sodium en présence d'un indicateur coloré.

1. Quel est l'indicateur coloré, parmi ceux qui sont proposés en fin de problème, le plus approprié pour ce dosage ? Justifier votre réponse. **[0,5 pt]**
2. Un groupe d'élèves mesure à l'équivalence un volume de solution d'hydroxyde de sodium  $V_{\text{BE}1}$  de 16,7 mL. Quelle valeur va-t-il trouver pour la concentration molaire de S' puis pour celle de S ? Le résultat est-il en accord avec celui de la question 2. ? **[0,5 pt]**
3. Un second groupe d'élèves mesure un volume  $V_{\text{BE}2}$  à l'équivalence égal

à 17,1 mL. Quelle valeur va-t-il trouver pour la concentration de  $S'$  puis pour celle de  $S$  ? [0,5 pt]

4. Comparant cette valeur avec la valeur de la question 2., ce deuxième groupe se dit qu'il a dû commettre une erreur de manipulation. Parmi les deux erreurs possibles présentées ci-dessous, quelle est celle qui pourrait expliquer l'écart entre la valeur prévue et la valeur expérimentale :

- a. lors du prélèvement des 20,0 mL de  $S'$ , l'élève du second groupe n'a pas attendu que tout le liquide de la pipette ait été évacué ?
- b. resté assis pendant la manipulation, l'élève chargé de la burette a relevé un volume de base inférieur à la valeur à l'équivalence ? Justifier. [0,5 pt]

| Indicateurs colorés | Zone de virage (pH) |
|---------------------|---------------------|
| Hélianthine         | 3,2 – 4,4           |
| Rouge de méthyle    | 4,4 – 6,2           |
| Bleu de bromothymol | 6,0 – 7,6           |
| Phénolphthaléine    | 8,2 – 9,8           |

Sujet complémentaire / 5 points

71

## DILUTION DES SOLUTIONS ACIDES

- Concentrations molaires
- Influence de la dilution sur le pH
- Différences entre acides lors de dilutions

### Calculatrice autorisée

1. Soit une solution ( $S_1$ ) d'acide chlorhydrique de  $\text{pH} = 3,4$  obtenue en dissolvant du chlorure d'hydrogène dans l'eau.

- a. Écrire l'équation de cette réaction de dissolution. [0,25 pt]
- b. Calculer la quantité  $n_1$  d'ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  présents dans un volume  $V = 1,0$  L de cette solution ( $S_1$ ). [0,5 pt]

2. Soit une solution ( $S_2$ ) d'acide éthanóïque de  $\text{pH} = 3,4$  obtenue en dissolvant  $1,0 \cdot 10^{-2}$  mol d'acide éthanóïque dans un volume  $V = 1,0$  L d'eau. Soit  $C_2$  la concentration molaire de cette solution.

- a. Calculer la quantité  $n_2$  d'ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  présents dans un volume  $V = 1,0$  L de cette solution ( $S_2$ ). [0,5 pt]
- b. Quel est le taux d'avancement final lors de cette réaction de dissolution ? [1 pt]

3. On dilue d'un facteur 10 la solution ( $S_2$ ). Après dilution on a une solution ( $S'_2$ ) de  $\text{pH} = 3,4$ .

a. Quel est le taux d'avancement final dans la solution ( $S'_2$ ) ? [0,75 pt]

b. Calculer la quantité  $n'_2$  d'ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  présents dans un volume  $V = 1,0 \text{ L}$  de cette solution ( $S'_2$ ). [0,5 pt]

c. Comparer  $n_2$  avec  $C_2$  et  $n'_2$  avec  $C'_2$ ,  $C'_2$  étant la concentration molaire de ( $S'_2$ ). En déduire l'effet de la dilution pour une solution d'acide éthanoïque. [1 pt]

d. Si on réalise la même dilution avec la solution ( $S_1$ ), que vaut le  $\text{pH}$  de la solution diluée ( $S'_1$ ) obtenue ? Commenter le résultat obtenu. [0,5 pt]

Inde, avril 2002 / 5 points

72

## COUPLE ACIDE BENZOÏQUE / ION BENZOATE

- Domaines de prédominance
- Dilution d'une solution
- Solubilité de l'acide benzoïque
- Dosage d'un acide par une base

### Calculatrice autorisée

Données :

• **Définition** : la solubilité  $s$  dans l'eau d'une substance à la température  $t$  est la masse maximale de substance que l'on peut dissoudre dans un litre d'eau à cette température  $t$ . Elle s'exprime ici en  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ .

• **Acide benzoïque** :  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$  solide blanc d'aspect soyeux ; monoacide faible peu soluble dans l'eau ; masse molaire :  $122 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ; solubilité  $s_1$  dans l'eau à  $25^\circ\text{C}$  inférieure à  $3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  ; conservateur alimentaire utilisé dans les boissons rafraîchissantes sans alcool (code E 210).

• **Benzoate de sodium** :  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COONa}$  solide ionique blanc ; masse molaire :  $144 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ; solubilité  $s_2$  dans l'eau à  $25^\circ\text{C}$  environ  $650 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ .

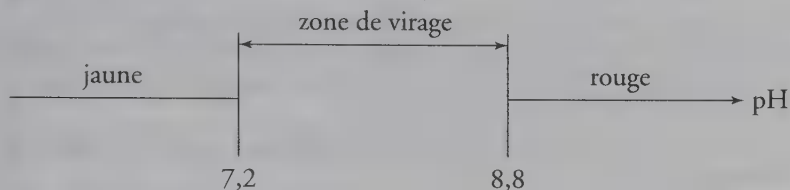
• **Valeur des  $\text{pK}_a$  à  $25^\circ\text{C}$  (température des expériences) :**

$\text{H}_2\text{O}/\text{HO}^-$  : 14,0

$\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2\text{O}$  : 0,0

$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}/\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$  : 4,2

• **Zone de virage du rouge de crésol :**



*Les trois parties sont indépendantes.*

## I – Première partie

1. Écrire l'équation-bilan de la réaction entre l'acide benzoïque et l'eau. [0,25 pt]
2. Donner, dans le cas général, l'expression de la constante d'acidité ; en déduire les domaines de prédominance dans le cas de l'acide benzoïque et de sa base conjuguée ; les représenter sur une échelle de pH. [0,5 pt]
3. Sur l'étiquette d'une bouteille de soda, on note la présence du conservateur E 210. On mesure le pH pour la boisson :  $\text{pH} = 3,5$ . En déduire le rapport  $\frac{[\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}]}{[\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-]}$  dans celle-ci. [0,5 pt]

## II – Deuxième partie

1. On met à disposition la verrerie suivante :
  - béchers de 50, 100 et 250 mL ;
  - éprouvettes graduées de 50, 100 et 200 mL ;
  - pipettes jaugées de 5, 10 et 20 mL ;
  - fioles jaugées de 50, 100 et 200 mL.
 On se propose de préparer une solution S de benzoate de sodium de concentration  $C = 0,200 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  à partir d'une solution  $S_0$  de benzoate de sodium, de concentration  $C_0 = 0,500 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .  
 Comment procéder ? Nommer et dessiner la verrerie utilisée. [0,75 pt]
2. À 10 mL de la solution S on ajoute un peu d'acide chlorhydrique concentré. On note l'apparition d'un précipité blanc.
  - a. Écrire l'équation-bilan de la réaction mise en jeu.  
 Calculer la constante de réaction et conclure. [0,5 pt]
  - b. Préciser le nom de ce précipité et justifier qualitativement sa formation. [0,5 pt]

### III – Troisième partie

On se propose de déterminer la solubilité de l'acide benzoïque à 25 °C. On pèse environ 0,4 g d'acide benzoïque et on l'introduit dans un bécher contenant environ 100 mL d'eau distillée. Après quelques minutes d'agitation, de petits grains restent en suspension.

Une filtration permet d'obtenir la solution saturée en acide benzoïque de concentration  $C_A$ .

On introduit dans un erlenmeyer  $V_A = 10,0$  mL de cette solution ; on y ajoute quelques gouttes de rouge de crésol et on dose par une solution d'hydroxyde de sodium (soude) de concentration  $C_B = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . Le rouge de crésol change de couleur pour un volume de soude versé de 19,6 mL.

1. Pourquoi reste-t-il des « grains en suspension » dans le mélange préparé avant sa filtration ? [0,25 pt]
2. Faire un schéma annoté du dispositif expérimental utilisé lors du dosage. [0,5 pt]
3. Préciser le changement de couleur observé. [0,25 pt]
4. Écrire l'équation-bilan de la réaction de dosage. [0,25 pt]
5. Définir l'équivalence de cette réaction et en déduire la concentration  $C_A$  de la solution d'acide benzoïque. [0,5 pt]
6. Calculer la valeur de la solubilité  $s$  de l'acide benzoïque. [0,25 pt]

(Ministère) / 4 points

# 73

## DÉTERMINATION D'UNE CONSTANTE D'ACIDITÉ, PAR CONDUCTIMÉTRIE

- Conductance d'une solution
- Quotient de réaction  $Q_r$
- Taux d'avancement
- Constante d'acidité  $K_A$

### Calculatrice autorisée

On souhaite déterminer la constante d'acidité du couple acide acétique/ion acétate à l'aide d'une mesure conductimétrique.

On appelle constante de cellule  $k$  le rapport de la conductance  $G$  et de la conductivité de la solution  $\sigma$ . On peut donc écrire la relation :  $G = k\sigma$ .

Dans les conditions de l'expérience, la constante de cellule vaut  $k = 2,5 \times 10^{-3} \text{ m}$ .

Dans un bécher, on verse un volume  $V_0 = 100 \text{ mL}$  d'une solution  $S_0$  d'acide acétique, de concentration molaire apportée  $c_0 = 1,00 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . On immerge la cellule d'un conductimètre. Celui-ci mesure une conductance de valeur  $G = 11,5 \text{ } \mu\text{S}$ .

On note  $\lambda$  la conductivité molaire ionique de l'ion oxonium  $\text{H}_3\text{O}^+$  et  $\lambda'$  la conductivité molaire ionique de l'ion acétate  $\text{CH}_3\text{CO}_2^-$ .

*Données :*

On rappelle l'expression de la conductivité  $\sigma$  en fonction des concentrations effectives des espèces ioniques  $X_i$  en solution :

$$\sigma = \sum \lambda_i [X_i].$$

Conductivités molaires ioniques à  $25^\circ\text{C}$  (conditions de l'expérience) :

$$\lambda = 3,5 \times 10^{-2} \text{ S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1} ; \quad \lambda' = 4,1 \times 10^{-3} \text{ S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}.$$

Dans cette solution, la faible concentration des ions  $\text{HO}^-$  rend négligeable leur participation à la conduction devant celle des autres ions.

**1.** La conductance de la solution est-elle changée si on modifie l'un des paramètres suivants en gardant les autres identiques : **[0,5 pt]**

- a. la concentration apportée  $c_0$  ;
- b. le volume  $V_0$  de la solution ;
- c. la température de la solution.

Pour chacun des paramètres, justifier la réponse.

**2.** Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation entre l'acide acétique et l'eau. **[0,25 pt]**

**3.** Donner l'expression du quotient de réaction à l'équilibre  $Q_{r,\text{eq}}$  associé à l'équation précédente et en déduire une relation entre l'avancement final  $Q_{r,\text{eq}}$ ,  $x_{\text{final}}$ ,  $c_0$  et  $V_0$ . **[0,75 pt]**

**4.** Donner l'expression de  $G$ , conductance de la solution et en déduire une relation entre  $G$  et l'avancement final  $x_{\text{final}}$ . Calculer la valeur de  $x_{\text{final}}$  en mol. **[1 pt]**

**5.** Calculer le taux d'avancement final. La transformation peut-elle être considérée comme totale ? **[0,5 pt]**

**6. Constante d'acidité**

a. Calculer  $Q_{r,\text{eq}}$ . **[0,25 pt]**

b. En déduire la constante d'acidité  $K_A$  et le  $pK_A$  du couple acide acétique/ion acétate. **[0,5 pt]**

c. La valeur de  $Q_{r,\text{eq}}$  est-elle modifiée si on utilise une solution plus diluée ? Justifier. **[0,25 pt]**



**74****RÉACTIONS ACIDO-BASIQUES**

- Indicateur coloré
- Dosage conductimétrique
- Dosage pH-métrie
- Concentration d'une solution acide
- Constante d'acidité

**Calculatrice autorisée****I – Identification d'un indicateur coloré**

On dispose d'un flacon d'indicateur coloré avec comme seule indication sa concentration molaire :

$$C_0 = 2,90 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

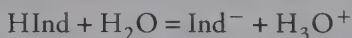
On mesure son pH : 4,18.

On en déduit la concentration molaire en ions oxonium  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 6,6 \cdot 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

Le couple acide/base présent dans cet indicateur coloré sera noté  $\text{HInd}/\text{Ind}^-$ .

La solution d'indicateur coloré a été préparée à partir de la forme acide de l'indicateur :  $\text{HInd}$ .

L'équation de la réaction entre  $\text{HInd}$  et l'eau est :



**1.** En considérant un volume  $V = 100 \text{ mL}$  de solution d'indicateur, déterminer le taux d'avancement final de la réaction de l'acide  $\text{HInd}$  avec l'eau. Cet acide est-il totalement dissocié dans l'eau ? Justifier votre réponse.

**[0,625 pt]**

**2.** Donner l'expression littérale de la constante d'acidité  $K_A$  de la réaction de l'acide  $\text{HInd}$  sur l'eau.

**[0,25 pt]**

**3.** Les concentrations à l'équilibre permettent de calculer la constante d'acidité de la réaction :

$$K_A = 1,9 \cdot 10^{-5}.$$

Sachant que  $\text{p}K_A = -\log K_A$ , calculer le  $\text{p}K_A$  du couple  $\text{HInd}/\text{Ind}^-$  et identifier l'indicateur à l'aide des données du tableau ci-après.

**[0,25 pt]**

| Indicateur          | Couleur acide | Zone de virage | Couleur basique | $pK_A$ |
|---------------------|---------------|----------------|-----------------|--------|
| Hélianthine         | Jaune orangé  | 3,1 – 4,4      | rouge           | 3,7    |
| Vert de Bromocrésol | jaune         | 3,8 – 5,4      | bleu            | 4,7    |
| Bleu de Bromothymol | jaune         | 6,0 – 7,6      | bleu            | 7,0    |
| Phénolphtaléine     | incolore      | 8,2 – 10,0     | fuschsia        | 9,4    |

## II – Dosage d'une solution d'acide chlorhydrique concentrée

Dans le laboratoire d'un lycée, on dispose d'un flacon d'une solution d'acide chlorhydrique concentrée où est notée sur l'étiquette l'indication suivante : 33 % minimum en masse d'acide chlorhydrique. On appellera cette solution  $S_0$ . On veut connaître la concentration molaire  $C_0$  de cette solution.

### Première étape :

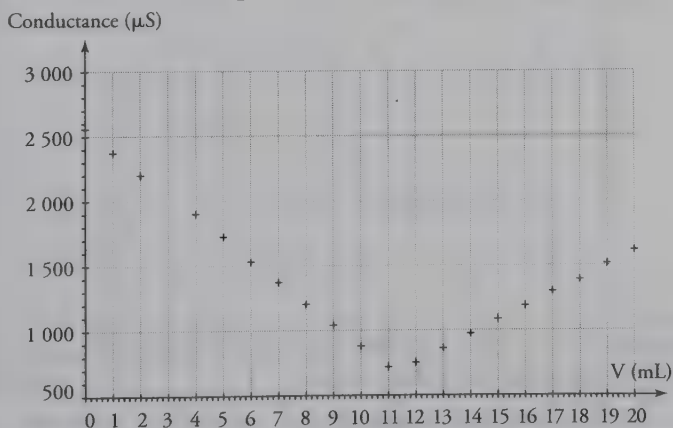
On dilue 1 000 fois la solution  $S_0$ . On obtient alors une solution  $S_1$  de concentration  $C_1$ .

### Deuxième étape :

On prélève précisément un volume  $V_1 = 100,0$  mL de solution  $S_1$ .

On dose par conductimétrie la solution  $S_1$  par une solution titrante d'hydroxyde de sodium de concentration  $C_B = 1,00 \cdot 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . La représentation graphique de la conductance de la solution en fonction du volume  $V$  de solution titrante versé est donnée ci-après (document 1, à rendre avec la copie).

Document 1. Dosage de la solution diluée d'acide chlorhydrique  $S_1$  par conductimétrie.



1. On ajoute la solution d'hydroxyde de sodium pour doser la solution  $S_1$ . Écrire l'équation de la réaction acido-basique. [0,25 pt]

2. Déterminer graphiquement, sur le document 1, le volume versé  $V_E$  à l'équivalence. **[0,50 pt]**

3. À l'équivalence, écrire la relation existant entre  $C_1$ ,  $C_B$ ,  $V_E$  et  $V_1$  et calculer la concentration molaire  $C_1$  de la solution d'acide chlorhydrique diluée  $S_1$ . **[0,25 pt]**

4. En déduire la concentration molaire  $C_0$  de la solution d'acide chlorhydrique concentrée  $S_0$ . **[0,25 pt]**

5. Calculer la masse  $m_0$  d'acide chlorhydrique HCl dissous dans un litre de solution.

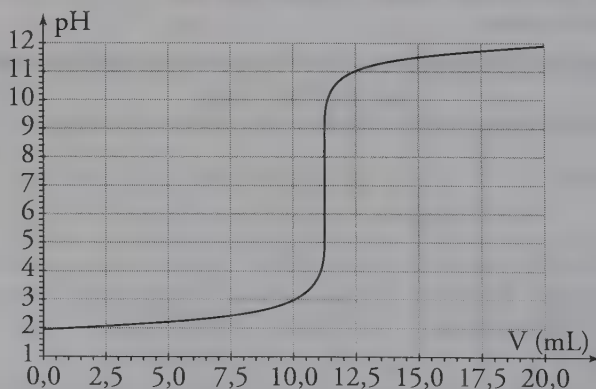
On donne la masse molaire de l'acide chlorhydrique  $M(\text{HCl}) = 36,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ . La solution  $S_0$  a une masse volumique  $\rho_0 = 1\,160 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ . Le pourcentage massique de la solution  $S_0$  représente la masse d'acide chlorhydrique dissous dans 100 g de solution. **[0,25 pt]**

6. Quelle est la masse  $m$  d'un litre de solution  $S_0$ ? **[0,125 pt]**

7. Calculer le pourcentage massique de la solution  $S_0$ . L'indication de l'étiquette du flacon de solution d'acide chlorhydrique concentrée est-elle correcte? **[0,375 pt]**

Une simulation du dosage par suivi pH-métrique de la solution  $S_1$  est donnée ci-après au document 2 (à rendre avec la copie).

**Document 2. Simulation du dosage de la solution diluée d'acide chlorhydrique  $S_1$  par pH-métrie**



8. Sur le document 2, indiquer la zone de virage de l'indicateur identifié à la question I-3. En utilisant cet indicateur pour le dosage de la solution  $S_1$ , décrire le changement de couleur observé. **[0,375 pt]**

9. Dans la liste donnée à la question I-3., y-a-t-il un indicateur coloré mieux adapté pour repérer l'équivalence du dosage? Justifiez votre réponse. **[0,25 pt]**

(Ministère) / 6 points

75

## DOSAGE D'UN VINAIGRE

- Quotient de réaction  $Q_r$
- Point d'équivalence acido-basique
- pH d'une solution

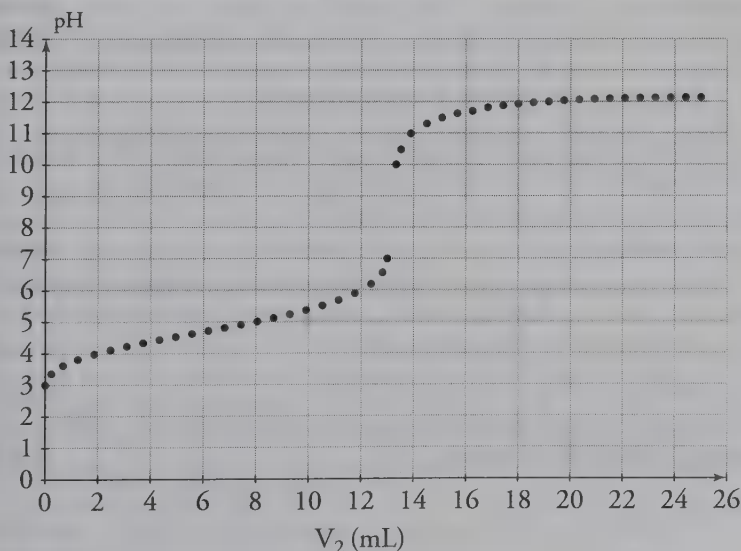
## Calculatrice autorisée

On se propose de doser par pH-métrie un vinaigre afin d'en déterminer la concentration molaire volumique en acide éthanóique. Pour cela, on prépare  $V = 100$  mL d'une solution diluée 10 fois du vinaigre.

Puis on prélève un volume  $V_1 = 10$  mL de la solution diluée que l'on verse dans un bécher, auquel on ajoute suffisamment d'eau distillée pour immerger correctement la cellule du pH-mètre.

On réalise le dosage avec une solution d'hydroxyde de sodium de concentration molaire volumique  $c_2 = 1,0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

Le pH est relevé en fonction du volume  $V_2$  de solution d'hydroxyde de sodium et on obtient la courbe  $\text{pH} = f(V_2)$  donnée ci-dessous.



Toutes les solutions considérées sont prises à  $25^\circ\text{C}$ .

Donnée :

$pK_a$  du couple  $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COO}^-$  à  $25^\circ\text{C}$  : 4,8 et  $pK_e = 14$ .

## I – Réaction support du dosage

1. Écrire l'équation chimique associée à la transformation du système étudié. **[0,25 pt]**
2. a. Exprimer le quotient de réaction  $Q_r$  de cette réaction. **[0,5 pt]**  
b. Quelle valeur particulière ce quotient de réaction prend-il dans l'état d'équilibre du système ? Calculer cette valeur. **[0,5 pt]**  
c. Cette valeur dépend-elle de la composition initiale du système ? **[0,25 pt]**
3. Quelle hypothèse faut-il faire sur la nature de la transformation chimique pour que la réaction puisse servir de support au dosage ? **[0,25 pt]**

## II – Étude à l'équivalence

1. Déterminer graphiquement les coordonnées du point d'équivalence acido-basique en utilisant le graphe donné :  $\text{pH} = f(V_2)$ . **[0,5 pt]**
2. Quelles sont les espèces chimiques majoritaires à l'équivalence ? **[0,5 pt]**
3. a. On note  $n_1$  la quantité de matière de réactif titré initialement apporté dans le bécher et  $n_{2,\text{eq}}$  la quantité de matière de réactif titrant versé à l'équivalence. Établir la relation liant  $n_1$  et  $n_{2,\text{eq}}$ . **[0,25 pt]**  
b. En déduire la concentration  $c_1$  en acide éthanóïque apporté dans la solution diluée. **[0,5 pt]**  
c. Calculer la concentration  $c$  en acide éthanóïque du vinaigre. **[0,5 pt]**

## III – Étude d'un point particulier

On se place dans la situation où on a versé un volume d'hydroxyde de sodium représentant la moitié du volume versé à l'équivalence.

1. Quelles sont les quantités d'hydroxyde de sodium et d'acide éthanóïque introduites alors ? **[0,5 pt]**
2. À l'aide d'un tableau descriptif de l'évolution du système, déterminer la quantité d'ion éthanóate alors formé, ainsi que la quantité d'acide éthanóïque restant dans le milieu réactionnel. **[0,75 pt]**
3. En déduire la valeur du pH en ce point. **[0,25 pt]**
4. Comparer la valeur du pH ainsi trouvée avec la valeur du pH lue sur la courbe de dosage. Commenter. **[0,5 pt]**

France métropolitaine, juin 2002 / 5 points

76

**QUELQUES SURPRISES DUES AU DIOXYDE DE CARBONE DANS L'AIR**

- Préparation d'une solution
- Carbonatation de la soude
- Domaines de prédominance
- Constante de réaction

**Calculatrice NON autorisée**

Le dioxyde de carbone  $\text{CO}_2$  est présent dans l'air atmosphérique à raison de 0,63 % en volume. Il peut réagir avec les ions hydroxyde ; l'équation-bilan de cette réaction est :



Cela peut parfois jouer certains tours...

**I – Préparation et dosages d'une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ou soude**

On rappelle que la soude (ou hydroxyde de sodium) a pour formule  $\text{NaOH}$ . Pour en préparer une solution aqueuse de concentration connue, on ne dispose que d'un flacon de pastilles de soude, la masse d'une pastille étant approximativement égale à 0,1 g.

On commence donc par préparer une solution de concentration voisine de  $0,01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  ; pour connaître précisément la concentration de la solution préparée, on réalise ensuite un dosage.

**Liste du matériel et des solutions disponibles au laboratoire :**

- agitateur magnétique et barreau aimanté ;
- fioles jaugées portant les mentions : 50 mL, 100 mL, 200 mL, 1 L ;
- pipettes jaugées portant les mentions : 1 mL, 5 mL, 10 mL, 20 mL ;
- burettes graduées portant les mentions : 20 mL, 25 mL, 50 mL ;
- pipettes graduées portant les mentions : 1 mL, 5 mL, 10 mL ;
- éprouvettes graduées portant les mentions : 10 mL, 50 mL, 100 mL ;
- erlenmeyers et béchers portant les mentions : 50 mL, 100 mL, 200 mL ;
- poire aspirante ou propipette ® ;
- solutions d'acide chlorhydrique à  $1,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  ;  $0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  ;  $0,010 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  ;
- indicateur coloré : phénolphthaléine.

Données :

Masses molaires atomiques :  $M(\text{H}) = 1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ;  $M(\text{O}) = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ;  
 $M(\text{Na}) = 23 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Constantes d'acidité des couples de l'eau :  $\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2\text{O}$  :  $K_{a_1} = 1$  ;  
 $\text{H}_2\text{O}/\text{HO}^-$  :  $K_{a_1} = 10^{-14}$ .

1. Quelle masse de soude utiliser pour préparer  $V = 1 \text{ L}$  de solution de concentration voisine de  $c = 0,01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  ? **[0,5 pt]**

2. On remarque que le laboratoire ne dispose pas de balance.

Comment faire pour préparer cette solution avec les produits et le matériel disponibles, indépendamment des conditions de sécurité ? **[0,5 pt]**

3. Pourquoi n'a-t-on pas préparé seulement 100 mL de cette solution ? Justifier. **[0,25 pt]**

4. Préciser, en justifiant la réponse, quelle solution choisir dans la liste des solutions disponibles au laboratoire, pour doser 10 mL de la solution préparée précédemment.

Dans la suite de l'exercice, on appelle S cette solution choisie. **[0,25 pt]**

5. Faire le schéma annoté du dispositif du dosage. **[0,5 pt]**

6. On réalise le dosage ; le volume de solution S versé à l'équivalence est V. Trois jours après, on s'aperçoit que le récipient contenant la solution de soude n'a pas été rebouché.

On refait le dosage dans les mêmes conditions ; le volume de solution S versé à l'équivalence est alors  $V'$  inférieur à V.

On dit que la soude est carbonatée : une petite quantité d'ions hydroxyde a réagi avec le dioxyde de carbone pour donner des ions carbonate  $\text{CO}_3^{2-}$  selon l'équation-bilan donnée en introduction.

Sachant que le virage de l'indicateur coloré choisi permet de doser les ions hydroxyde provenant de la soude et les ions carbonate formés qui se comportent comme une monobase, justifier la diminution du volume de solution S versé à l'équivalence. **[0,75 pt]**

## II – Farces et attrapes : la tache qui disparaît...

Dans les magasins de farces et attrapes est proposée une solution bleue, appelée « encre anti-tache ». Lorsque l'on verse un peu de cette solution sur un vêtement, une tache bleue apparaît, mais... disparaît en quelques minutes. Voilà comment fabriquer la solution « encre anti-tache » :

### • Produits et solutions nécessaires avec quelques indications

Solution de soude à  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  : corrosive.

Thymolphthaléine : indicateur coloré de zone de virage : 9,3-10,5 ;  
 constante d'acidité du couple associé  $K_{a_1} = 10^{-10,2}$  ;  
 soluble dans l'eau et l'éthanol.



**• Mode opératoire**

Ajouter quelques gouttes de solution de thymolphtaléine dans un mélange d'eau et d'alcool ; la solution est alors incolore.

Ajouter ensuite goutte à goutte juste assez de la solution de soude de manière à obtenir une solution bleue : « l'encre anti-tache ».

On admet que la solution se comporte comme une solution aqueuse.

1. La forme acide de la thymolphthaléine, notée AH, est incolore. La forme basique sera notée  $A^-$ .

Placer sur un axe gradué en pH la zone de virage de la thymolphthaléine. Indiquer en dehors de cette zone les espèces prédominantes. **[0,25 pt]**

2. Lors de la préparation de la solution, avant l'addition de la solution de soude, le pH est-il inférieur à 9,3 ou supérieur à 10,5 ? Justifier la réponse. **[0,5 pt]**

3. Écrire l'équation-bilan de la réaction entre la thymolphthaléine et la soude. **[0,25 pt]**

4. Exprimer la constante de cette réaction. En déduire que cette réaction peut être considérée comme quasi-totale. **[0,5 pt]**

5. Quelle est la teinte de la forme basique de la thymolphthaléine ? Justifier la réponse. **[0,25 pt]**

6. Pour expliquer la disparition de la tache bleue, on peut supposer que l'évaporation de l'alcool et la recristallisation de la thymolphthaléine jouent un rôle.

En vous aidant de l'introduction de l'exercice (et de la première partie), indiquer quel autre facteur pourrait également intervenir pour expliquer la disparition de la tache sur le vêtement ? **[0,5 pt]**

*Attention :* la solution « encre anti-tache » contenant de la soude concentrée, on évitera de l'utiliser sur des vêtements non usagés.

Amérique du Nord, juin 2003 / 6,5 points

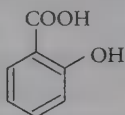
**77****QUELQUES PROPRIÉTÉS DE L'ACIDE SALICYLIQUE**

- Tableau d'avancement
- Quotient de réaction  $Q_r$
- Conductivité
- Constante d'acidité  $K_A$
- Estérification

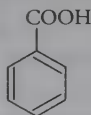
*Les deux parties sont indépendantes.*

**Calculatrice autorisée**

*Données* : les formules développées de deux acides :



Acide salicylique



Acide benzoïque

L'acide salicylique est utilisé dans la synthèse de l'aspirine.  
L'acide benzoïque est un conservateur alimentaire.

## Étude de la fonction acide

On se propose de comparer à partir de mesures conductimétriques les acidités de l'acide salicylique et de l'acide benzoïque.

### I – Étude théorique

1. On dispose d'un volume  $V$  d'une solution aqueuse d'un acide  $HA$  de concentration  $C$ . La transformation mettant en jeu la réaction de l'acide  $HA$  avec l'eau n'est pas totale.

a. Écrire l'équation de la réaction de  $HA$  avec l'eau. **[0,25 pt]**

b. Dresser le tableau d'avancement du système en utilisant les variables  $V$  et  $C$ , l'avancement  $x$  et l'avancement à l'équilibre  $x_{eq}$ .

Exprimer les concentrations des espèces chimiques présentes à l'équilibre en fonction de  $C$  et de la concentration en ions oxonium à l'équilibre  $[H_3O^+]_{eq}$ . En déduire l'expression du quotient de réaction  $Q_{r,eq}$  en fonction de  $[H_3O^+]_{eq}$  et  $C$ . **[1,75 pt]**

2. L'étude de la solution à l'équilibre est effectuée par conductimétrie.

Exprimer la conductivité  $\sigma$  de la solution de  $HA$  à l'équilibre en fonction de  $[H_3O^+]_{eq}$  et des conductivités molaires ioniques  $\lambda$  des ions présents. **[0,5 pt]**

### II – Étude expérimentale

*Données* : Conductivités molaires ioniques à 25 °C :

$$\lambda_1 = \lambda(\text{ion oxonium}) = 35,0 \times 10^{-3} \text{ S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1} ;$$

$$\lambda_2 = \lambda(\text{ion salicylate}) = 3,62 \times 10^{-3} \text{ S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1} .$$

$$pK_a(\text{acide salicylique/ion salicylate}) = 3,00 ;$$

$$pK_a(\text{acide benzoïque/ion benzoate}) = 4,20 .$$

#### 1. Préparation d'une solution titrée

On dispose du matériel suivant :

- Bêchers de 50 mL, 100 mL et 250 mL.
- Éprouvettes graduées de 10 mL, 20 mL, 50 mL et 100 mL.

- Fioles jaugées de 50 mL, 100 mL et 250 mL.
- Pipette graduée de 10 mL à  $\pm 0,1$  mL.
- Pipette jaugée de 10 mL à  $\pm 0,05$  mL.
- Pipeteur.

On veut préparer une solution S de l'acide HA de concentration  $C = 1,00 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  à partir d'une solution mère  $S_0$  de concentration  $C_0 = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

Comment procède-t-on ? Dessiner et nommer la verrerie utilisée.

## 2. Mesures de conductivité

On a effectué un ensemble de mesures de conductivité  $\sigma$  pour des solutions d'acide salicylique et d'acide benzoïque de diverses concentrations à une température de 25 °C.

Le tableau ci-après (à rendre avec la copie) donne les valeurs moyennes des résultats des mesures et une partie de leur exploitation.

|                 | C<br>( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) | $\sigma$<br>( $\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$ ) | $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{eq}}$<br>( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) | $Q_{\text{r, eq}}$    | $-\lg(Q_{\text{r, eq}})$ |
|-----------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Ac. salicylique | $1,00 \times 10^{-3}$                     | $2,36 \times 10^{-2}$                          | $6,11 \times 10^{-4}$                                                        | $9,60 \times 10^{-4}$ | 3,01                     |
| Ac. salicylique | $5,00 \times 10^{-3}$                     | $7,18 \times 10^{-2}$                          |                                                                              |                       |                          |
| Ac. salicylique | $10,0 \times 10^{-3}$                     | $10,12 \times 10^{-2}$                         | $2,62 \times 10^{-3}$                                                        | $9,30 \times 10^{-4}$ | 3,03                     |
| Ac. benzoïque   | $1,00 \times 10^{-3}$                     | $0,86 \times 10^{-2}$                          | $2,25 \times 10^{-4}$                                                        | $6,53 \times 10^{-5}$ | 4,19                     |
| Ac. benzoïque   | $5,00 \times 10^{-3}$                     | $2,03 \times 10^{-2}$                          | $5,31 \times 10^{-4}$                                                        | $6,31 \times 10^{-5}$ | 4,20                     |
| Ac. benzoïque   | $10,0 \times 10^{-3}$                     | $2,86 \times 10^{-2}$                          | $7,47 \times 10^{-4}$                                                        | $6,03 \times 10^{-5}$ | 4,22                     |

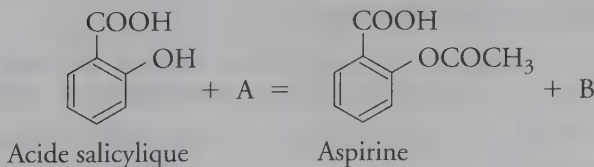
**a.** Compléter les valeurs manquantes du tableau. Présenter les calculs sous forme littérale avant d'effectuer les applications numériques. [0,75 pt]

**b.** À partir des valeurs de  $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{eq}}$ , comparer le comportement, à concentration égale, de l'acide salicylique et de l'acide benzoïque en solution dans l'eau. [0,75 pt]

**c.** Donner la définition de la constante d'acidité  $K_A$ . Expliquer comment les résultats de cette étude expérimentale permettent de retrouver les valeurs respectives des  $\text{p}K_A$  des deux acides. [1 pt]

## Synthèse de l'aspirine

L'aspirine peut être préparée à partir de l'acide salicylique suivant la transformation modélisée par la réaction ci-dessous :



1. Reproduire sur la copie la formule semi-développée de l'aspirine. Entourer et nommer les fonctions chimiques présentes. **[0,25 pt]**
2. Le groupement OH de l'acide salicylique se comporte comme une fonction alcool dans la transformation étudiée.
  - a. Donner les formules semi-développées et les noms des espèces chimiques A et B, sachant qu'ils ne contiennent pas d'autres éléments que C, H et O. **[0,75 pt]**
  - b. Nommer cette réaction chimique et citer deux de ses caractéristiques. **[0,5 pt]**

Nouvelle Calédonie, décembre 2002 / 3,5 points

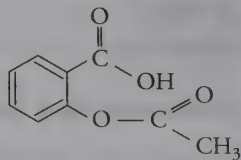
**78****USINE À BULLES (SUJET PARTIEL)**

- Comprimé d'aspirine
- Groupements caractéristiques
- Constante d'acidité
- Couple acide-base
- Constante de réaction

**Calculatrice non autorisée**

D'après la fiche santé Upsa-Oberlin n° 72, distribuée par les pharmaciens :  
 « Le comprimé effervescent, véritable petite usine de transformation, est fait de composés chimiques qui réagissent au contact de l'eau et libèrent... »  
 On se propose de comprendre ce phénomène d'effervescence.

Le comprimé effervescent contient de l'acide acétylsalicylique ou aspirine de formule :



et de l'hydrogénocarbonate de sodium de formule  $\text{NaHCO}_3$ .

**I – L'acide acétylsalicylique**

1. Reproduire la formule de l'aspirine et encadrer les deux groupes « caractéristiques » (ou fonctionnels) que l'on nommera. **[0,5 pt]**
2. Écrire l'équation-bilan de la réaction acido-basique de l'acide acétylsalicylique sur l'eau. **[0,25 pt]**

3. Dans cette question, l'acide acétylsalicylique sera noté AH.

a. Définir la constante d'acidité  $K_a$  et le  $pK_a$  du couple faisant intervenir l'acide acétylsalicylique. [0,5 pt]

b. En déduire l'expression du pH d'une solution aqueuse d'acide acétylsalicylique en fonction du  $pK_a$  et des concentrations des espèces en solution. [0,5 pt]

c. Dans cet exercice on considère qu'une espèce X est prépondérante devant une espèce Y dès que le rapport de leurs concentrations est supérieur à 100. Établir dans quel domaine de pH l'acide acétylsalicylique est prépondérant par rapport à sa base conjuguée ? [0,5 pt]

## II – Le rôle de l'hydrogénocarbonate de sodium

Ce composé est soluble dans l'eau. Sa dissolution donne des ions sodium  $Na^+$  et des ions hydrogénocarbonate  $HCO_3^-$ . L'ion hydrogénocarbonate appartient à deux couples acide-base :  $HCO_3^-/CO_3^{2-}$  et  $CO_2, H_2O/HCO_3^-$  dont les  $pK_a$  sont respectivement 10,4 et 6,5. Le couple auquel appartient l'acide acétylsalicylique a un  $pK_a$  de 3,5.

1. Donner la définition d'une base. [0,25 pt]

2. Écrire l'équation-bilan de la réaction entre l'acide acétylsalicylique et l'ion hydrogénocarbonate. [0,25 pt]

3. Calculer la constante de la réaction. Que pouvez-vous déduire de cette valeur ? [0,5 pt]

4. Quel est le rôle de l'hydrogénocarbonate de sodium sachant qu'une partie du dioxyde de carbone formé passe à l'état gazeux. [0,25 pt]

(Ministère) / 6,5 points

79

## RÉACTIONS EN SOLUTION AQUEUSE

- Produit ionique de l'eau
- Diagramme de prédominance
- Avancement d'une réaction
- Taux d'avancement
- Quotient de réaction  $Q_r$

### Calculatrice autorisée

Données :

Les mesures sont effectuées à 25 °C :

- acide éthanóïque/ion éthanóate :  $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}/\text{CH}_3\text{CO}_2^-$  :  $\text{pK}_{\text{A}_1} = 4,7$  ;
- ion ammonium/ammoniac :  $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$  :  $\text{pK}_{\text{A}_2} = 9,2$  ;
- $\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2\text{O}$  :  $\text{pK}_{\text{A}} = 0$  ;  $\text{H}_2\text{O}/\text{HO}^-$  :  $\text{pK}_{\text{A}} = 14$ .

Les questions 1., 2., 3. sont indépendantes.

## I – Produit ionique de l'eau

1. Qu'appelle-t-on produit ionique de l'eau ? [0,25 pt]
2. Déterminer sa valeur à partir des données précédentes. [0,25 pt]

## II – Réaction de l'acide éthanóïque et de l'eau

On introduit de l'acide éthanóïque pur dans de l'eau. On obtient une solution aqueuse  $S_1$  de volume  $V_1 = 10 \text{ mL}$ , de concentration apportée en acide éthanóïque  $C_1 = 2,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . La mesure du pH de la solution  $S_1$  donne 3,2.

1. Écrire l'équation de la réaction de l'acide éthanóïque avec l'eau. On note (1) cette équation. [0,25 pt]
2. Tracer le diagramme de prédominance du couple acide éthanóïque/ion éthanóate. En déduire l'espèce prédominante dans la solution  $S_1$ . [0,5 pt]
3. Avancement de la réaction de l'acide éthanóïque avec l'eau
  - a. Déterminer l'avancement final  $x_{1f}$  de la réaction de l'acide éthanóïque avec l'eau (on pourra s'aider d'un tableau d'avancement). [0,5 pt]
  - b. Comparer  $x_{1f}$  et l'avancement maximal  $x_{1\text{max}}$  (avancement final qui serait atteint si la transformation était totale). [0,25 pt]
  - c. En déduire le taux d'avancement final  $\tau_1$  de cette réaction. [0,25 pt]
  - d. Le résultat est-il cohérent avec celui de la question 2. ? Justifier. [0,25 pt]

## III – Réaction de l'ammoniac avec l'eau

Soit une solution préparée par dissolution dans l'eau d'ammoniac gazeux. On obtient une solution aqueuse  $S_2$  de volume  $V_2 = 10,0 \text{ mL}$ , de concentration apportée en ammoniac  $C_2 = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . La mesure du pH de la solution  $S_2$  donne 10,6.

1. Écrire l'équation de la réaction de l'ammoniac avec l'eau. On note (2) cette équation. [0,25 pt]
2. Tracer le diagramme de prédominance du couple ion ammonium/ammoniac. En déduire l'espèce prédominante dans  $S_2$ . [0,5 pt]
3. Déterminer le taux d'avancement final  $\tau_2$  de cette réaction (on pourra s'aider d'un tableau d'avancement). Le résultat est-il cohérent avec celui de la question III-2. ? Justifier. [0,5 pt]



## IV – Évolution d'un mélange d'acide éthanóïque et d'ammoniac dans l'eau

On réalise une solution S de volume  $V = 20 \text{ mL}$  en introduisant dans l'eau  $2,0 \times 10^{-4} \text{ mol}$  d'acide éthanóïque et  $1,0 \times 10^{-4} \text{ mol}$  d'ammoniac. On modélise la transformation qui a lieu par la réaction suivante :



1. Calculer le quotient de réaction du système dans l'état initial  $Q_{r,i}$ .  
[0,5 pt]
2. Comparer  $Q_{r,i}$  au quotient de réaction dans l'état d'équilibre  $Q_{r,\text{eq}}$ . Que peut-on en déduire ?  
[0,5 pt]
3. Exprimer  $Q_{r,\text{eq}}$  en fonction de l'avancement maximal  $x_{3f}$  de la réaction (on pourra s'aider d'un tableau). En déduire la valeur de  $x_{3f}$ . La comparer à la valeur de l'avancement maximal  $x_{3\text{max}}$ .  
[1 pt]
4. La transformation du système peut-elle être considérée comme totale ? À l'aide du bilan de matière dans l'état final, citer, pour chacun des couples  $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}/\text{CH}_3\text{CO}_2^-$  et  $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ , les espèces prédominantes dans la solution S.  
Expliquer pourquoi la valeur du pH de la solution S est égale à 4,7.  
[0,75 pt]

Sujet complémentaire / 5 points

# 80

## SOLUBILITÉ DU CHLORURE D'ARGENT DANS UNE SOLUTION D'AMMONIAC

- Constante d'équilibre
- Dissolution
- Concentrations molaires volumiques

### Calculatrice autorisée

Soit une solution aqueuse de chlorure d'argent.

1. Écrire l'équation (équation I) de la réaction liée à cette mise en solution aqueuse du chlorure d'argent.  
[0,25 pt]
2. Donner l'expression de la constante d'équilibre  $K_I$  associée à cette équation I.  
[0,5 pt]



**3.** Quelle est la quantité de matière maximale de chlorure d'argent que l'on peut dissoudre dans un volume  $V = 1,0 \text{ L}$  d'eau à la température de  $25^\circ\text{C}$  ? **[0,75 pt]**

*Donnée :*  $K_I = 2,0 \times 10^{-10}$  à  $25^\circ\text{C}$ .

**4.** On introduit une masse  $m = 3,0 \text{ mg}$  de chlorure d'argent dans un volume  $V = 1,0 \text{ L}$  d'eau. A-t-on dissolution complète ? **[0,75 pt]**

*Données :*  $M_{\text{Ag}} = 108 \text{ g/mol}$  ;  $M_{\text{Cl}} = 35,5 \text{ g/mol}$ . **5.** On introduit une masse  $m' = 1,8 \text{ g}$  de chlorure d'argent dans un volume  $V = 1,0 \text{ L}$  d'eau contenant  $1,0 \text{ mol}$  d'ammoniac dissous.

On observe la disparition totale du solide introduit.

**a.** Interpréter ce phénomène sachant que l'ammoniac donne avec les ions  $\text{Ag}^+$  hydratés un complexe très soluble  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+_{(\text{aq})}$ . **[0,5 pt]**

**b.** Écrire l'équation (équation II) de la réaction de formation de ce complexe. **[0,25 pt]**

**c.** Donner l'expression de la constante d'équilibre  $K_{\text{II}}$  associée à cette équation II. **[0,5 pt]**

**d.** Sachant que  $K_{\text{II}} = 2,5 \times 10^7$  à  $25^\circ\text{C}$  qu'en résulte-t-il pour la transformation chimique liée à l'équation II ? **[0,5 pt]**

**e.** Dans la solution finale déterminer :

– la concentration en  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+_{(\text{aq})}$  ;

– la concentration en  $[\text{Ag}^+]_{(\text{aq})}$ . **[1 pt]**

# LE SENS SPONTANÉ D'ÉVOLUTION D'UN SYSTÈME EST-IL PRÉVISIBLE ? PEUT-IL ÊTRE INVERSÉ ?

Liban, juin 2003 / 3 points

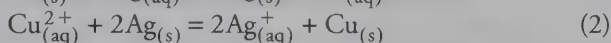
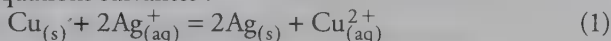
81

## ÉTUDE DE LA PILE CUIVRE-ARGENT

- Critère d'évolution spontanée
- Quotient de réaction
- Fonctionnement d'une pile

### Calculatrice autorisée

À partir des couples oxydant/réducteur  $\text{Cu}_{(\text{aq})}^{2+}/\text{Cu}_{(\text{s})}$  et  $\text{Ag}_{(\text{aq})}^{+}/\text{Ag}_{(\text{s})}$  on peut envisager deux transformations dont les réactions peuvent être schématisées par les équations suivantes :



Les constantes d'équilibre de ces réactions sont  $K_1 = 2,1 \cdot 10^{15}$  et  $K_2 = 4,8 \cdot 10^{-16}$ .

### I – Transformation chimique spontanée par transfert direct d'électrons

Un élève réalise l'expérience dont le protocole est donné ci-dessous :

- Verser dans un bécher un volume  $V_1 = 50 \text{ mL}$  d'une solution de sulfate de cuivre (II) de concentration molaire  $C_1 = 10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  et un volume  $V_2 = 50 \text{ mL}$  d'une solution aqueuse de nitrate d'argent de concentration molaire  $C_2 = 0,50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . La solution de sulfate de cuivre est bleue, celle de nitrate d'argent incolore.
- Plonger un fil d'argent et ajouter environ 3 g de poudre de cuivre de couleur rouge.
- Agiter.
- Filtrer la solution obtenue et observer sa couleur.

L'élève note dans les observations de son compte rendu de TP : « On observe un léger dépôt gris et une intensification de la coloration bleue ».

1. Parmi les deux réactions possibles quelle est celle associée à la transformation chimique du système ? [0,5 pt]

2. Rappeler le critère d'évolution spontanée. [0,25 pt]

3. Calculer le quotient de réaction initial puis, en appliquant le critère

d'évolution spontanée, montrer que le sens d'évolution prévu est compatible avec les observations expérimentales de l'élève. **[0,75 pt]**

## II – Constitution et fonctionnement de la pile cuivre-argent en circuit fermé

On dispose :

- d'un fil de cuivre,
- d'un fil d'argent,
- d'une solution de sulfate de cuivre (II) de volume  $V_1 = 50 \text{ mL}$  et de concentration molaire  $C_1 = 1,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,
- d'une solution de nitrate d'argent de volume  $V_2 = 50 \text{ mL}$  et de concentration molaire  $C_2 = 1,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,
- d'un papier imbibé de nitrate de potassium pouvant constituer un pont salin.

1. Faire un schéma de la pile réalisable avec le matériel donné ci-dessus. **[0,75 pt]**
2. On observe dans le circuit extérieur le passage d'un courant électrique de l'électrode d'argent vers l'électrode de cuivre.
  - a. Préciser sur votre schéma le sens de circulation des électrons dans le circuit et la polarité des électrodes. **[0,5 pt]**
  - b. Écrire les équations des réactions modélisant les transformations ayant lieu à chaque électrode. **[0,5 pt]**
  - c. Écrire l'équation de la réaction associée à la transformation ayant lieu dans la pile. **[0,25 pt]**
  - d. La pile cuivre-argent en fonctionnement est-elle un système dans l'état d'équilibre ou hors équilibre ? Justifier en utilisant le critère d'évolution spontanée. **[0,5 pt]**

Centres étrangers I, juin 2003 / 2,5 points

**82**

### LA PILE À COMBUSTIBLE

- Schéma d'une pile
- Pôles d'une pile
- Fonctionnement d'une pile

#### Calculatrice autorisée

Le principe des piles à combustible a été découvert par l'électrochimiste William Grove en 1839, mais leur utilisation réelle ne date que des années 1960, à l'occasion des programmes spatiaux de la NASA.

Ces piles alimentaient en électricité les ordinateurs de bord des vaisseaux Gemini et Apollo et fournissaient l'eau de consommation.

En effet, par comparaison aux piles salines et alcalines, les piles à combustible, type hydrogène-oxygène, présentent deux avantages : faire appel à des réactifs (dioxygène de l'air et dihydrogène) disponibles en grande quantité et être non polluantes car libérant de l'eau.

Le principe de fonctionnement est simple : la cellule de réaction est composée de deux électrodes séparées par un électrolyte (exemple : l'acide phosphorique  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ). Elle est alimentée en dihydrogène et en dioxygène en continu.

Le fonctionnement de la pile repose sur une réaction d'oxydoréduction au niveau des électrodes.

*Données :*

Masses molaires atomiques :

$M(\text{H}) = 1,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ;  $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

Constante d'Avogadro :  $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

Charge électrique élémentaire :  $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ .

Faraday :  $1 \text{ F} = 96\,500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

## I - Schéma de la pile à combustible

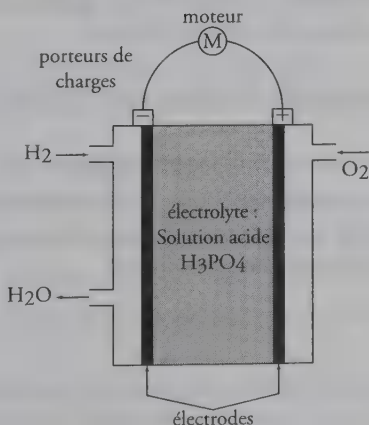
1. Quelle est la nature des porteurs de charges à l'extérieur de la pile ?

[0,125 pt]

2. Légender le schéma de la pile ci-après en indiquant le sens conventionnel de circulation du courant électrique  $I$  et le sens de circulation des porteurs de charges, à l'extérieur de la pile (en ajoutant des flèches bien orientées) (à rendre avec la copie).

[0,125 pt]

Schéma de la pile à combustible



**II** – Les couples d'oxydoréduction mis en jeu dans la réaction sont :  $\text{H}^+_{(\text{aq})}/\text{H}_{2(\text{g})}$  et  $\text{O}_{2(\text{g})}/\text{H}_2\text{O}_{(\ell)}$

1. Écrire les demi-équations électroniques pour chaque couple mis en jeu, quand la pile débite. **[0,25 pt]**

2. En déduire l'équation de la réaction modélisant la transformation ayant lieu dans la cellule de réaction. **[0,125 pt]**

**III** – Le réactif qui est réduit est appelé le « combustible » de la pile.

1. Parmi les espèces chimiques présentes dans les couples, laquelle constitue le combustible ? Justifier la réponse en définissant la réaction de réduction. **[0,25 pt]**

2. Préciser le nom de l'électrode où se produit la réduction. Cette électrode est-elle le pôle positif ou négatif de la pile ? **[0,25 pt]**

**IV** – Dans un véhicule motorisé fonctionnant grâce à une pile à combustible, on estime à 1,5 kg la masse de dihydrogène nécessaire pour parcourir 250 km.

1. Calculer la quantité de matière de dihydrogène  $n(\text{H}_2)$  correspondant à cette masse, puis le volume de dihydrogène  $V(\text{H}_2)$  en mètre-cube ( $\text{m}^3$ ), dans les conditions où le volume molaire  $V_m$  est égal à  $24 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ . **[0,25 pt]**

2. Justifier le fait que les piles à combustible ne soient pas encore utilisées dans les voitures, en utilisant la réponse à la question IV-1. **[0,125 pt]**

3. Rappelons la loi des gaz parfaits :  $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$  avec :  
 $P$  (pression du gaz) ;  $V$  (volume du gaz) ;  $n$  (quantité de matière de gaz) ;  
 $R$  (constante des gaz parfaits) ;  $T$  (température du gaz).

Proposer un moyen de réduire l'espace occupé par ce gaz, à température ambiante, pour la quantité de matière  $n$  de gaz calculée précédemment. Justifier la réponse à l'aide de la loi précédente. **[0,25 pt]**

**V** – Dans la navette spatiale, les piles à combustible débitent un courant d'intensité  $I = 200 \text{ A}$ .

1. Calculer la charge électrique  $Q$  libérée en 24 heures. **[0,125 pt]**

2. En déduire la quantité de matière  $n_p$  des porteurs de charge, ayant circulé dans le circuit de la navette, pendant 24 heures et la quantité de matière  $n(\text{H}_2)$  de dihydrogène consommée. **[0,375 pt]**

Sujet complémentaire / 4 points

83

## PRODUCTION INDUSTRIELLE DU CADMIUM

- Électrolyse
- Avancement
- Rendement

Calculatrice autorisée

### > EXPÉRIENCE

Dans l'industrie, on produit le cadmium par électrolyse d'une solution aqueuse de sulfate de cadmium II :  $\text{Cd}_{(\text{aq})}^{2+} + \text{SO}_{4(\text{aq})}^{2-}$  et d'acide sulfurique. Cette électrolyse est réalisée sous une tension de 3,1 V avec une intensité constante de  $25 \cdot 10^3 \text{ A}$ .

Les ions sulfate ne participent pas aux transformations chimiques.

Données :

Couples d'oxydoréduction :  $\text{Cd}_{(\text{aq})}^{2+} / \text{Cd}_{(\text{s})}$  ;  $\text{H}_{(\text{aq})}^{+} / \text{H}_{2(\text{F})}$  ;  
 $\text{O}_{2(\text{F})} / (\text{H}_2\text{O}_{(\ell)})$ .

$M_{\text{Cd}} = 112,4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

$1 \text{ Faraday} = 9,65 \cdot 10^4 \text{ C} = 1 \text{ F}$ .

### > QUESTIONS

1. Faire le schéma de l'électrolyseur et préciser les différentes espèces chimiques présentes dans la solution électrolytique utilisée. [0,5 pt]
2. Indiquer sur quelle électrode se dépose le cadmium métallique lors de l'électrolyse. [0,25 pt]
3. Écrire l'équation de la réaction correspondante. [0,25 pt]
4. a. Montrer qu'un dégagement gazeux se produit à l'autre électrode. [0,25 pt]  
 b. Identifier le gaz qui se dégage. [0,25 pt]  
 c. Donner l'équation de la réaction correspondante. [0,25 pt]
5. Écrire l'équation de la réaction globale de cette électrolyse. [0,25 pt]
6. Indiquer le sens de déplacement des ions dans l'électrolyseur. [0,25 pt]
7. Quelle est la quantité d'électricité transportée dans l'électrolyseur en 24 h ? [0,25 pt]
8. Quelle est l'expression de la charge électrique transportée en fonction de  $x$  et de  $\text{F}$ ,  $x$  étant l'avancement de la réaction ? [0,5 pt]

9. Que vaut  $x$  au bout de 24 heures ?

[0,25 pt]

10. On constate qu'en 24 heures on a obtenu 1 tonne de cadmium. Quel est le rendement de cet électrolyseur ?

[0,75 pt]

La Réunion, juin 2003 / 6,5 points

**84**

## ÉLABORATION DU ZINC PAR ÉLECTROLYSE

- Électrolyseur
- Couples oxydant/réducteur
- Tableau d'avancement
- Rendement d'une réaction

### Calculatrice NON autorisée

Les données numériques et leurs approximations sont données en fin d'exercice. Certains métaux sont préparés par électrolyse d'une solution aqueuse les contenant à l'état de cations. Plus de 50 % de la production mondiale de zinc sont obtenus par électrolyse d'une solution de sulfate de zinc acidifiée à l'acide sulfurique. Les ions sulfate ne participent pas aux réactions électrochimiques. On observe un dépôt métallique sur l'une des électrodes et un dégagement gazeux sur l'autre.

### I – Étude de la transformation

1. Quelles sont les réactions susceptibles de se produire sur chaque électrode sachant que c'est le solvant qui est oxydé en dioxygène ?

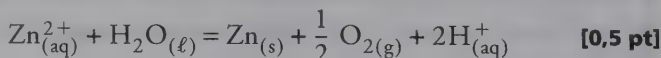
On donne les couples oxydant/réducteur :  $\text{Zn}_{(\text{aq})}^{2+} / \text{Zn}_{(\text{s})}$  ;  $\text{H}_{(\text{aq})}^{+} / \text{H}_{2(\text{g})}$  ;  $\text{O}_{2(\text{g})} / \text{H}_2\text{O}_{(\ell)}$ .

[0,75 pt]

2. Schématiser l'électrolyseur, en précisant le nom de chaque électrode, leur polarité et le sens de déplacement des espèces chargées.

[0,75 pt]

3. En justifiant le choix des couples, vérifier que l'équation de la réaction globale de cette électrolyse est :



4. S'agit-il d'une transformation spontanée ou forcée ? Pourquoi ?

Quelle vérification théorique proposeriez-vous ?

[0,5 pt]



5. Établir le tableau d'avancement correspondant à la réaction d'électrolyse. [1 pt]

## II – Exploitations

L'électrolyse a lieu sous 3,5 V. L'intensité du courant peut atteindre 80 kA. Après 48 h de fonctionnement, le dépôt de zinc est suffisamment épais. Il est alors séparé de l'électrode, fondu et coulé en lingots.

1. Quelle est la relation entre l'avancement  $x$  de la réaction et la quantité d'électricité  $Q$  transportée dans cet électrolyseur ? [0,75 pt]

2. Quelle est l'ordre de grandeur de la masse de zinc produite par une cellule en 2 jours ? (on pourra utiliser des résultats de calcul donnés à la fin du sujet) [0,75 pt]

3. En fait, on obtient une quantité de zinc inférieure à celle attendue. Pourquoi ? [0,5 pt]

4. À l'autre électrode on récupère le dioxygène. Le rendement de la réaction qui le produit est de 80 % et le volume molaire de  $24 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$  dans les conditions expérimentales.

Donner la relation entre l'avancement  $x$  et le volume  $v$  de dioxygène récupéré. Quel est l'ordre de grandeur de  $v$  ? [1 pt]

*Données :*

*Approximations pour le calcul :*

$$\text{Masse molaire Zn : } 65,4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \rightarrow 65 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\text{Masse volumique Zn : } 7,14 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} \rightarrow 7 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$$

$$1 \text{ Faraday : } 9,65 \cdot 10^4 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1} \rightarrow 10^5 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$65 \times 8 \times 48 \times 36 \approx 9 \cdot 10^5 ; 8 \times 48 \times 36 \approx 14\,000 ; \frac{65 \times 48}{8 \times 36} \approx 10 ;$$

$$\frac{8 \times 48}{36} \approx 10.$$

Antilles-Guyane, juin 2003 / 6,5 points

**85****RÉALISATION D'UNE PILE NICKEL/ZINC**

- Réactions d'oxydo-réduction
- Quotient de réaction
- Polarité des électrodes
- Avancement maximal
- Absorbance

**Calculatrice autorisée**

On réalise une pile formée à partir des couples  $\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}$  et  $\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}$ .  
Chaque solution a pour volume  $V = 100 \text{ mL}$  et la concentration initiale des ions positifs est  $C = 5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

*Données :*

$M(\text{Zn}) = 65,4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ;  $M(\text{Ni}) = 58,7 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

Charge élémentaire de l'électron :  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

Constante d'Avogadro :  $N = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

Charge d'une mole d'électrons :  $F = 96\,500 \text{ C}$ .

Pour la réaction suivante :  $\text{Ni}^{2+} + \text{Zn} = \text{Zn}^{2+} + \text{Ni}$ , la constante d'équilibre vaut  $K = 10^{18}$ .

**I – Réalisation de la pile**

1. L'électrode positive de cette pile est l'électrode de nickel.

Légender le schéma de la figure 1 ci-après (à rendre avec la copie) avec les termes suivants : électrode de zinc, électrode de nickel, pont salin, solution contenant des ions  $\text{Zn}^{2+}$ , solution contenant des ions  $\text{Ni}^{2+}$ . **[0,5 pt]**

**2. Équation des réactions**

a. Écrire les demi-équations des réactions se produisant aux électrodes.

**[0,5 pt]**

b. Préciser à chaque électrode s'il s'agit d'une oxydation ou d'une réduction.

**[0,25 pt]**

c. Écrire l'équation de la réaction globale qui intervient quand la pile débite.

**[0,25 pt]**

d. Calculer la valeur du quotient réactionnel initial  $Q_{r,i}$ . Cette valeur est-elle cohérente avec la polarité proposée ?

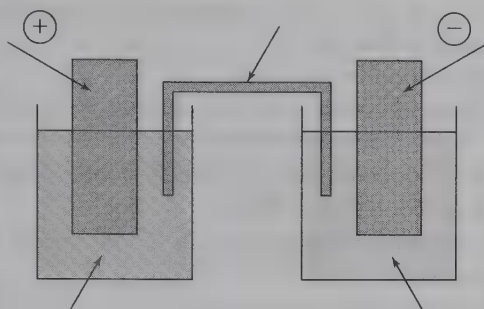
**[0,5 pt]****II – Étude de la pile**

1. On fait débiter la pile dans un conducteur ohmique.

à compléter le volume de la figure 1

16.35 pt

Figure 1



**b.** Préciser sur ce schéma le sens du courant et le sens de déplacement des électrons dans le circuit extérieur. **[0,25 pt]**

**2.** Comment varie la concentration des ions positifs dans chacun des béchers ? En déduire l'évolution du quotient réactionnel  $Q_r$ . **[0,5 pt]**

**3.** Sachant que la masse des électrodes ne limite pas la réaction, pour quelle raison la pile s'arrêtera-t-elle de débiter ? Quelle est alors la valeur numérique de  $Q_r$  ? **[0,5 pt]**

**4.** La réaction étant considérée comme totale, calculer l'avancement maximal  $x_{\max}$  de la réaction. **[0,5 pt]**

**5. a.** Quelle relation existe-t-il entre  $x_{\max}$  et la quantité de matière d'électrons qui ont circulé ? **[0,125 pt]**

**b.** En déduire la quantité totale d'électricité fournie par cette pile. **[0,125 pt]**

### III – Décharge partielle de la pile

On prend une deuxième pile identique et on la laisse fonctionner pendant une heure. On supposera que l'intensité reste constante. On constate une augmentation de masse de l'électrode de nickel de  $\Delta m = 100 \text{ mg}$ .

**1. a.** Calculer la quantité de matière d'ions  $\text{Ni}^{2+}$  disparus notée  $n_{\text{disp}}(\text{Ni}^{2+})$  pendant cette durée. **[0,25 pt]**

**b.** Déterminer la quantité d'électricité correspondante notée  $Q$ . **[0,5 pt]**

**c.** En déduire la valeur de l'intensité du courant. **[0,25 pt]**

**2.** On donne les valeurs de l'absorbance, pour des solutions de sulfate de nickel de concentrations  $C$  différentes, mesurée à une longueur d'onde égale à  $390 \text{ nm}$ .

| $C \text{ (mol} \cdot \text{L}^{-1}\text{)}$ | 0 | 0,010 | 0,020 | 0,030 | 0,040 | 0,050 |
|----------------------------------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| A                                            | 0 | 0,20  | 0,41  | 0,61  | 0,82  | 1,02  |

Tracer la courbe de l'absorbance en fonction de la concentration  $C$ , sur papier millimétré. **[0,5 pt]**

Prendre comme échelles :

– 1 cm :  $0,01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  en abscisse ;

– 1 cm : 0,1 en ordonnée.

**3.** On mesure l'absorbance de la solution dans laquelle plonge l'électrode de nickel. La valeur mesurée est  $A = 0,67$ .

**a.** En déduire graphiquement la concentration des ions  $\text{Ni}^{2+}$  restant en solution. **[0,25 pt]**

**b.** Quelle est la quantité d'ions  $\text{Ni}^{2+}$  disparus ?

Ce résultat est-il conforme avec le calcul du **III-1.a** ? **[0,5 pt]**

Sujet complémentaire / 6 points

# 86

## PROTECTION CONTRE LA CORROSION

- Pile
- Electrolyseur
- Classement des métaux selon le pouvoir réducteur
- Electrozingage
- Métal protecteur

### Calculatrice autorisée

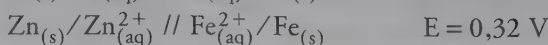
Le fer est un métal très utilisé, pour ses bonnes propriétés mécaniques, dans la construction de bâtiments et de navires, le plus souvent sous forme d'acier (mélange de fer et de carbone à forte teneur en fer). Toutefois le fer présente un inconvénient : il est oxydé facilement par le dioxygène, surtout en milieu humide et salé (formation d'oxydes de fer contenant des ions  $\text{Fe}^{2+}$ ).

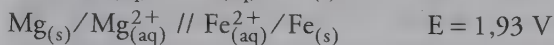
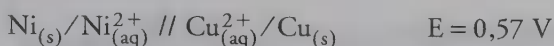
#### 1. Oxydation du fer

Écrire l'équation de l'oxydation du fer par le dioxygène, en supposant que les couples qui interviennent sont  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}$  et  $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$  et que le milieu est acide. **[0,25 pt]**

#### 2. Étude préliminaire

Pour classer plusieurs métaux par ordre de pouvoir réducteur croissant, on mesure la force électromotrice des piles suivantes :





a. Pour la pile fer/nickel, indiquer les réactions aux électrodes et l'équation de la réaction de pile lorsque celle-ci débite un courant.

Sachant que la constante d'équilibre de cette réaction est  $K = 1,4 \cdot 10^7$ , et que les concentrations initiales des ions métalliques sont égales à  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , que peut-on dire de cette réaction ?

Quel est, du fer ou du nickel, le métal le plus réducteur ?

Quelle est l'électrode appelée anode ? cathode ?

Que se passerait-il si l'on plaçait une lame de fer dans une solution contenant des ions nickel  $\text{Ni}^{2+}$  ?

Que se passerait-il si l'on plaçait une lame de nickel dans une solution contenant des ions fer  $\text{Fe}^{2+}$  ?

[0,5 pt]

b. En utilisant le raisonnement précédent, mais sans le redévelopper, effectuer un classement par pouvoir réducteur décroissant pour les cinq métaux utilisés dans les piles proposées.

[0,25 pt]

### c. Étude complémentaire

Dans une solution aqueuse existent des ions hydrogène  $\text{H}_{(aq)}^{+}$  qui peuvent participer à des réactions d'oxydoréduction en se transformant en dihydrogène gazeux  $\text{H}_{2(g)}$ . On montre que les ions hydrogène  $\text{H}_{(aq)}^{+}$  réagissent spontanément avec le nickel mais pas avec le cuivre. Placer le dihydrogène dans le classement précédent.

[0,5 pt]

### 3. Application aux navires

Pour lutter contre cette corrosion du fer, les constructeurs de bateaux fixent des blocs de zinc sur la coque en fer des navires. Au contact de l'eau de mer, solution ionique, ces deux métaux forment une pile un peu particulière : l'un des métaux constitue l'anode, et s'oxyde ; l'autre métal constitue l'électrode de la cathode, mais ne réagit pas car le couple mis en jeu à la cathode est alors  $\text{H}_{(aq)}^{+} / \text{H}_{2(g)}$ . Ce métal est donc protégé de l'oxydation et ne s'altère pas.

a. D'après le classement effectué à la question 2., montrer que le métal constituant l'anode est le zinc.

[0,25 pt]

b. Donner le schéma formel de la pile ainsi constituée.

[0,25 pt]

c. Écrire les réactions qui ont lieu aux deux électrodes.

En déduire l'équation de la réaction de pile.

[0,25 pt]

d. Justifier le choix du zinc comme métal « protecteur ». Que deviennent les plaques de zinc au bout d'un certain temps ? Que doit-on faire alors ?

[0,25 pt]

e. Quelles autres réactions pourraient avoir lieu entre les espèces chimiques évoquées dans cette question ?

[0,25 pt]

f. Pourrait-on utiliser le magnésium à la place du zinc ? Pourquoi préfère-t-on utiliser le zinc ?

[0,25 pt]

**4. Acier nickelé, chromé ou zingué ?**

Pour protéger une pièce d'acier ou de fer de la corrosion qui peut survenir dans de l'air humide, on peut la recouvrir intégralement d'une fine couche d'un autre métal. Le procédé est appelé galvanostégie : on obtient ainsi de l'acier nickelé, ou de l'acier chromé ou de l'acier zingué (ou galvanisé).

**a.** On constate que si le dépôt qui recouvre l'acier présente une imperfection, la protection n'est plus assurée si le revêtement est en nickel. Expliquez pourquoi. **[0,5 pt]**

**b.** La protection reste efficace si le revêtement est en zinc ou en chrome. En déduire si le chrome (Cr) est un métal plus ou moins réducteur que le fer. **[0,5 pt]**

**5.** On peut lire sur l'étiquette de rouleaux de fil métallique : « Fil de fer galvanisé ». Il s'agit de fer recouvert d'un dépôt protecteur de zinc, réalisé par *électrozingage* du fil de fer, c'est-à-dire un dépôt de zinc par électrolyse. Pour cela on prépare un bain d'électrolyse constitué d'une solution aqueuse contenant du sulfate de zinc ( $\text{Zn}_{(\text{aq})}^{2+} + \text{SO}_{4(\text{aq})}^{2-}$ ).

L'une des électrodes est une lame de zinc et l'autre électrode le fil de fer à traiter. Les électrodes sont reliées aux bornes d'un générateur de tension continue.

**a.** Faire un schéma du dispositif. **[0,25 pt]**

**b.** Écrire les équations des transformations qui ont lieu aux électrodes, sachant que le fil de fer se recouvre de zinc métallique et que l'électrode de zinc fournit des ions  $\text{Zn}_{(\text{aq})}^{2+}$ . Le fil de fer constitue-t-il l'anode ou la cathode de l'électrolyseur ? Indiquer sur le schéma précédent le sens de circulation des porteurs de charge. **[0,25 pt]**

**c.** Déterminer la polarité des bornes du générateur de sorte que les transformations ci-dessus puissent avoir lieu. Les indiquer sur le schéma. **[0,25 pt]**

**d.** Écrire l'équation de la transformation chimique globale dans ce système. **[0,25 pt]**

**e.** Le fil de fer à traiter a pour longueur 50 m, pour diamètre 1 mm, et on souhaite déposer une couche de zinc de 0,1 mm. Calculer la masse de zinc à déposer. **[0,5 pt]**

**f.** L'intensité du courant lors de l'électrolyse est de 1 kA. Quelle est la durée de l'électrozingage de ce fil de fer ? **[0,25 pt]**

**g.** Le même bain électrolytique peut-il servir plusieurs fois ? **[0,25 pt]**

*Données :*

Masse molaire atomique du zinc  $M(\text{Zn}) = 65,4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

1 Faraday :  $1 \text{ F} = 96\,500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

Masse volumique du zinc :  $\mu_{\text{Zn}} = 7,14 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ .

(Annales « zéro », ministère) / 4 points

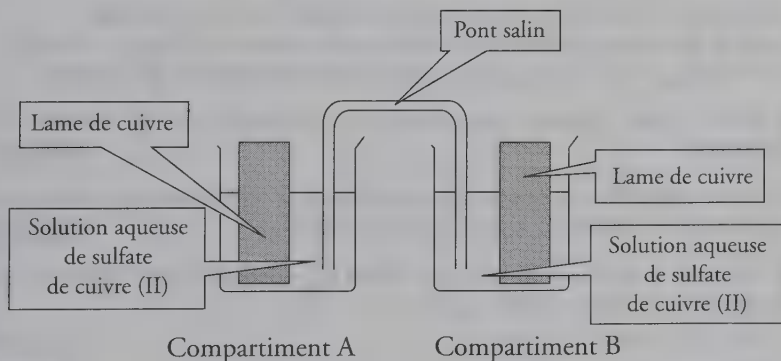
87

**DISPOSITIF DE CONTRÔLE INDUSTRIEL  
D'UNE CONCENTRATION MOLAIRE**

- Pile électrochimique
- Réactions aux électrodes
- Quotient de réaction  $Q_r$
- Constante d'équilibre  $K$

**Calculatrice NON autorisée.**

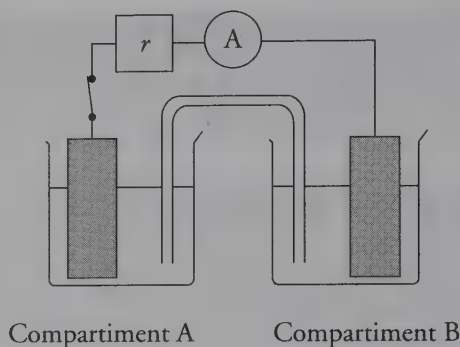
On réalise la pile schématisée ci-dessous en reliant par un pont salin deux compartiments contenant chacun une solution aqueuse de sulfate de cuivre (II) dans laquelle se trouve plongée une lame de cuivre. Les concentrations molaires en ions cuivre (II) dans les deux compartiments pourront prendre des valeurs égales ou différentes dans la suite de l'exercice.



**I** – Écrire la demi-équation électronique associée au couple  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})/\text{Cu}(\text{s})$ . **[0,25 pt]**

**II** – On réalise un circuit série comprenant la pile, un conducteur ohmique, un ampèremètre et un interrupteur, comme le montre le schéma ci-après.





- Au cours d'une première expérience on choisit :

$$[\text{Cu}^{2+}(\text{aq})_A] = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ et } [\text{Cu}^{2+}(\text{aq})_B] = 1,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

En fermant l'interrupteur, on constate le passage d'un courant électrique, l'apparition d'un dépôt de cuivre sur la lame du compartiment B et, dans le compartiment A, l'augmentation progressive de la coloration de la solution.

- Au cours d'une seconde expérience faite avec le même montage on choisit :

$$[\text{Cu}^{2+}(\text{aq})_A] = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

et

$$[\text{Cu}^{2+}(\text{aq})_B] = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

En fermant l'interrupteur, on ne constate aucune circulation de courant dans l'ampèremètre ni aucune modification du système chimique.

Dans la première expérience, en utilisant les notations  $\text{Cu}(\text{s})_A$ ,  $\text{Cu}(\text{s})_B$ ,  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})_A$ ,  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})_B$ , pour distinguer la provenance des espèces :

1. Écrire, pour chaque compartiment, l'équation de la réaction à l'électrode. [0,5 pt]
2. Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation chimique globale qui se déroule lorsque le courant circule. [0,5 pt]
3. Calculer le quotient de réaction initial  $Q_{r,i}$  associé à cette équation au moment où on ferme l'interrupteur :
  - a. dans la première expérience ; [0,5 pt]
  - b. dans la seconde expérience. [0,5 pt]
4. Que peut-on dire de l'état du système chimique dans la deuxième expérience, sachant que les réactions susceptibles de se produire sont rapides ? [0,25 pt]
5. En utilisant la question précédente, montrer qu'il est possible de connaître la valeur de la constante d'équilibre  $K$  associée à l'équation de la réaction. [0,5 pt]

6. Dans la première expérience, montrer que la comparaison de  $Q_{r,i}$  avec  $K$  pouvait permettre de prévoir la transformation chimique dans chacun des deux compartiments. [0,5 pt]

**III –** Certaines opérations d'électrometallurgie nécessitent que la concentration en ions métalliques des cuves de traitement soit maintenue quasiment constante. Le dispositif qui vient d'être étudié appelé « pile de concentration » est ici utilisé pour contrôler la concentration des ions  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$  dans le compartiment A où se déroule une opération industrielle de traitement chimique.

Au début de l'opération, les deux compartiments A et B de la pile contiennent la même solution d'ions  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ , le contrôle s'effectue avec un voltmètre placé aux bornes de la pile. Celui-ci indique une tension nulle au départ. Le compartiment A est utilisé pour une opération industrielle qui modifie la concentration des ions  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$  tandis que le compartiment B reste isolé du processus et ne subit aucune modification. Au bout de quelques heures de fonctionnement on mesure une tension de 10 mV entre les deux lames de cuivre, la lame du compartiment B constituant le pôle négatif de la pile.

En déduire si, au moment où il effectue cette mesure de contrôle, l'ingénieur responsable du dispositif devra demander de diluer la solution du compartiment A ou au contraire d'y ajouter du sulfate de cuivre (II), afin de ramener la concentration en ion  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$  à la valeur initiale. [0,5 pt]

# COMMENT LE CHIMISTE CONTRÔLE-T-IL LES TRANSFORMATIONS DE LA MATIÈRE ?

Amérique du Sud, novembre 2002 / 4 points

88

## L'ASPIRINE

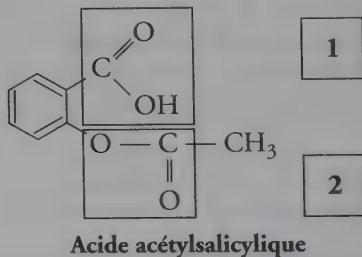
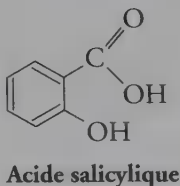
- Groupes caractéristiques
- Couple acide/base conjugués
- Préparation de l'aspirine

### Calculatrice autorisée

Données :

Masse molaire de l'aspirine :  $180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

Formules de l'acide salicylique et de l'aspirine (ou acide acétylsalicylique) :



### I – Les groupes fonctionnels

Sur la molécule d'acide acétylsalicylique deux groupes ont été encadrés. Préciser les familles auxquelles ils appartiennent. [0,5 pt]

### II – L'aspirine est un acide de $\text{pK}_A = 3,5$

1. Donner la formule de sa base conjuguée. [0,25 pt]
2. Écrire l'équation de la réaction de l'aspirine avec l'eau. [0,25 pt]
3. Le pH est voisin de 1 dans l'estomac et de 8 dans l'intestin. Sous quelle forme prédominante se trouve ce médicament dans ces deux organes ? [0,5 pt]

### III – Préparation de l'aspirine

1. Comment s'appelle la réaction qui permet d'obtenir de l'aspirine à

partir d'acide salicylique et d'un acide carboxylique dont on précisera le nom ? [0,5 pt]

2. On peut préparer de l'aspirine en utilisant un dérivé de l'acide.

a. Préciser la formule de ce dérivé.

[0,25 pt]

b. Quel est l'intérêt de cette méthode ?

[0,25 pt]

## IV – Étude quantitative

À l'issue d'une préparation de l'aspirine, on a obtenu 400 mg de fins cristaux blancs.

On les dissout dans une fiole jaugée de 100 mL et on complète avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. La totalité de la solution obtenue est transvasée dans un bécher avec les eaux de rinçage de la fiole.

Après ajout d'un indicateur coloré approprié, on effectue son dosage par une solution d'hydroxyde de sodium de concentration  $C_B = 0,100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

Il faut verser 20,0 mL de solution d'hydroxyde de sodium pour atteindre l'équivalence.

1. Écrire l'équation de la réaction qui sert de support au dosage. Pour simplifier l'écriture, l'aspirine pourra être désignée par HA. [0,5 pt]

2. Calculer la quantité d'aspirine contenue dans la solution. En déduire la masse d'aspirine contenue dans les cristaux. Conclure. [1 pt]

Polynésie, septembre 2002 / 5 points

89

## VITAMINE A – CHIMIE DE LA VISION

- Isomérisation
- Synthèse de la vitamine A
- Chauffage à reflux
- Rendement

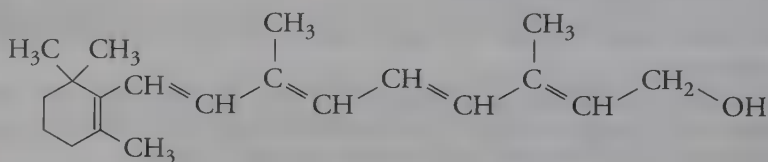
Calculatrice autorisée

### > DOCUMENT

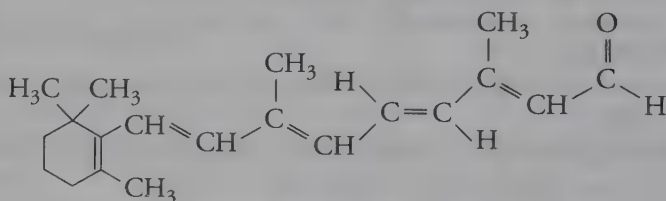
La vitamine A (appelée rétinol) est un facteur nutritionnel important pour la vision. Une carence en vitamine A provoque l'héméralopie (diminution considérable de la vision lorsque l'éclairage est faible). Les organismes

vivants oxydent cette vitamine en rétinal trans grâce à une enzyme, la *rétinol déshydrogénase*. Le rétinal trans est présent dans les cellules photosensibles de l'œil humain, mais avant de pouvoir accomplir sa fonction biologique, il doit être isomérisé en une autre molécule, le rétinal cis grâce à une deuxième enzyme, la *rétinal isomérase*. Ceci constitue la première étape du mécanisme de la vision.

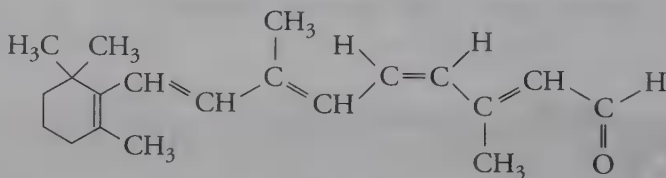
D'après « Chimie organique. Vollhardt. De Boeck Université. »



**Vitamine A**



**Rétinal trans**



**Rétinal cis**

## > QUESTIONS

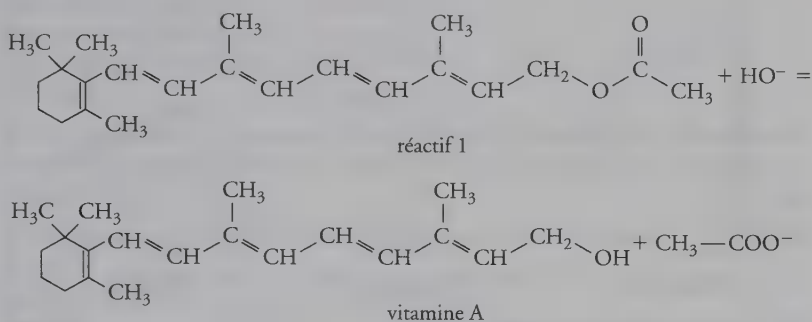
### I – Étude de l'isomérisation

1. Quelle est la fonction oxygénée présente dans le rétinal (cis ou trans) ?  
[0,25 pt]
2. Quel type d'isomérisation existe-t-il entre le rétinal trans et le rétinal cis ?  
Attribuer un autre nom à chacun des deux isomères.  
[0,5 pt]
3. Les enzymes sont des catalyseurs biologiques. Donner la définition d'un catalyseur.  
[0,25 pt]

### II – Synthèse de la vitamine A

Une des étapes de la synthèse de la vitamine A mise au point par une société

chimique allemande est la réaction suivante :



*Données :*

Masse molaire moléculaire du réactif 1 :  $M_1 = 328 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

Masse molaire moléculaire de la vitamine A :  $M_A = 286 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

Solubilité de la vitamine A dans l'eau salée : très faible.

Solubilité de l'acétate de sodium dans l'eau salée : élevée.

### Mode opératoire :

On place dans un ballon  $m_1 = 5,4 \text{ g}$  du réactif 1. On ajoute  $v_B = 10 \text{ mL}$  d'une solution d'hydroxyde de sodium de concentration molaire égale à  $c_B = 3,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  et quelques grains de pierre ponce. On chauffe à reflux pendant deux heures.

On laisse refroidir puis on verse le mélange réactionnel dans un bécher. On ajoute  $50 \text{ mL}$  d'une solution saturée de chlorure de sodium ( $\text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ ). Un précipité apparaît. On filtre sur Buchner. Après purification et séchage, on obtient  $m_A = 4,2 \text{ g}$  de vitamine A.

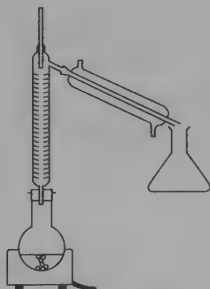
1. Quelle est la fonction oxygénée présente dans le réactif 1 ? Même question pour la vitamine A. [0,5 pt]

2. Quel est le nom de la réaction chimique qui s'est produite dans le ballon ? Donner ses caractéristiques. [0,5 pt]

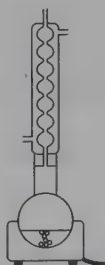
3. Quel est le rôle du chauffage ? Pourquoi chauffe-t-on « à reflux » ? [0,5 pt]

4. Parmi les montages ci-après, choisir celui qui convient. Justifier votre choix.

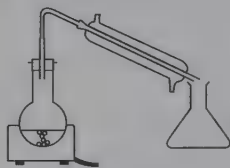
Sans refaire le schéma, donner les noms des différentes parties du montage et préciser le sens de circulation de l'eau. [0,75 pt]



Montage 1



Montage 2



Montage 3

5. À quoi sert la pierre ponce ? [0,25 pt]
6. Comment s'appelle l'opération consistant à ajouter une solution saturée de chlorure de sodium au mélange réactionnel ? Quel est son rôle ? [0,5 pt]
7. a. Le mélange initial a-t-il été préparé dans les proportions stœchiométriques ? [0,25 pt]
- b. Calculer le rendement de la synthèse au bout des deux heures de chauffage. [0,5 pt]
- c. La réaction est-elle terminée au bout de ces deux heures ? [0,25 pt]

France métropolitaine, septembre 2002 / 3 points

90

## AUTOUR DU CARBONE (SUJET PARTIEL)

- Estérification
- Savon
- Comparaison de réactions
- Stéréoisomérisation *Z/E*

## Calculatrice NON autorisée

Cet exercice aborde des notions de stéréochimie et quelques réactions de chimie organique.

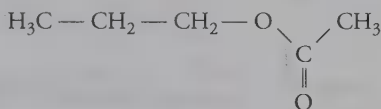
Pour chacune des propositions numérotées 1, 2, 3, 4.a., 4.b. et 4.c., vous répondrez par **vrai** ou par **faux** en justifiant à l'aide d'exemples ou de contre-exemples ou de définition ou d'équation-bilan...

*Toute réponse doit être accompagnée de justifications ou de commentaires.*



1. L'éthanoate de propyle, dont la formule est représentée ci-contre, peut être synthétisé en faisant réagir directement l'acide propanoïque et l'éthanol.

[0,5 pt]



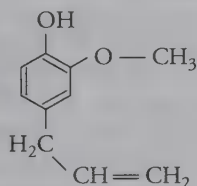
2. Les réactions de formation des esters à partir des anhydrides d'acide ont les mêmes caractéristiques que les réactions de formation des esters à partir des acides carboxyliques.

[0,5 pt]

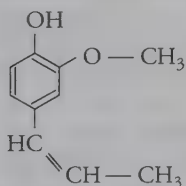
3. L'ion carboxylate d'un savon présente une partie hydrophile.

[0,5 pt]

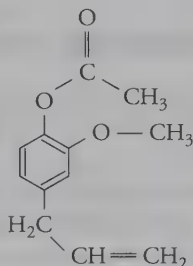
4. Parmi les composés A (eugénol), B (isoeugénol) et D (acétyleugénol), dont les formules respectives sont les suivantes :



A



B



D

a. D possède un groupe « caractéristique » (ou fonctionnel) ester.

[0,5 pt]

b. D peut être préparé par réaction de A avec l'anhydride acétique (ou anhydride éthanoïque).

[0,5 pt]

c. tous présentent la stéréoisomérisation *Z/E*.

[0,5 pt]

Nouvelle Calédonie, décembre 2002 / 5,5 points

91

## PROTOCOLES ET RENDEMENTS

- Estérification
- Rendement
- Choix d'un protocole
- Décantation

Calculatrice NON autorisée

Données :

| composé                     | acide éthanoïque | acide sulfurique | pentan-1-ol | produit organique formé noté P | anhydride d'acide noté R |
|-----------------------------|------------------|------------------|-------------|--------------------------------|--------------------------|
| densité par rapport à l'eau | 1,05             | 1,84             | 0,81        | 0,88                           | 1,08                     |
| solubilité dans l'eau       | infinie          | infinie          | quasi nulle | très faible                    | faible                   |

En milieu acide aqueux R réagit sur l'eau (réaction quantitative et relativement rapide), on obtient l'acide carboxylique correspondant.

## I – Utilisation d'un acide carboxylique

1. En utilisant les formules semi-développées, écrire l'équation de la réaction entre l'acide éthanoïque et le pentan-1-ol qui conduit au produit P. [0,25 pt]

2. Dans un erlenmeyer, on introduit  $n_1 = 5,0 \times 10^{-2}$  mol d'acide éthanoïque (acide acétique) pur et  $n_2 = 5,0 \times 10^{-2}$  mol de pentan-1-ol. On bouche l'erlenmeyer et on laisse le mélange évoluer à température ambiante. Au bout de quatre jours, on dose à froid l'acide restant à l'aide d'une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium (soude) de concentration  $C_b = 2,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  en présence d'un indicateur coloré. On admet que la réaction entre l'acide éthanoïque et la soude est la seule qui intervient. Le virage de l'indicateur est obtenu pour un volume de solution de soude  $V_{be} = 24,5 \text{ mL}$ .

a. Faire un schéma annoté du dispositif du dosage. [0,5 pt]

b. Écrire l'équation de la réaction support du dosage. [0,25 pt]

c. Calculer la quantité d'acide dosé. En déduire la quantité de produit organique P formé et vérifier que le rendement de la réaction de formation de P à cette date a pour valeur 2 %. [0,75 pt]

3. On renouvelle la même manipulation qu'au 1.2. avec les mêmes quantités de réactifs et la durée de l'expérience est la même mais on réalise l'expérience en portant le milieu réactionnel à ébullition sans perte de matière (« montage à reflux »). Au bout de quatre jours la composition du mélange a cessé d'évoluer.

a. Le rendement obtenu est très supérieur à 2 % ; pourquoi ? [0,25 pt]

b. En supposant que la manipulation ait été réalisée dans des conditions idéales, peut-on attendre un rendement de 100 % ? Pourquoi ? [0,25 pt]

4. On recommence l'expérience du 3. mais on ajoute aux réactifs une faible quantité connue d'acide sulfurique concentré.

Au bout de quatre jours, le rendement sera-t-il inférieur, égal ou supérieur à celui obtenu au 1.3. ? Justifier.

[0,5 pt]

## II – Utilisation d'un anhydride d'acide

Pour obtenir le produit P on fait maintenant réagir 0,10 mol de pentan-1-ol et 0,12 mol d'un anhydride d'acide, noté R.

### 1. La réaction

a. Donner la formule développée de R.

[0,25 pt]

b. Écrire l'équation de cette réaction en utilisant des formules semi-développées.

[0,25 pt]

c. Donner deux caractéristiques de cette réaction.

[0,25 pt]

2. La synthèse est réalisée selon le protocole suivant :

1) Dans un erlenmeyer, introduire l'alcool et l'anhydride d'acide puis ajouter quatre gouttes d'acide sulfurique à 95 %.

2) Installer un réfrigérant à boules sur l'erlenmeyer. Porter le mélange à ébullition et maintenir à reflux durant une heure.

3) Refroidir le mélange réactionnel dans un bain d'eau froide.

4) Transférer le mélange réactionnel dans une ampoule à décanter.

5) Ajouter 10 mL d'eau, agiter, laisser décanter et éliminer la phase aqueuse.

6) Ajouter 15 mL de solution de carbonate de sodium à 10 %, laisser décanter. Éliminer la phase aqueuse et vérifier qu'elle est quasiment neutre.

7) Ajouter de nouveau 10 mL d'eau, agiter, laisser décanter et éliminer la phase aqueuse.

8) Récupérer la phase organique et la sécher sur sulfate de magnésium anhydre.

a. Avant l'élimination de la phase aqueuse lors de l'opération (5), préciser la composition des deux phases. Préciser sur un schéma leurs positions relatives.

[0,75 pt]

b. Décrire, avec précision, les différentes étapes de l'utilisation d'une ampoule à décanter.

[0,75 pt]

3. On a obtenu  $8,0 \times 10^{-2}$  mol d'ester. Calculer le rendement de cette synthèse.

[0,5 pt]

Liban, juin 2003 / 4 points

**92****ÉTUDE DE L'ESTÉRIFICATION**

- Cinétique d'une réaction
- Tableau d'avancement
- Influence de la température

**Calculatrice autorisée**

Deux étudiants décident de refaire les expériences réalisées en 1862 par les chimistes Marcellin Berthelot et Léon Péan de Saint-Gilles, concernant la réaction d'estérification à partir de l'acide éthanoïque et de l'éthanol.

Ils préparent dix ampoules identiques. Ils introduisent dans chaque ampoule 0,10 mol de chacun des réactifs. Les ampoules sont fermées hermétiquement et placées dans une enceinte à température constante de 100 °C, à une date prise comme date initiale ( $t = 0$ ).

À une date  $t$  donnée, ils sortent une ampoule de l'enceinte, la refroidissent rapidement et effectuent un dosage de l'acide éthanoïque restant avec une solution titrée d'hydroxyde de sodium en présence de phénolphthaléine. Le tableau donné ci-après (à rendre avec la copie) donne les résultats des dosages successifs.

**Résultats des dosages des dix ampoules : quantité de matière d'acide éthanoïque ( $n$ ) en fonction de la date de prélèvement ( $t$ )**

| Date $t$ (en h)                      | 0   | 4  | 10 | 20 | 40 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 |
|--------------------------------------|-----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Quantité de matière $n$<br>(en mmol) | 100 | 75 | 64 | 52 | 44 | 36  | 35  | 34  | 33  | 33  |
| Avancement final $x_f$<br>(en mmol)  |     |    |    |    |    |     |     |     |     |     |
| Taux d'avancement $\tau$             |     |    |    |    |    |     |     |     |     |     |

- Écrire l'équation de la réaction associée à l'estérification qui se produit dans chaque ampoule. Nommer l'ester formé. **[0,5 pt]**
- Pourquoi refroidit-on rapidement les ampoules avant chaque dosage ? **[0,25 pt]**
- À l'aide du tableau d'avancement de la réaction ayant lieu dans chaque ampoule :
  - Déterminer l'avancement maximal  $x_{\max}$ . **[0,25 pt]**
  - Calculer l'avancement final  $x_f$  dans chaque ampoule. Reporter ces valeurs dans le tableau donné ci-dessus (à rendre avec la copie). **[0,75 pt]**

4. Définir le taux d'avancement final  $\tau$ . Pour chaque ampoule, calculer ce taux d'avancement et reporter ces valeurs dans le tableau donné ci-dessus (à rendre avec la copie). **[0,75 pt]**

5. Sur une feuille de papier millimétré, tracer la courbe  $\tau(t)$  représentant la variation du taux d'avancement de l'estérification en fonction du temps.

Échelles : – en abscisse 1 cm représente 20 h ;

– en ordonnée 1 cm représente 0,05 (ou 5 %).

**[0,75 pt]**

6. À partir de l'allure de la courbe  $\tau(t)$ , énoncer deux propriétés de la transformation étudiée. **[0,5 pt]**

7. Tracer, sur le même graphe, l'allure de la courbe qui serait obtenue si l'expérience était réalisée à une température plus élevée. Justifier. **[0,25 pt]**

Inde, avril 2003 / 6 points

93

## ÉTUDE D'UNE ESTÉRIFICATION

- Formation d'un ester
- Titrage d'un acide
- Constante d'équilibre
- Rendement d'une réaction
- Déplacement d'équilibre
- Vitesse volumique d'une réaction

### Calculatrice autorisée

Données :

- $pK_A(\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COO}^-) = 4,8$  ;  $pK_E = 14$ .
- Masses atomiques molaires :  $\text{H} = 1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ;  $\text{C} = 12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ;  $\text{O} = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .
- Masse volumique du propan-1-ol :  $0,80 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ .

On étudie la cinétique de la formation d'un ester à partir d'acide éthanoïque et de propan-1-ol.

On maintient, à la température constante  $\theta$ , sept erlenmeyers numérotés 1, 2, 3 ... 7, contenant chacun un mélange de 0,500 mol d'acide éthanoïque et de 0,500 mol de propan-1-ol.

Ces tubes sont tous préparés à l'instant  $t = 0$  et on dose d'heure en heure

l'acide restant dans le mélange. On peut ainsi en déduire la quantité de matière d'ester formé :

- à  $t = 1$  h, dosage du tube n° 1,
- à  $t = 2$  h, dosage du tube n° 2, etc.

## I – La réaction d'estérification

1. En utilisant les formules semi-développées, écrire l'équation de la réaction d'estérification et nommer l'ester formé. **[0,25 pt]**
2. On dispose d'un flacon de propan-1-ol pur. Quel volume de cet alcool doit-on verser dans chacun des sept erlenmeyers ? **[0,5 pt]**
3. Exprimer la quantité de matière d'ester formé dans un erlenmeyer à une date  $t$  en fonction de la quantité de matière d'acide restant. **[0,25 pt]**

## II – Titrage de l'acide restant

### Mode opératoire :

À la date  $t$  considérée, le contenu de l'erlenmeyer est versé dans une fiole jaugée puis dilué avec de l'eau distillée pour obtenir 100 mL de solution. On en prélève 5 mL que l'on verse dans un bécher. On titre cette solution par une solution d'hydroxyde de sodium de concentration  $c_b = 1,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . On en déduit la quantité de matière d'acide restant dans le bécher puis dans les 100 mL de départ, ce qui permet de déterminer la quantité d'ester au temps  $t$  dans les 100 mL de départ.

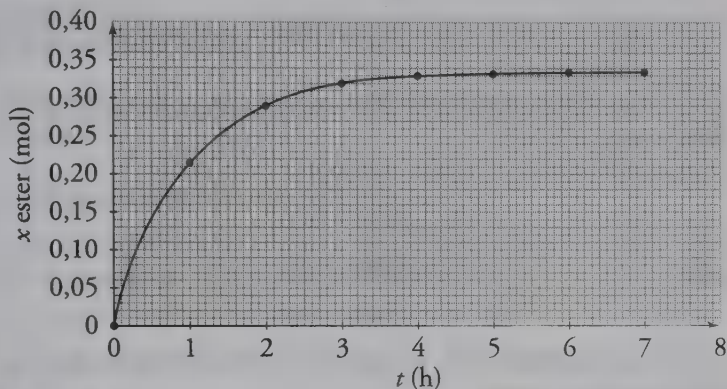
1. Écrire l'équation chimique de la réaction de titrage. **[0,25 pt]**
2. Rappeler la définition de la constante d'acidité de l'acide éthanoïque. En déduire l'expression de la constante d'équilibre  $K$  associée à la réaction de titrage. Calculer la valeur numérique de  $K$ . Cette réaction de titrage peut-elle être considérée comme totale ? **[1 pt]**
3. Pour l'erlenmeyer n° 1 ( $t = 1$  h), le volume de solution de soude versé pour atteindre l'équivalence est de 14,2 mL. En déduire la quantité de matière d'acide restant dans l'erlenmeyer et la quantité de matière d'ester formé. **[0,75 pt]**

## III – Cinétique de la réaction d'estérification

Le titrage des solutions contenues dans les sept erlenmeyers précédents a permis le tracé de la courbe donnée ci-après.

L'avancement de la réaction est défini par la quantité de matière  $x$  d'ester formé.

$$x_{\text{ester}} = f(t)$$



1. Dresser le tableau descriptif de l'évolution du système.  
Déterminer l'avancement maximal  $x_{\text{max}}$  ainsi que l'avancement à l'équilibre  $x_{\text{eq}}$ . Comparer ces deux valeurs et déterminer le rendement  $\rho$  de la réaction. **[1 pt]**
2. Rappeler l'expression de la vitesse volumique  $v$  d'une réaction.  
Quelle interprétation géométrique ou graphique peut-on en donner ?  
Comment cette vitesse évolue-t-elle au cours de la transformation ?  
Justifier. **[0,75 pt]**
3. Calculer la constante d'équilibre  $K'$  de cette réaction d'estérification. **[0,25 pt]**
4. Pour déplacer l'équilibre, on ajoute une mole d'acide supplémentaire.  
Calculer le quotient de réaction  $Q_r$  et déterminer le sens de l'évolution du système. Déterminer les nouvelles valeurs de l'avancement à l'équilibre et du rendement de la réaction. **[1 pt]**

(Ministère) / 5,5 points

94

## PROCÉDÉ DISCONTINU DE FABRICATION DU SAVON

- Saponification
- Caractéristiques de l'ion carboxylate
- Micelles
- Vitesse de réaction

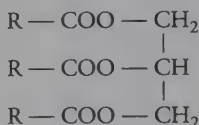
Calculatrice NON autorisée



Depuis très longtemps, la réaction de saponification des triglycérides (triesters du glycérol) par la soude (solution aqueuse d'hydroxyde de sodium) permet la fabrication du savon, les triglycérides utilisés étant des mélanges de graisses et d'huiles.

Ce procédé est encore utilisé et 90 000 tonnes de savon sont ainsi fabriqués en France chaque année.

Les triglycérides ont une formule développée de la forme :

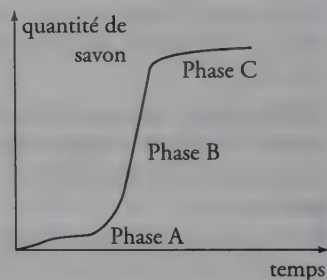


Lascaray a obtenu l'allure de la courbe donnant la quantité de savon fabriqué en fonction du temps.

On peut distinguer trois phases :

### Phase A : démarrage de la saponification

La qualité et la finesse de l'émulsion (mélange forcé de deux liquides non miscibles) produite lors de l'agitation du mélange réactionnel des réactifs influe sur la vitesse de démarrage de la réaction.



### Phase B : saponification

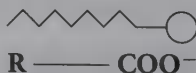
Les ions carboxylate formés au cours de la première phase facilitent la dispersion de la graisse dans l'eau grâce à la formation de micelles.

### Phase C : fin de la saponification

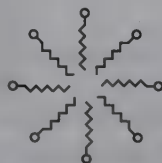
*D'après « techniques de l'ingénieur, traité Génie et procédés chimiques ».*

On rappelle pour la compréhension de ces trois phases :

- que les graisses et les huiles sont non miscibles (insolubles) dans l'eau ;
- que l'ion carboxylate peut être schématisé de la façon suivante :



- que dans l'eau, les micelles sont des agglomérats d'ions carboxylate (voir figure ci-contre).



## I – Interprétation des propriétés du savon

1. Écrire l'équation de la réaction de saponification d'un triglycéride par la soude. [0,5 pt]
2. Indiquer quelles sont les parties hydrophile et hydrophobe de l'ion carboxylate. [0,5 pt]

## II – Interprétation de la courbe

1. Décrire l'évolution de la vitesse de saponification au cours de chacune des trois phases. [0,75 pt]
2. Phase A
  - a. Expliquer pourquoi lors de la phase A, l'émulsion n'est pas de bonne qualité. [0,25 pt]
  - b. Quel est alors l'intérêt d'agiter ? [0,25 pt]
3. Phase B
  - a. Expliquer l'expression du texte : « *Les ions carboxylate formés au cours de la première phase facilitent la dispersion de la graisse dans l'eau grâce à la formation de micelles* ». Faire un schéma. [0,5 pt]
  - b. Quel intérêt y a-t-il à disperser la graisse dans l'eau ? [0,25 pt]
4. Citer le facteur cinétique qui explique que, lors de la phase C de fin de saponification, la vitesse de la réaction diminue. Justifier la réponse. [0,5 pt]

## III – Un procédé discontinu de fabrication du savon : le procédé marseillais

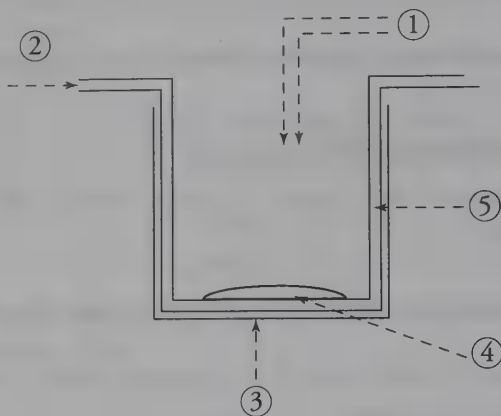
Ce procédé très ancien a été amélioré au cours du temps, particulièrement à Marseille d'où le nom de procédé marseillais qui lui est souvent donné. Sur un fond de savon provenant d'une cuve précédente et à ébullition, on envoie en même temps et à débit mesuré la graisse et la soude de telle façon que la réaction de saponification se fasse au fur et à mesure.

On fait bouillir le mélange grâce à la vapeur d'eau qui circule au fond de la cuve dans un serpent.

Ce procédé est qualifié de « discontinu » car on vide la cuve périodiquement pour récupérer le savon.

1. En s'appuyant sur le texte, compléter la légende du schéma en associant à chaque numéro un terme (matériel, substances chimiques). Les flèches en trait pointillé représentent du matériel alors que les flèches en trait plein représentent ce qui est introduit. [1,25 pt]
2. Étant donné ce qui a été vu en première partie, pourquoi introduit-on « *un fond de savon* » dans la cuve ? [0,25 pt]

3. Par quel moyen le mélange est-il porté à ébullition ? Quel est l'intérêt de faire bouillir le mélange ? [0,5 pt]



Asie, juin 2003 / 4 points

95

## FABRICATION ET PROPRIÉTÉS D'UN SAVON

- Chauffage à reflux
- Tableau d'avancement
- Rendement d'une réaction
- Solubilité d'un savon

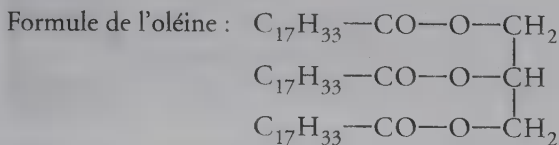
Calculatrice autorisée

### I - La fabrication d'un savon

La fabrication du savon est l'une des plus anciennes utilisations des corps gras. Jusqu'au milieu du XX<sup>e</sup> siècle, elle se réalisait dans des chaudrons, en milieu aqueux. L'opération était longue et fastidieuse.

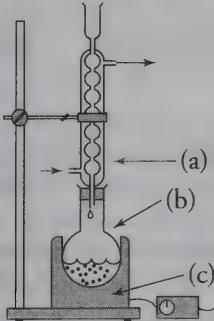
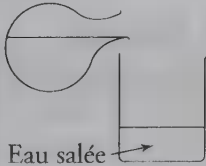
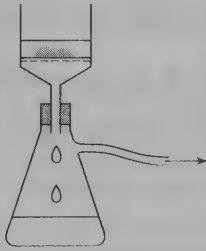
En travaux pratiques, on la réalise plus rapidement, en solution alcoolique, selon les mêmes étapes.

Données :



| réactifs                    | oléine    | hydroxyde de sodium (soude) | savon       |
|-----------------------------|-----------|-----------------------------|-------------|
| Solubilité dans l'eau       | insoluble | soluble                     | soluble     |
| Solubilité dans l'éthanol   | soluble   | soluble                     |             |
| Solubilité dans l'eau salée | insoluble | soluble                     | peu soluble |

|                                                                  | oléine | hydroxyde de sodium (soude) | savon |
|------------------------------------------------------------------|--------|-----------------------------|-------|
| Masse molaire moléculaire<br>en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ | 884    | 40                          | 304   |

| Étape 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Étape 2                                                                                                                                                                                                                                        | Étape 3                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>On chauffe pendant trente minutes, un mélange de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <math>2,0 \times 10^{-2}</math> mol d'huile de soja, (essentiellement constituée d'oléine) ;</li> <li>– <math>5,0 \times 10^{-2}</math> mol d'hydroxyde de sodium (soude) ;</li> <li>– 2 mL d'éthanol ;</li> <li>– quelques grains de pierre ponce.</li> </ul> |  <p>On laisse refroidir le mélange quelques minutes puis on le transvase dans un bécher contenant une solution aqueuse concentrée de chlorure de sodium.</p> |  <p>Le précipité obtenu est filtré, rincé à l'eau salée, séché puis pesé. La masse expérimentale obtenue est <math>m_{\text{exp}} = 10,5 \text{ g}</math>.</p> |

## 1. À propos du mode opératoire

a. Préciser le nom de l'opération réalisée aux étapes 1 et 3.

[0,125 pt]

b. Justifier, en vous aidant du tableau des solubilités, l'emploi de l'eau salée dans l'étape 2. **[0,25 pt]**

c. Nommer les éléments (a), (b), (c), du montage utilisé dans l'étape 1. Quel est le rôle de l'élément (a) ? **[0,5 pt]**

d. Quel est le rôle de la pierre ponce ? **[0,125 pt]**

e. Pourquoi opère-t-on à chaud ? **[0,125 pt]**

## 2. Étude quantitative

a. Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation qui a lieu dans l'étape 1 en utilisant les formules semi-développées. Nommer les produits obtenus (1 et 2). **[0,5 pt]**

b. Compléter le tableau d'avancement donné ci-dessous (à rendre avec la copie). En déduire quel est le réactif limitant. **[1 pt]**

|                                                            | oléine | soude | produit 1 | produit 2 |
|------------------------------------------------------------|--------|-------|-----------|-----------|
| Quantité de matière dans l'état initial<br>(en mol)        |        |       |           |           |
| Quantité de matière en cours de<br>transformation (en mol) |        |       |           |           |
| Quantité de matière dans l'état final<br>(en mol)          |        |       |           |           |

c. Définir puis calculer le rendement de cette transformation. **[0,5 pt]**

## II – Les propriétés du savon

L'ion carboxylate du savon peut être schématisé ainsi : 

La partie rectiligne représente la chaîne carbonée, la partie circulaire le groupe carboxylate.

1. Identifier la partie hydrophile et la partie hydrophobe et justifier la solubilité du savon dans l'eau. **[0,375 pt]**

2. L'eau savonneuse a un pH supérieur à 7 du fait des propriétés basiques de l'ion carboxylate.

Écrire l'équation de la réaction entre l'ion carboxylate et l'eau en précisant les couples acido-basiques qui interviennent. **[0,5 pt]**

Nouvelle Calédonie, novembre 2001 / 5 points

96

**UN BIOCARBURANT : L'ESTER MÉTHYLIQUE DE COLZA**

- Préparation d'ester
- Rendement
- Corps gras

**Calculatrice NON autorisée****> DOCUMENT**

Dès 1987, la France a autorisé la fabrication de biocarburants (carburants d'origine agricole), destinés à être incorporés aux carburants et au fioul domestique.

Parmi eux, on trouve les esters méthyliques d'huiles végétales (E.M.H.V.) synthétisés à partir d'huile de colza ou d'huile de tournesol et de méthanol. (Aucune connaissance théorique n'est nécessaire à propos de cette réaction.) Pour synthétiser l'ester méthylique de colza ou EMC, un laboratoire de recherche propose le protocole suivant.

*Réactifs :*

Les réactifs mis en jeu sont l'huile de colza, considérée constituée exclusivement de trilinoléate de glycéryle, et le méthanol anhydre. La réaction est catalysée.

huile de colza :  $m_1 = 100 \text{ g}$  ; méthanol :  $m_2 = 25 \text{ g}$

*Opérations :*

1) Préparation du mélange réactionnel : introduire dans le ballon, l'huile, le méthanol puis après agitation, quelques gouttes de catalyseur.

2) Réaction : chauffer à reflux à  $80^\circ\text{C}$  tout en agitant énergiquement à l'aide d'un agitateur magnétique. Au bout d'une heure, la réaction est terminée.

3) Séparation : séparer l'ester par gravité.

4) Purification de l'ester : l'ester ayant une température d'ébullition élevée, les espèces parasites présentes seront éliminées par une distillation.

*Données :***Tableau simplifié de miscibilité (solubilité)**

|          | méthanol | EMC      | glycérol     |
|----------|----------|----------|--------------|
| méthanol |          | miscible | miscible     |
| EMC      | miscible |          | non miscible |

| Nom du réactif ou du produit                                            | méthanol | trilinoléate de glycérile (huile de colza) | linoléate de méthyle (EMC) | glycérol |
|-------------------------------------------------------------------------|----------|--------------------------------------------|----------------------------|----------|
| Masse volumique à 25 °C (en g/cm <sup>3</sup> ou g · cm <sup>-3</sup> ) | 0,79     | 0,82                                       | 0,89                       | 1,25     |
| Masse molaire (en g · mol <sup>-1</sup> )                               | 32       | 878                                        | 294                        | 92       |
| Température d'ébullition (en °C) sous pression normale                  | 65       | > 200                                      | > 200                      | 148      |

## > QUESTIONS

L'ordre de grandeur d'un nombre est la puissance de 10 la plus proche de ce nombre :  $10^n$ , n, entier relatif.

### I – Préliminaires et approche théorique

1. Le linoléate de méthyle (EMC) pourrait éventuellement être obtenu par une réaction d'estérification entre l'acide linoléique de formule  $C_{17}H_{31}CO_2H$  et le méthanol de formule  $CH_3OH$ .

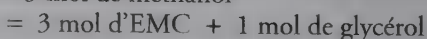
a. Sans développer le groupe ( $C_{17}H_{31}-$ ), donner la formule semi-développée du linoléate de méthyle en faisant apparaître clairement le groupe fonctionnel ester.

[0,25 pt]

b. Écrire l'équation-bilan de la réaction proposée dans cette question.

[0,25 pt]

2. Le protocole expérimental communiqué par le laboratoire de recherche correspond à un autre type de réaction dont le bilan stœchiométrique est :



Évaluer l'ordre de grandeur de la masse  $m_2'$  de méthanol qu'il faudrait faire réagir avec la masse  $m_1 = 100 \text{ g}$  d'huile de colza dans les conditions stœchiométriques. Justifier la réponse.

[1 pt]

### II – Étude du protocole

Pour traiter les questions 1. à 6. comprise, exploiter les données des tableaux précédents.

1. Montrer que, dans les conditions expérimentales du protocole, le méthanol est en excès.

[0,5 pt]

2. Calculer l'ordre de grandeur de la masse maximale d'EMC que l'on peut ainsi espérer obtenir.

[0,75 pt]

3. a. Quelles sont les espèces présentes dans le mélange réactionnel quand la réaction est terminée ?

[0,5 pt]

b. Choisir, sans justifier, parmi les quatre méthodes proposées celle qui



permet de séparer par gravité, la phase liquide contenant l'esther :

Distillation      Hydrodistillation

Décantation  
(dans une ampoule à décanter)

Filtration

[0,25 pt]

4. Quelle principale espèce parasite présente dans la phase contenant l'EMC élimine-t-on par distillation ? Justifier la réponse. [0,5 pt]

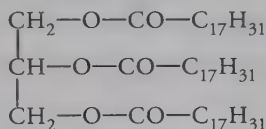
5. Le rendement de cette réaction est égal au rapport entre la masse d'EMC obtenue et celle d'EMC théoriquement attendue.

Sachant que le volume d'EMC obtenu est  $80 \text{ cm}^3$ , choisir, parmi les trois valeurs proposées ci-dessous, celle du rendement de cette synthèse :

42 %      71 %      100 %

[0,25 pt]

6. Les industriels signalent que l'utilisation d'une trop grande quantité de catalyseur favorise, dans les conditions de l'expérience, une réaction parasite entre les ions hydroxyde contenus dans le catalyseur et le trilinoléate de glycéryle dont la formule est donnée ci-contre :



a. Nommer ce type de réaction et donner ses caractéristiques.

[0,5 pt]

b. Proposer une équation-bilan pour cette réaction.

[0,25 pt]

Polynésie, juin 2003 / 4 points

97

## SYNTHÈSE D'UN ADDITIF ALIMENTAIRE À ODEUR DE RHUM

- Chauffage à reflux
- Constante de réaction
- Tableau d'avancement
- Rendement
- Distillation

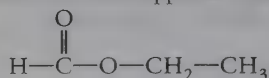
### Calculatrice autorisée

Le rhum est une boisson alcoolisée, fabriquée à partir de la canne à sucre. Chaque rhum a ses particularités gustatives dues à divers facteurs : variétés de cannes, lieux de cultures... Seules certaines boissons alcoolisées, directement issues de la canne ont droit à l'appellation « rhum ».

L'industrie alimentaire met sur le marché de nombreux produits à odeur de rhum mais, pour des raisons économiques, beaucoup ne contiennent pas de « rhum ». Ces produits tiennent leur odeur d'une molécule (notée Y) que l'on peut obtenir par synthèse.

Données :

Formule semi-développée de l'ester Y :



| Espèce | Masse molaire M<br>(g · mol <sup>-1</sup> ) | Température d'ébullition θ<br>(°C) |
|--------|---------------------------------------------|------------------------------------|
| A      | 46                                          | 101                                |
| B      | 46                                          | 78                                 |
| Y      | 74                                          | 55                                 |
| W      | 18                                          | 100                                |

## I – Transformation (N° 1) d'un mélange d'acide carboxylique (A) et d'alcool primaire (B)

1. Donner, en formules semi-développées, l'équation de la réaction de synthèse de Y. De façon simplifiée, elle sera notée :  $A + B = Y + W$ . [0,375 pt]

2. Nommer Y. [0,125 pt]

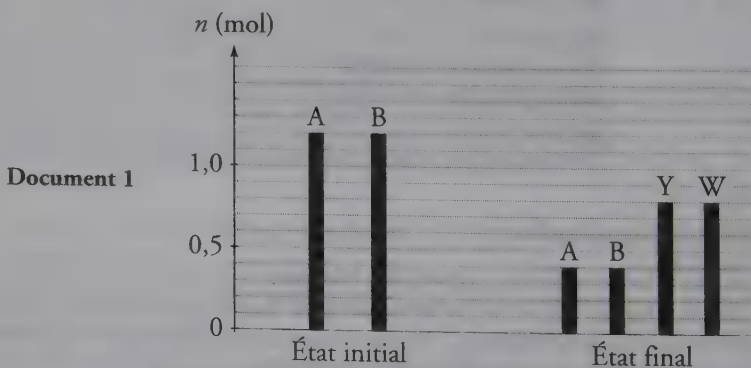
Dans un ballon de 250 mL contenant 1,20 mol de B, 4 gouttes de solution d'acide sulfurique concentré ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) et quelques grains de pierre ponce, on ajoute 1,20 mol de A (système  $S_1$ ).

On chauffe à reflux jusqu'à l'obtention de tout l'ester possible.

3. Le document 1 (ci-après) représente les quantités de matière des réactifs et des produits dans l'état initial et dans l'état final.

L'état final est-il un équilibre chimique ? Justifier.

[0,25 pt]



4. Calculer la constante de réaction  $K$  associée à cet équilibre. [0,5 pt]
5. Compléter le tableau d'avancement en faisant apparaître  $x$  et  $x_f$  (document 2, à rendre avec la copie). [0,5 pt]

## Document 2

| Équation de la réaction |                      | A           | + | B           | = | Y           | + | W           |
|-------------------------|----------------------|-------------|---|-------------|---|-------------|---|-------------|
| État du système         | Avancement $x$ (mol) | $n_A$ (mol) |   | $n_B$ (mol) |   | $n_Y$ (mol) |   | $n_W$ (mol) |
| initial                 | 0                    | 1,20        |   | 1,20        |   |             |   |             |
| intermédiaire           | $x$                  |             |   |             |   |             |   |             |
| final                   | $x_f$                |             |   |             |   |             |   |             |

6. Exprimer le quotient de réaction  $Q_r$  dans l'état intermédiaire où l'avancement est  $x$ . [0,25 pt]
7. Calculer l'avancement final  $x_f$ . Montrer que ce résultat est compatible avec les valeurs du tableau. [0,5 pt]
8. Calculer le rendement  $\eta_1$  de la transformation 1 (exprimé en pourcentage). [0,25 pt]

## II – Transformation (N° 2)

On considère un nouveau système  $S_2$ , que l'on chauffe à reflux.  $S_2$  ne diffère de  $S_1$  que par une donnée : on introduit 2,4 mol de A à la place de 1,2 mol. Quand l'équilibre est atteint, un dosage montre qu'il reste 1,4 mol de A. 1. Calculer le nouveau rendement  $\eta_2$ . [0,25 pt]

2. Comparer  $\eta_1$  et  $\eta_2$ , et justifier. [0,25 pt]

## III – Transformation (N° 3)

Le ballon contenant  $S_1$  est maintenant équipé d'une colonne à distiller et d'un réfrigérant, permettant la récupération d'un distillat. En tête de colonne, un thermomètre permet de suivre la température.

Celle-ci monte jusqu'à 55 °C environ et se stabilise pendant un certain temps. Lorsque la température monte à nouveau, on arrête le chauffage. On pèse alors le distillat recueilli :  $m = 85,8$  g.

1. Donner, en justifiant, la nature du distillat obtenu. [0,25 pt]
2. Calculer le rendement  $\eta_3$ . [0,25 pt]
3. Comparer  $\eta_1$  et  $\eta_3$ , et justifier. [0,25 pt]

# Enseignement de Spécialité

## EXTRAIRE ET IDENTIFIER DES ESPÈCES CHIMIQUES

Amérique du Nord, juin 2001 / 4 points

98

### EXTRACTION D'UN ARÔME : LA MENTHONE

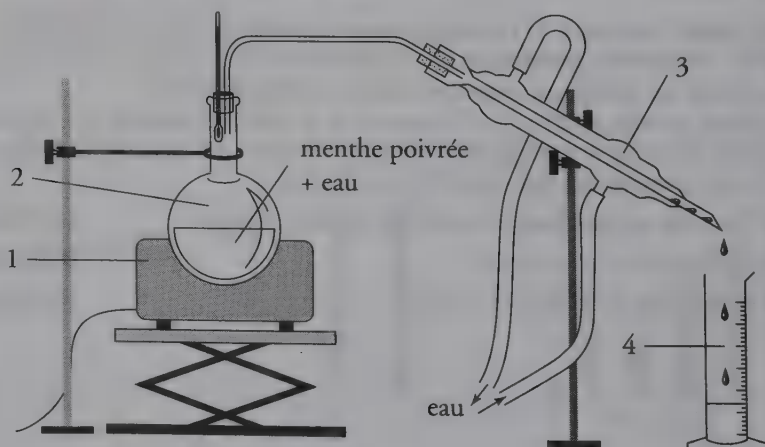
- Hydrodistillation
- Chromatographie
- Classes d'alcool
- Réaction redox
- Rendement

Calculatrice autorisée

#### I - L'arôme naturel

La menthone est un des constituants de certaines espèces de menthe dont la menthe poivrée « *Mentha piperita* ». Son odeur et sa saveur fraîche, analogues à celles de la menthe, en font un arôme très utilisé dans les produits alimentaires.

1. L'extraction de l'huile essentielle de la menthe poivrée se fait en utilisant le dispositif expérimental de la figure ci-après :



a. Donner le nom de cette technique.

[0,25 pt]

b. Nommer les différents éléments numérotés qui constituent ce montage.

[0,5 pt]

2. Pour vérifier la présence de menthone dans l'huile essentielle extraite, on réalise une chromatographie sur couche mince. L'éluant est un mélange constitué de 75 % de chloroforme et de 25 % de cyclohexane. Le chromatogramme est donné ci-dessous.

**Légende des dépôts :**

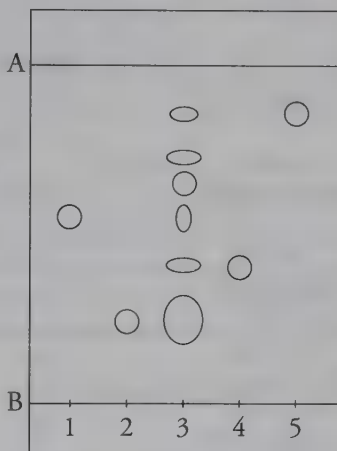
1 : dépôt de menthone

2 : dépôt de menthol

3 : dépôt d'huile essentielle de menthe poivrée

4 : dépôt d'eucalyptol

5 : dépôt de menthofuranne



a. Que matérialisent les deux traits situés en haut et en bas du chromatogramme et repérés par les lettres A et B ?

[0,25 pt]

b. En interprétant ce chromatogramme, nommer les substances contenues dans l'huile essentielle étudiée.

[0,25 pt]

c. Calculer, pour l'éluant et le support utilisé, le rapport frontal  $R_f$  de la menthone.

[0,25 pt]

## II - L'arôme artificiel

La menthone ne représente que 10 % de l'huile essentielle mais on peut préparer cet arôme par oxydation ménagée du menthol, lui-même obtenu par extraction de l'espèce végétale (50 % de l'huile essentielle).

1. À quelle classe d'alcool peut-on rattacher le menthol ?

Sous quel état physique se présente-t-il à 20 °C ?

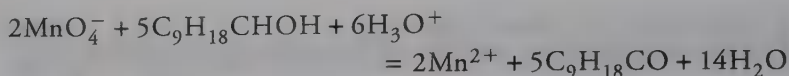
[0,25 pt]

2. Quel est le groupement fonctionnel porté par la menthone ?

Donner l'état physique de cette espèce chimique à 20 °C.

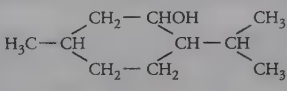
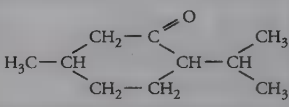
[0,25 pt]

3. L'oxydation du menthol est réalisée, en milieu acide, par l'ion permanganate  $\text{MnO}_4^-$  qui appartient au couple oxydant-réducteur  $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$ . Cette oxydation se traduit par l'équation suivante :



On se propose de traiter une masse  $m_1 = 15,6$  g de menthol. On utilise un volume  $V = 100$  mL de solution oxydante de concentration  $C = 0,80 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  acidifiée par quelques millilitres d'acide sulfurique concentré. Le dispositif expérimental utilisé est celui d'un chauffage à reflux.

Données :

|                                                   | Menthol                                                                           | Menthone                                                                          |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Formule brute                                     | $\text{C}_9\text{H}_{18}\text{CHOH}$                                              | $\text{C}_9\text{H}_{18}\text{CO}$                                                |
| Formule semi-développée                           |  |  |
| Couleur                                           | Blanc                                                                             | Incolore                                                                          |
| Masse molaire en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ | 156                                                                               | 154                                                                               |
| Température d'ébullition en $^{\circ}\text{C}$    | 215                                                                               | 209                                                                               |
| Température de fusion en $^{\circ}\text{C}$       | 43                                                                                | -6,5                                                                              |

- Quel est l'intérêt d'un chauffage à reflux ? [0,25 pt]
- Y a-t-il un réactif en excès ? Si oui, lequel ? Quelle masse théorique maximale  $m_2$  de menthone peut-on obtenir ? [0,50 pt]
- L'oxydation se déroule à une température de l'ordre de  $55^{\circ}\text{C}$ . Justifier la nécessité d'atteindre cette température. [0,25 pt]
- Le cyclohexane est un solvant organique de densité  $d = 0,78$  par rapport à l'eau et de température d'ébullition  $81^{\circ}\text{C}$ . Parmi les espèces chimiques présentes dans le ballon, seule la menthone est soluble dans le cyclohexane. On transvase le contenu du ballon dans une ampoule à décanter et on y ajoute du cyclohexane. On agite puis on laisse reposer. On observe la séparation de deux phases. Dans l'ampoule à décanter, quelle est la phase surnageante ? Justifier. [0,375 pt]
- La séparation de la menthone et du cyclohexane se fait par distillation. On obtient une masse  $m' = 11,2$  g de menthone.
  - Le procédé de séparation vous paraît-il judicieux ? [0,25 pt]
  - Calculer le rendement de cette préparation. [0,375 pt]

France métropolitaine, juin 2001 / 4 points

99

**HYDRODISTILLATION DE L'ESTRAGON  
(SUJET PARTIEL)**

- Décantation
- Déshydratation
- Chromatographie

**Calculatrice NON autorisée**

L'estragole et l'anéthole (appelé camphre d'anis) sont des substances utilisées en parfumerie et entrant dans la composition d'arômes pour les aliments et les boissons.

L'estragole existe dans les essences d'estragon (70 à 75 %), de basilic (70 à 75 %), d'anis et de fenouil ; l'anéthole existe dans les essences d'anis et de fenouil.

L'essence d'estragon est obtenue par hydrodistillation des feuilles d'estragon.

**I – Hydrodistillation des feuilles d'estragon**

*Données :*

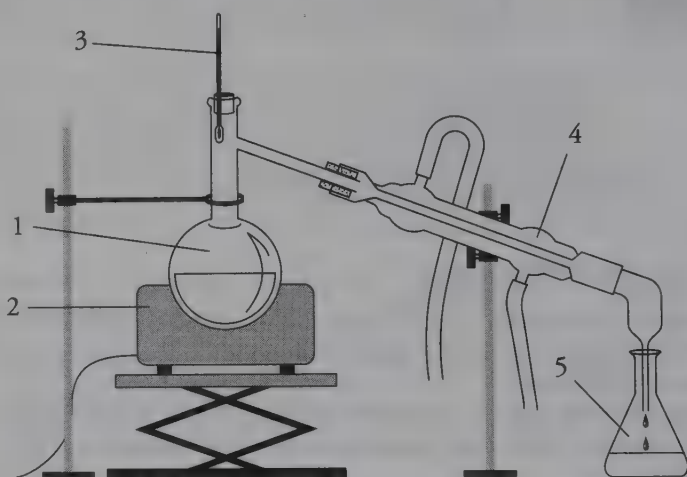
|                                  | estragole | dichlorométhane | eau         | eau salée        |
|----------------------------------|-----------|-----------------|-------------|------------------|
| <b>densité</b>                   | 0,96      | 1,34            | 1,00        | ≈ 1,1            |
| <b>solubilité de l'estragole</b> |           | très soluble    | peu soluble | très peu soluble |

*Mode opératoire :*

- Dans un ballon de 500 mL, on introduit 200 mL d'eau distillée, des feuilles finement découpées d'estragon frais et quelques grains de pierre ponce (ou des billes de verre).
- On réalise le montage d'hydrodistillation représenté ci-après et on porte à ébullition le mélange contenu dans le ballon.
- On laisse se poursuivre la distillation jusqu'à obtenir environ 50 mL de distillat ; le distillat est trouble car il est composé d'un mélange hétérogène : la phase aqueuse et la phase huileuse (contenant l'estragole), mal séparées.
- On ajoute au distillat 5 g de chlorure de sodium que l'on dissout par agitation.
- On verse ensuite le distillat dans une ampoule à décanter et on introduit 10 mL de dichlorométhane.



- Après agitation et décantation, on récupère la phase organique.
- On ajoute ensuite du sulfate de magnésium anhydre ; après filtration, on obtient une solution H (« huile essentielle »).



1. Quel est le rôle de l'eau introduite dans le ballon ? **[0,25 pt]**
2. Dans le schéma du montage d'hydrodistillation, nommer les différentes parties numérotées de 1 à 5 et préciser la fonction des tubulures latérales du dispositif 4. **[1 pt]**
3. Justifier l'ajout du chlorure de sodium au distillat en utilisant les données. **[0,25 pt]**
4. a. Faire le schéma de l'ampoule à décanter, après agitation et décantation. Préciser les positions de la phase aqueuse et de la phase organique. Justifier à partir des données. **[0,75 pt]**  
 b. Quelle précaution liée à la sécurité doit-on prendre lors de l'agitation de l'ampoule à décanter ? **[0,25 pt]**  
 c. Pourquoi après décantation récupère-t-on la phase organique plutôt que la phase aqueuse ? **[0,25 pt]**
5. Quel est le rôle du sulfate de magnésium anhydre ? **[0,25 pt]**

## II – Chromatographie sur couche mince (CCM)

On se propose de vérifier la présence d'estragole dans l'essence d'estragon obtenue par hydrodistillation, ainsi que dans des essences d'estragon, de basilic et d'anis vert du commerce.

On souhaite vérifier simultanément la présence d'anéthole dans l'essence d'anis.

*Mode opératoire :*

On réalise les six solutions suivantes dans le cyclohexane :

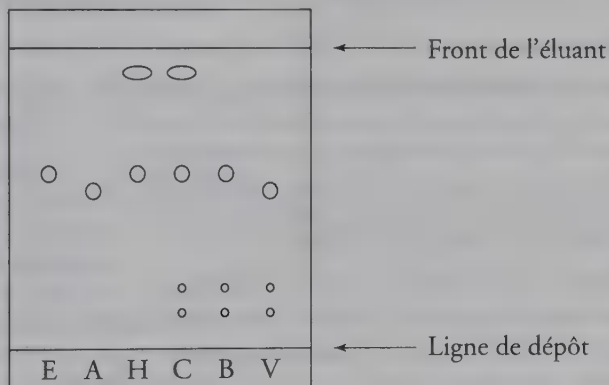
- une d'estragole pur : E
- une d'anéthole pur : A
- une de la solution : H
- une d'essence d'estragon du commerce : C
- une d'essence de basilic du commerce : B
- une d'essence d'anis vert du commerce : V.

Sur une plaque de silice sensible au rayonnement ultra-violet, on effectue les dépôts de chacune de ces six solutions.

L'éluant est un mélange de cyclohexane à 97,5 % et d'acétate d'éthyle à 2,5 % en volume.

La plaque est révélée avec une lampe émettant des radiations ultraviolettes.

Le chromatogramme est reproduit ci-après :



Le chromatogramme permet-il toutes les vérifications attendues ? Justifier.

[1 pt]

Liban, juin 2003 / 4 points

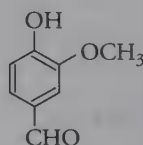
100

## SYNTHÈSE D'UN ARÔME : LA VANILLINE

- Montage à reflux
- Précautions opératoires
- Catalyseur
- Rendement d'une réaction
- Déplacement d'un état d'équilibre

### Calculatrice autorisée

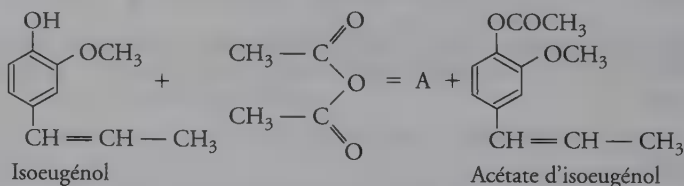
La vanille contient de nombreux composés aromatiques. La note dominante de son parfum est due à la molécule de vanilline (4-hydroxy-3-méthoxybenzaldéhyde) représentée ci-contre. Depuis plus d'un siècle, la vanilline est essentiellement produite artificiellement. Elle est très utilisée en parfumerie.



La synthèse de la vanilline se fait en trois étapes.

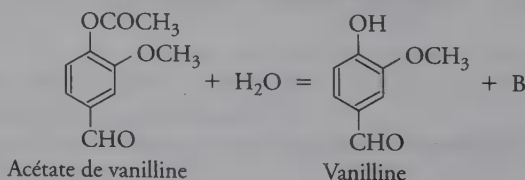
**Première étape :** synthèse de l'acétate d'isoeugénol à partir de l'isoeugénol.

La réaction est représentée par l'équation suivante :



**Deuxième étape :** transformation de l'acétate d'isoeugénol en acétate de vanilline.

**Troisième étape :** obtention de la vanilline par action de l'eau sur l'acétate de vanilline, selon une réaction schématisée ci-dessous :



On se propose d'étudier la première et la dernière étape de ce procédé chimique conduisant à la synthèse de la vanilline.

Les parties I et II sont indépendantes.

Données :

| Espèce chimique      | Masse molaire<br>( $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) | Quelques propriétés                                                                                                                  |
|----------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Isoeugénol           | 164                                                   | $d = 1,08$<br>Nocif en cas d'ingestion et irritant pour les yeux, les voies respiratoires et la peau.                                |
| Acétate d'isoeugénol | 205                                                   | $T_{\text{fusion}} = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$<br>Soluble dans la plupart des solvants organiques et insoluble dans l'eau glacée. |
| Anhydride éthanoïque | 102                                                   | $d = 1,08$<br>Corrosif, inflammable, provoque des brûlures. Réagit avec l'eau.                                                       |

## I – Première étape : synthèse de l'acétate d'isoeugénol

Mode opératoire :

- Dans un ballon de 250 mL, introduire 10,0 g d'isoeugénol, 20,0 mL d'anhydride acétique (anhydride éthanoïque) et quelques gouttes d'acide orthophosphorique.
- Chauffer en utilisant un montage à reflux et maintenir une ébullition douce pendant 30 minutes.
- Refroidir jusqu'à température ambiante.
- Verser le contenu du ballon dans un bécher contenant 30 mL d'eau glacée, tout en agitant.
- Filtrer sur büchner et laver les cristaux formés avec de l'eau glacée.

1. Quel est le rôle du montage à reflux ? [0,25 pt]
2. a. Quelles précautions faut-il prendre pour manipuler l'anhydride éthanoïque ? [0,25 pt]  
b. Pourquoi utilise-t-on l'anhydride éthanoïque à la place de l'acide éthanoïque ? [0,25 pt]
3. L'acide orthophosphorique est un catalyseur de la synthèse. Quel est son rôle ? [0,25 pt]
4. Quelle est la formule semi-développée et le nom de l'espèce A qui se forme au cours de la réaction de synthèse étudiée ? [0,25 pt]
5. Pourquoi verse-t-on le contenu du ballon dans l'eau glacée ? [0,25 pt]
6. a. Calculer la quantité de matière initiale de chacun des réactifs. [0,75 pt]

b. L'expérimentateur a obtenu 11,3 g de cristaux d'acétate d'isoeugénol. Calculer le rendement de la synthèse. [0,75 pt]

## II – Troisième étape : synthèse de la vanilline

1. Donner le nom et la formule semi-développée de l'espèce chimique B. [0,25 pt]
2. Quel est le nom donné à cette réaction ? [0,125 pt]
3. Comment peut-on déplacer l'état d'équilibre du système dans le sens favorable à la synthèse de la vanilline ? [0,625 pt]

Centres étrangers I, Juin 2003 / 4 points

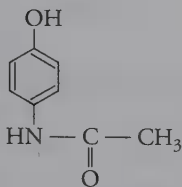
101

### SYNTHÈSE DU PARACÉTAMOL

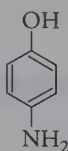
- Groupes fonctionnels
- Montage à reflux
- Réactif limitant
- Rendement d'une synthèse
- Recristallisation
- Chromatographie sur couche mince

#### Calculatrice autorisée

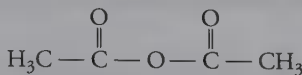
Le paracétamol est un médicament qui se rapproche de l'aspirine par ses propriétés analgésiques et antipyrétiques. Il est dépourvu d'action anti-inflammatoire, mais ne présente pas les contre-indications de l'aspirine. On l'obtient par réaction entre le para-aminophénol et l'anhydride éthanique en milieu aqueux.



Paracétamol



Para-aminophénol



Anhydride éthanique

Données :

- Para-aminophénol :  $M = 109 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .  $T_{\text{fus}} = 187 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Solubilité dans l'eau : 0,8 g dans 100 g à 20 °C ; 8,5 g dans 100 g à 100 °C.

• **Paracétamol** :  $M = 151 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .  $T_{\text{fus}} = 170 \text{ °C}$ .

Solubilité dans l'eau : 1 g dans 100 g à 20 °C ; 25 g dans 100 g à 100 °C

• **Anhydride éthanoïque** :  $M = 102 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .  $T_{\text{fus}} = -73 \text{ °C}$ .

Masse volumique :  $1,082 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ .

## I – Synthèse du produit brut

• Dans un ballon à trois cols (ou tricol), muni d'une agitation mécanique, d'un réfrigérant à reflux et d'une ampoule de coulée, introduire 10,0 g de para-aminophénol.

• Sous vive agitation, introduire rapidement 30 mL d'eau puis un peu plus lentement 12,0 mL d'anhydride éthanoïque.

• Porter l'ensemble à reflux pendant environ 20 minutes.

• Refroidir puis transvaser dans un bécher.

• Refroidir alors dans un bain de glace : le paracétamol précipite.

• Filtrer sous vide et laver à l'eau glacée.

• Essorer et sécher sur papier filtre.

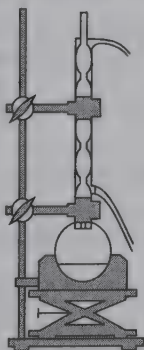
• Placer le produit brut humide obtenu à l'étuve à 80 °C : on obtient alors une masse de produit brut sec P :  $m_p = 10,8 \text{ g}$ .

1. Réécrire la formule semi-développée de l'anhydride éthanoïque et entourer le groupe anhydride. [0,125 pt]

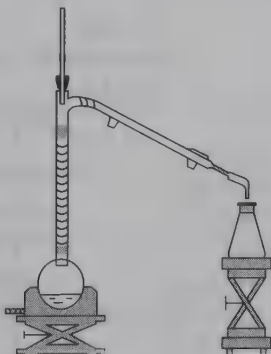
2. Réécrire la formule semi-développée du paracétamol et entourer le groupe amide. [0,125 pt]

3. Lequel des deux montages suivants est un montage à reflux ? Comment se nomme l'autre montage ? [0,25 pt]

Montage 1



Montage 2

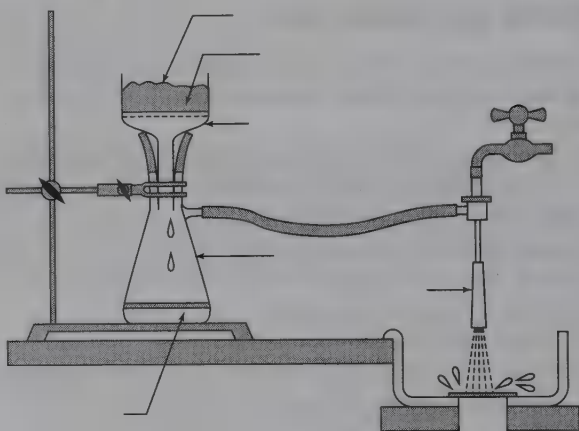


4. À partir des données physico-chimiques :

a. Justifier l'état physique du para-aminophénol avant d'être versé dans le ballon à trois cols (ou tricol). **[0,125 pt]**

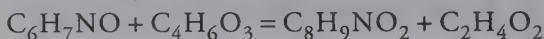
b. Justifier l'apparition du précipité de paracétamol lors du refroidissement dans le bain de glace. **[0,25 pt]**

5. Légender le schéma de l'ensemble de filtration sous vide représenté ci-après (à rendre avec la copie). **[0,25 pt]**



## 6. Suivi de réaction

Para-aminophénol + Anhydride éthanóïque = Paracétamol + Acide éthanóïque



a. Montrer que les quantités initiales de réactifs sont :

$$n_{\text{anhydride éthanóïque}} = 1,27 \cdot 10^{-1} \text{ mol et}$$

$$n_{\text{para-aminophénol}} = 9,17 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

**[0,375 pt]**

b. Compléter alors le tableau descriptif de la réaction ci-après (à rendre avec la copie). **[0,25 pt]**

|                                                  | Para-aminophénol<br>$\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}$ | + Anhydride éthanóïque<br>$\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3$ | = Paracétamol<br>$\text{C}_8\text{H}_9\text{NO}_2$ | + Acide éthanóïque<br>$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| État initial<br>(valeurs en mol)                 | $9,17 \cdot 10^{-2}$                                | $1,27 \cdot 10^{-1}$                                       |                                                    |                                                        |
| État intermédiaire<br>(en fonction de $x$ )      |                                                     |                                                            |                                                    |                                                        |
| État final<br>(en fonction de $x_{\text{max}}$ ) |                                                     |                                                            |                                                    |                                                        |
| État final<br>(valeurs en mol)                   |                                                     |                                                            |                                                    |                                                        |



- c. En utilisant ce tableau, préciser quel est le réactif limitant. Justifier. [0,125 pt]
- d. À partir de ce tableau, déduire la quantité de matière théorique  $n_{th}$  de paracétamol susceptible d'être obtenue. [0,125 pt]
- 7. Calcul du rendement de la synthèse**
- a. Calculer la quantité de matière  $n_p$  de paracétamol réellement obtenue. [0,25 pt]
- b. En déduire le rendement  $\eta$  de cette synthèse. [0,25 pt]

## II – Purification du paracétamol

À partir du produit brut sec P, on réalise deux parts  $P_1$  et  $P_2$  de masse identique. On souhaite recristalliser la part  $P_2$ .

1. Décrire le protocole permettant de réaliser cette recristallisation dans l'eau ? [0,25 pt]
2. Après avoir recristallisé cette part  $P_2$ , on la place à l'étuve à 80 °C et on obtient une masse :  $m_{P_2} = 4,2$  g.
- a. Calculer le nouveau rendement  $\eta'$  de cette synthèse, après cette purification. [0,625 pt]
- b. Comparer  $\eta'$  et  $\eta$ . [0,125 pt]
- c. Quel est le vrai rendement en paracétamol ? Justifier. [0,125 pt]

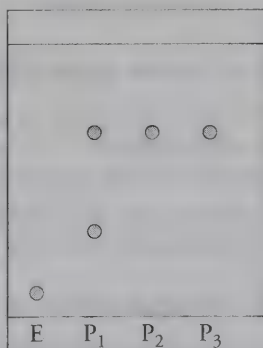
## III – Analyse par chromatographie sur couche mince des produits obtenus

*Mode opératoire :*

Sur une plaque de silice sensible aux UV, on effectue les dépôts suivants :

- paraaminophénol (E) en solution dans l'éthanol ;
- paracétamol brut ( $P_1$ ) en solution dans l'éthanol ;
- paracétamol purifié ( $P_2$ ) en solution dans l'éthanol ;
- paracétamol issu d'un comprimé pharmaceutique ( $P_3$ ) en solution dans l'éthanol.

L'éluant est un mélange organique complexe. Après révélation, on obtient le chromatogramme suivant :



1. Interpréter le chromatogramme ci-dessus. [0,25 pt]
2. Peut-on utiliser la chromatographie sur couche mince pour vérifier la pureté du paracétamol ? [0,125 pt]

Polynésie, juin 1998 / 4 points

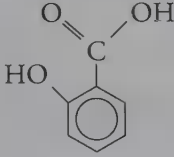
**102****SYNTHÈSE DE L'ESSENCE DE WINTERGREEN**

- Acide salicylique
- Estérification
- Chromatographie

**Calculatrice autorisée**

Le salicylate de méthyle est utilisé en parfumerie et comme arôme alimentaire sous le nom d'essence de Wintergreen. Il se prépare à partir d'acide salicylique et de méthanol.

Données :

|                                                                                                               | Masse volumique<br>(g · mL <sup>-1</sup> ) pour les liquides | Masse molaire g · mol <sup>-1</sup> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Acide salicylique</b><br> |                                                              | 138                                 |
| <b>Méthanol</b> CH <sub>3</sub> OH                                                                            | 0,79                                                         | 32                                  |
| <b>Salicylate de méthyle</b>                                                                                  | 1,18                                                         | 152                                 |

**I – L'acide salicylique**

1. L'acide salicylique est utilisé, par ailleurs, pour fabriquer un médicament d'usage courant.

Donner le nom commercial et le nom officiel de ce médicament. **[0,25 pt]**

2. Écrire, avec les formules semi-développées, l'équation de la réaction d'estérification de l'acide salicylique par le méthanol. **[0,25 pt]**

**II – Préparation du mélange réactionnel**

On introduit dans un ballon 0,200 mol d'acide salicylique, 60 mL de méthanol et 7 mL d'acide sulfurique concentré.

1. Quelle masse d'acide salicylique doit-on peser ? **[0,25 pt]**

2. Montrer que le méthanol est en large excès. Quel est l'intérêt de procéder ainsi ? **[0,75 pt]**

3. Quel est le rôle de l'acide sulfurique ? [0,25 pt]
4. Quels instruments peut-on utiliser pour mesurer les deux volumes liquides (60 mL et 7 mL) ? Justifier la réponse. [0,25 pt]

### III – Déroulement de la réaction

On ajoute quelques grains de pierre ponce au mélange réactionnel et on adapte un réfrigérant à eau vertical sur le ballon.

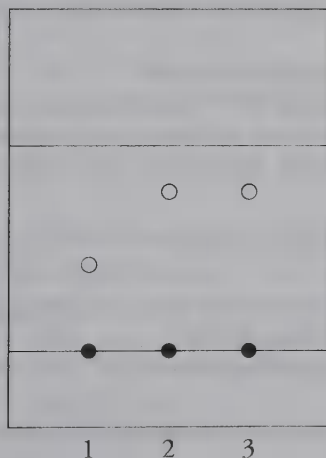
On chauffe à reflux pendant une heure et demie.

1. Faire un schéma annoté du montage en indiquant le sens de circulation d'eau froide. [0,5 pt]
2. a. Quel est le rôle de la pierre ponce ? [0,25 pt]
- b. Quel est le rôle du réfrigérant ? [0,25 pt]

### IV – Résultats

Après traitement du contenu du ballon, extraction et lavage de l'ester, on obtient une masse de 21,0 g d'essence de Wintergreen.

1. Quelle masse maximale d'ester pouvait-on espérer recueillir ? En déduire le rendement de cette préparation. [0,5 pt]
2. Afin de contrôler la pureté du produit obtenu, on réalise une chromatographie sur couche mince, en utilisant un éluant approprié. On obtient le chromatogramme suivant :



1 : acide salicylique

2 : essence de Wintergreen

3 : produit obtenu

- a. Quel est le rôle de l'éluant ? [0,25 pt]
- b. Quelle conclusion peut-on tirer de ce chromatogramme ? [0,25 pt]

# 103

## DOSAGE DES IONS $\text{Fe}^{2+}$ PAR SPECTROPHOTOMÉTRIE

- Oxydoréduction
- Préparation d'une solution
- Dilution
- Absorbance

On dispose d'un échantillon dont on cherche à connaître la masse d'oxyde de fer III (formule  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) qu'il contient. Pour cela, on traite l'échantillon par une solution d'acide chlorhydrique concentré ce qui permet de libérer en solution les ions  $\text{Fe}^{3+}$  de l'oxyde puis on procède à une réduction des ions  $\text{Fe}^{3+}$  en ions  $\text{Fe}^{2+}$ .

Une étude spectrophotométrique permet enfin de doser les ions  $\text{Fe}^{2+}$ .

### Étapes du protocole et renseignements :

• **Obtention des ions  $\text{Fe}^{3+}$**  : on introduit l'échantillon dans 25 mL d'acide chlorhydrique concentré.

Au bout de trente minutes, la solution est très colorée.

• **Transformation des ions  $\text{Fe}^{3+}$  en ions  $\text{Fe}^{2+}$**  : dans la solution obtenue précédemment on introduit de la poudre de zinc en excès, jusqu'à obtenir une décoloration de la solution. Les ions  $\text{Fe}^{3+}$  sont transformés en ions  $\text{Fe}^{2+}$  selon la réaction d'équation :



• **Préparation d'une solution  $\text{S}_x$**  : on filtre la solution précédente puis on étend son volume à 200 mL avec de l'eau distillée dans une fiole jaugée (la solution à doser ne doit pas être trop concentrée).

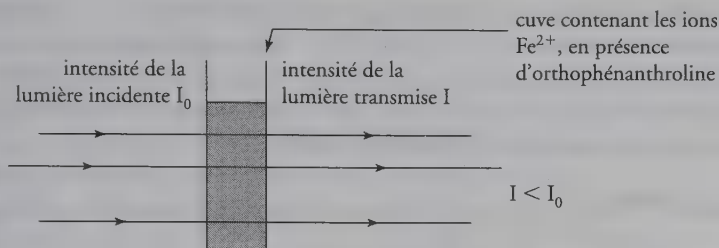
• **Dosage des ions  $\text{Fe}^{2+}$  par spectrophotométrie en présence d'orthophénanthroline** :

– Toute solution colorée absorbe des ondes électromagnétiques dans le domaine du visible [400-800 nm].

– En présence d'orthophénanthroline, les ions  $\text{Fe}^{2+}$  donnent une coloration rouge orangée plus ou moins intense selon la concentration des ions.

– Principe du spectrophotomètre :

• on opère en lumière monochromatique :



- la solution absorbe une partie de l'énergie transportée par la lumière ;
- on appelle **absorbance** ou densité optique d'une solution, **notée A**, la grandeur sans dimension liée au rapport  $I_0/I$  qui est lue sur le spectrophotomètre.

## I – Question préliminaire

L'équation de la réaction (1), donnée ci-dessus correspond-elle à une réaction d'oxydo-réduction ? À une réaction acide-base ? Ou à un autre type de réaction ?

Écrire les demi-équations correspondantes.

[0,75 pt]

## II – Préparation des solutions

### 1. Préparation d'une solution S de concentration C

On pèse une masse  $m = 0,20$  g de sel de Mohr de formule  $\text{FeSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , de masse molaire  $M = 392,1$  g · mol<sup>-1</sup> que l'on dissout dans une fiole jaugée de 500 mL. On complète avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

a. Déterminer la quantité de matière mise en solution.

[0,25 pt]

b. Calculer la concentration C de la solution S. En déduire la concentration en ion  $\text{Fe}^{2+}$ .

[0,5 pt]

### 2. Préparation d'une gamme de solutions-étalon $S_f$ de concentrations respectives $[\text{Fe}^{2+}]_f$

À partir de la solution S de concentration C, on prépare chaque solution-étalon en prélevant  $v_i$  (mL) de solution S que l'on introduit dans une fiole jaugée de volume  $V = 50$  mL complétée ensuite avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

Le contenu de chacune de ces fioles est versé dans une série de béchers numérotés de 1 à 4.

Dans chacun des béchers, on introduit un volume  $V_0 = 10$  mL d'une solution d'orthophénanthroline et on agite.

Chaque mélange prend alors une coloration rouge orangée, plus ou moins intense, suivant la valeur de la concentration en ions  $\text{Fe}^{2+}$  de la solution.

- a. Quelle grandeur est conservée au cours d'une dilution ? [0,25 pt]
- b. Exprimer la concentration en ions  $\text{Fe}^{2+}$  dans un bécher en fonction de  $v_i$ ,  $V$ ,  $V_0$  et  $C$ . [0,25 pt]
- c. Calculer la concentration en ions  $\text{Fe}^{2+}$  dans chaque bécher et compléter le tableau ci-après à rendre avec la copie.

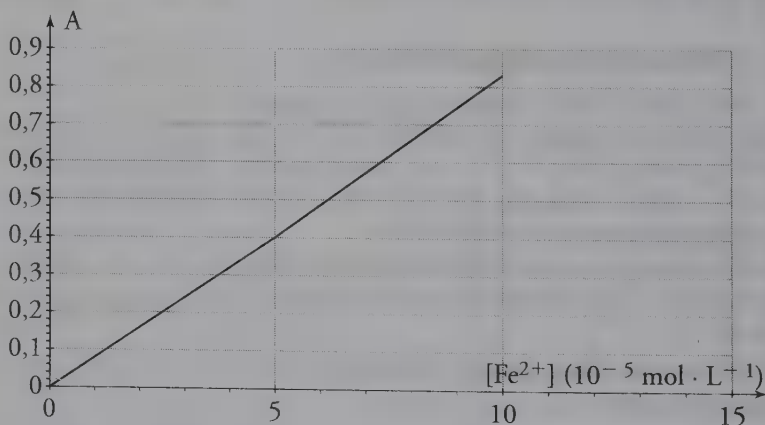
| bécher                                      | 1   | 2   | 3   | 4   |
|---------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| $v_i$ (mL)                                  | 5,0 | 2,5 | 1,0 | 0,5 |
| $[\text{Fe}^{2+}]$ (mol · L <sup>-1</sup> ) |     |     |     |     |

[0,5 pt]

### III – Utilisation d'une courbe d'étalonnage

On procède à la mesure de l'absorbance  $A$  de chaque solution avec le spectrophotomètre réglé à  $\lambda = 510$  nm (longueur d'onde choisie pour effectuer les mesures).

1. Le graphe ci-après représente la courbe d'étalonnage donnant l'absorbance  $A$  en fonction de la concentration.



Quelle relation lie les grandeurs  $A$  et  $[\text{Fe}^{2+}]$  ?

[0,25 pt]

2. Détermination de la concentration en ion  $\text{Fe}^{2+}$  de la solution  $S_x$ .  
 Sur le volume initial de 200 mL de la solution  $S_x$ , on effectue un prélèvement de 50 mL et on y introduit 10 mL de la solution d'orthophénanthroline.

On mesure l'absorbance  $A$  de ce nouveau mélange dans les mêmes conditions que précédemment. La valeur obtenue pour  $A$  est 0,6.

- a. Pourquoi faut-il respecter les volumes proposés (50 mL de  $S_x$  et 10 mL de solution d'orthophénanthroline) ?

[0,25 pt]

b. Comment peut-on déterminer graphiquement la concentration des ions  $\text{Fe}^{2+}$  d'une solution ? [0,25 pt]

c. Déterminer sur la courbe ci-avant (à rendre avec la copie) la concentration des ions  $\text{Fe}^{2+}$  présents dans  $S_x$ . [0,25 pt]

d. Calculer la quantité de matière en ions  $\text{Fe}^{2+}$  présents dans  $S_x$  et la quantité d'oxyde de fer  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

En déduire la masse d'oxyde de fer contenu dans l'échantillon. [0,5 pt]

Données :

Masse molaire atomique du fer :  $M(\text{Fe}) = 56 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

Masse molaire atomique de l'oxygène :  $M(\text{O}) = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

Amérique du Sud, novembre 2002 / 4 points

## ÉTUDE D'UNE POUDRE DE LAIT

- Chromatographie sur couche mince
- Dosage des ions chlorure
- Choix de verrerie

### Calculatrice autorisée

Voici une partie de l'étiquette d'un lait en poudre :

|                                      | Protéines | Glucides                             | Lipides | Sels minéraux                                                                    |
|--------------------------------------|-----------|--------------------------------------|---------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Analyse moyenne pour 100 g de poudre | 16,0 g    | Lactose : 24,0 g<br>Maltose : 33,0 g | 21,0 g  | Sodium : 250 mg<br>Potassium : 750 mg<br>Chlorure : 505,5 mg<br>Calcium : 610 mg |

Masse molaire atomique du chlore :  $35,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

L'étiquette indique la présence de glucides et d'ions chlorure. On se propose de mettre en évidence les glucides en faisant la chromatographie du lait étudié, puis de doser les ions chlorure présents pour vérifier l'indication correspondante de l'étiquette.

### I – Étude des glucides : chromatographie du lait

On réalise la chromatographie sur couche mince (CCM) de solutions de différents glucides et du lait étudié.



1. Pourquoi réalise-t-on des chromatographies ?

[0,25 pt]

On a représenté sur la figure 1 la plaque CCM en début d'expérience (l'emplacement de chaque point numéroté correspond au dépôt d'une goutte de solution).

Figure 1

Plaque en début d'expérience

Dépôt 1 : glucose

Dépôt 2 : maltose

Dépôt 3 : fructose

Dépôt 4 : lactose

Dépôt 5 : lait



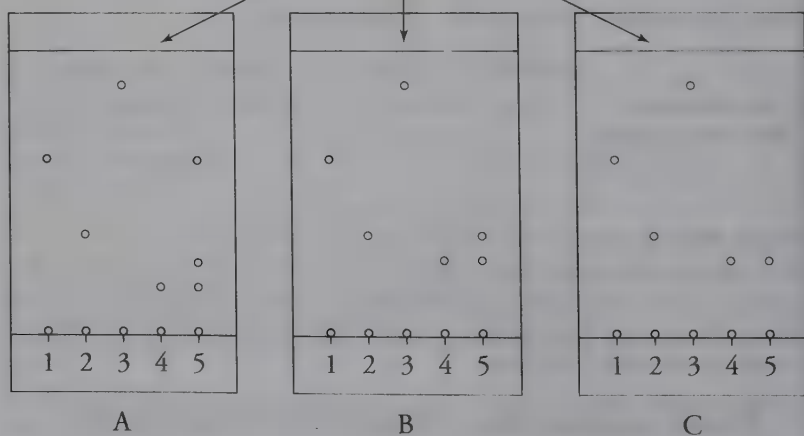
2. La figure 2 représente trois propositions de chromatogramme en fin d'élution et après révélation.

[0,25 pt]

Quel est celui qui convient (A, B ou C) ? Justifier la réponse.

Figure 2

Front du solvant



## II – Étude des ions chlorure

### 1. Principe de la méthode de Charpentier-Volhard

On dose les ions présents dans la poudre de lait par la méthode de Charpentier-Volhard qui comporte les étapes suivantes :

- À une masse de poudre de lait que l'on dissout dans l'eau distillée, on ajoute une solution de nitrate d'argent en excès. Il se forme un précipité blanc de chlorure d'argent.
- Les ions argent qui n'ont pas précipité sont dosés par une solution de thiocyanate d'ammonium ( $\text{NH}_4^+ + \text{SCN}^-$ ) en milieu acide. Il y a formation d'un précipité blanc de thiocyanate d'argent.
- La fin de cette précipitation est mise en évidence en utilisant de l'alun de fer dont les ions fer III forment un complexe rouge  $[\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+}$  avec les ions thiocyanate.

a. Écrire les équations des deux réactions où interviennent les ions argent en précisant celle qui est support du dosage des ions excédentaires. [0,5 pt]

b. Dans ce dosage, pourquoi utilise-t-on l'alun de fer ? [0,25 pt]

### 2. Protocole opératoire

Une masse  $m = 2,50 \text{ g}$  de poudre de lait dissoute dans 25 mL d'eau distillée a été traitée afin d'éliminer les sucres réducteurs contenus dans le lait. On a utilisé un volume  $V = 20,0 \text{ mL}$  d'une solution de nitrate d'argent de concentration molaire  $C = 5,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . Le dosage a été effectué avec une solution de thiocyanate d'ammonium en milieu acide de concentration  $C' = 4,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

L'équivalence a été obtenue pour un volume  $V_e = 15,9 \text{ mL}$  de solution de thiocyanate d'ammonium.

a. Faire le schéma annoté du dispositif de dosage. [0,5 pt]

b. Est-il nécessaire de mesurer les 25 mL d'eau distillée avec grande précision ? Pourquoi ? [0,25 pt]

c. Quelle verrerie faut-il utiliser pour prélever le volume  $V$  de nitrate d'argent ? [0,25 pt]

3. Exploitation des résultats. Vous devez justifier les calculs demandés en vous référant aux manipulations effectuées et aux équations des réactions écrites au II.1.a.

a. Exprimer la quantité de matière  $n_0$  en ions argent introduite initialement. [0,5 pt]

b. Exprimer la quantité de matière  $n'$  en ions argent ayant réagi avec les ions thiocyanate. [0,25 pt]

c. Exprimer et calculer la quantité de matière  $n$  en ions argent ayant réagi avec les ions chlorure. [0,5 pt]

d. En déduire la masse  $m_1$  d'ions chlorure dans 2,50 g de lait en poudre. [0,25 pt]

- e. En déduire la masse d'ions chlorure dans 100 g de poudre de lait. [0,25 pt]
- f. Comparer avec la valeur portée sur l'étiquette. [0,25 pt]

Asie, juin 2003 / 4 points

**105****DOSAGE D'UNE EAU DE JAVEL**

- Choix de verrerie
- Dilution
- Degré chlorométrique de l'eau de Javel

**Calculatrice autorisée****> DOCUMENT**

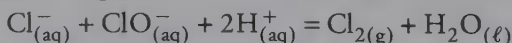
« Charles Guillaume Scheele, pharmacien suédois, découvrit le dichlore au XVIII<sup>e</sup> siècle.

Ce gaz intervient dans la fabrication de l'eau de Javel ; celle-ci doit son nom à un ancien village qui est aujourd'hui un quartier de Paris. C'est à Javel que Claude Louis Berthollet, directeur à la manufacture des Gobelins, fabriqua ce produit décolorant et désinfectant et l'employa en 1785 au blanchiment des toiles textiles.

L'eau de Javel est obtenue par action du dichlore  $\text{Cl}_{2(g)}$  sur l'hydroxyde de sodium ou soude et contient des ions  $\text{Cl}_{(aq)}^-$ ,  $\text{ClO}_{(aq)}^-$ ,  $\text{Na}_{(aq)}^+$  ainsi que  $\text{H}_2\text{O}_{(\ell)}$ .

C'est donc une solution aqueuse constituée entre autres d'ions chlorure  $\text{Cl}_{(aq)}^-$  et d'ions hypochlorite  $\text{ClO}_{(aq)}^-$ .

En milieu acide, l'eau de Javel subit une transformation complète représentée par la réaction d'équation :



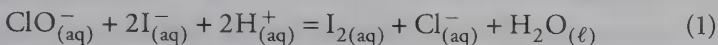
Cette transformation permet de définir le degré chlorométrique. Celui-ci est égal au volume, exprimé en litres, de dichlore produit par un litre d'eau de Javel. Ce volume est mesuré à une température à 0 °C sous une pression de 1,013 bar. »

Pour vérifier l'indication portée sur une bouteille commerciale d'eau de Javel : 12 °chl (12 degrés chlorométriques), on réalise un titrage.

### Principe de la manipulation :

On ajoute un excès d'ions iodure à un volume connu de solution d'eau de Javel.

Les ions hypochlorite  $\text{ClO}_{(\text{aq})}^-$  oxydent en milieu acide les ions iodure  $\text{I}_{(\text{aq})}^-$ . L'équation de la réaction modélisant la transformation est :



Le diiode formé appartenant au couple  $\text{I}_{2(\text{aq})}/\text{I}_{(\text{aq})}^-$  est titré par les ions thiosulfate, réducteurs du couple  $\text{S}_4\text{O}_{6(\text{aq})}^{2-}/\text{S}_2\text{O}_{3(\text{aq})}^{2-}$ . On en déduit alors la quantité d'ions hypochlorite, puis le degré chlorométrique.

## > QUESTIONS

### I – Mode opératoire

1. L'eau de Javel commerciale étant trop concentrée, il faut d'abord effectuer une dilution au dixième pour obtenir 50,0 mL de solution diluée S. Décrire une méthode qui permet d'effectuer cette dilution. On précisera la verrerie nécessaire (noms et volumes). [0,75 pt]

2. Dans un erlenmeyer, on introduit dans cet ordre :

$V = 10,0$  mL de solution S,

$V' = 20$  mL de la solution d'iodure de potassium ( $\text{K}_{(\text{aq})}^+ + \text{I}_{(\text{aq})}^-$ ).

Quelle verrerie faut-il utiliser pour prélever les volumes :

–  $V = 10,0$  mL de solution S ?

–  $V' = 20$  mL de solution d'iodure de potassium ? [0,5 pt]

### II – Titrage

À l'aide d'une solution de thiosulfate de sodium de formule  $(2\text{Na}_{(\text{aq})}^+ + \text{S}_2\text{O}_{3(\text{aq})}^{2-})$  de concentration molaire apportée  $c_1 = 0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , on titre le diiode formé. On ajoute une pointe de spatule de thiodène afin de mieux repérer l'équivalence. Le volume équivalent est  $V_{1, \text{eq}} = 10,0$  mL.

1. Écrire l'équation de la réaction de titrage qui sera notée (2), entre le diiode et les ions thiosulfate. [0,25 pt]

2. Dédire des résultats du titrage la quantité de matière de diiode présente dans le mélange réactionnel. Cette quantité de matière correspond aussi à la quantité produite lors de la réaction (1). [0,5 pt]

3. Calculer la quantité de matière d'ions hypochlorite initialement présents dans le prélèvement de volume  $V$ . [0,5 pt]

4. Déterminer la concentration en ions hypochlorite de la solution S, puis de la solution commerciale. **[0,5 pt]**

5. a. En utilisant l'équation de la réaction chimique donnée dans le texte encadré, calculer la quantité de matière de dichlore produite par un litre d'eau de Javel. **[0,5 pt]**

b. Le volume molaire d'un gaz parfait, dans les conditions de température et de pression citées dans le texte, vaut 22,4 litres. En déduire le degré chlorométrique de l'eau de Javel commerciale utilisée. **[0,5 pt]**  
Commenter le résultat.

(Ministère) / 4 points

**106**

## DÉTERMINATION DE LA FORMULE BRUTE D'UN ACIDE GRAS

- Titrage
- Utilisation de verrerie
- Recherche du nombre de doubles liaisons par molécule d'acide oléique

Calculatrice autorisée

### > DOCUMENT

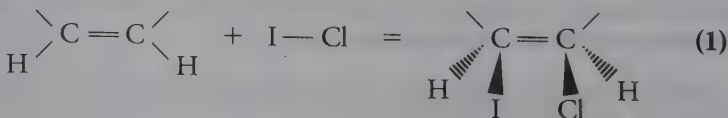
L'acide oléique, présent dans certaines huiles, est un acide gras insaturé. Les acides gras insaturés sont des acides carboxyliques contenant plus de 10 atomes de carbone et une ou plusieurs doubles liaisons carbone-carbone.

Leur formule brute est de la forme  $C_nH_{2n+1-2d}COOH$  où  $d$  est le nombre de doubles liaisons.

#### Principe :

Pour déterminer le nombre de doubles liaisons  $d$  de la molécule d'acide oléique, on utilise la réactivité de la double liaison  $C=C$ .

Chaque double liaison est le siège d'une transformation modélisée par la réaction d'équation :



Le chlorure d'iode  $\text{ICl}$  est introduit en excès ; le titrage de cet excès permet ensuite la détermination du nombre de doubles liaisons  $d$  dans la molécule.

Donnée : Masse molaire de l'acide oléique :  $282 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

### Protocole opératoire :

#### Étape 1 : Action du chlorure d'iode

- Dans un erlenmeyer, on introduit :
  - $v_{\text{ICl}} = 10,0 \text{ mL}$  d'une solution de chlorure d'iode de concentration  $C_{\text{ICl}} = 0,11 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  ;
  - $250 \text{ mL}$  de cyclohexane ;
  - $m_2 = 0,20 \text{ g}$  d'acide oléique.
- On bouche et on agite.
- On place à l'obscurité pendant 45 minutes en agitant de temps en temps. La transformation qui a lieu dans cette étape est modélisée par la réaction d'équation (1).

#### Étape 2 : Transformation de $\text{ICl}$ en excès en diiode

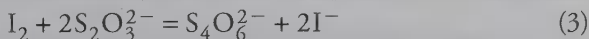
L'excès de chlorure d'iode ne pouvant être dosé facilement, il est transformé intégralement en diiode selon la réaction d'équation :



- On ajoute dans l'erlenmeyer :
  - $20,0 \text{ mL}$  d'une solution d'iodure de potassium ;
  - $100 \text{ mL}$  d'eau distillée.
- On agite et on attend quelques minutes dans l'obscurité.

#### Étape 3 : Titrage du diiode

Le diiode formé au cours de la deuxième étape est titré par une solution de thiosulfate de sodium de concentration molaire  $C_0 = 0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  en présence d'empois d'amidon selon la réaction d'équation :



On a versé à l'équivalence un volume de solution de thiosulfate de sodium  $V_E = 7,6 \text{ mL}$ .

## > QUESTIONS

### I – Exploitation du titrage du diiode par la solution de thiosulfate de sodium

1. Le titrage mis en œuvre ici est-il direct ou indirect ? Préciser quels éléments, donnés dans le principe, permettent de répondre. [0,5 pt]
2. Préciser, en le justifiant, la verrerie utilisée pour prélever :
  - le volume  $v_{\text{ICl}} = 10,0 \text{ mL}$  d'une solution de chlorure d'iode ;
  - les  $250 \text{ mL}$  de cyclohexane.[0,5 pt]

3. Déterminer la quantité de diiode,  $n(I_2)$ , formée au cours de l'étape 2 et titrée dans l'étape 3. **[0,375 pt]**
4. Déterminer la quantité de chlorure d'iode en excès  $n(ICI)_{ex}$ . **[0,375 pt]**
5. Déterminer la quantité de chlorure d'iode introduit  $n(ICI)_0$ . **[0,375 pt]**
6. Déterminer la quantité de chlorure d'iode,  $n(ICI)_f$ , fixée par la masse  $m_2$  d'acide oléique. **[0,375 pt]**

## II – Détermination de la formule brute de l'acide oléique

1. Déterminer la quantité d'acide oléique,  $n_{\text{acide oléique}}$ , présente dans la masse  $m_2$ . **[0,5 pt]**
2. a. En déduire le nombre  $d$  de doubles liaisons par molécule d'acide oléique. **[0,5 pt]**  
 b. Déterminer la formule brute de cet acide insaturé. **[0,5 pt]**

Asie, Juin 2001 / 4 points

**107**

### DÉTERMINATION DE L'INDICE D'ACIDE D'UNE HUILE DE TABLE

- Acide gras
- Corps gras
- Dosage d'un acide par une base
- Saponification

Calculatrice autorisée

#### > DOCUMENTS

Une huile de table est essentiellement formée d'un mélange de triesters. Cependant, une quantité faible et variable d'acides gras libres peut être présente. Le protocole proposé nous renseigne sur cette quantité d'acide gras libre.





## Huile d'olive

Composition moyenne en acides gras  
(pourcentage massique)

|                    |                                                                                               |      |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| acide oléique :    | $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$                 | 78 % |
| acide linoléique : | $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-(\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2)_2-(\text{CH}_2)_6-\text{COOH}$ | 10 % |
| acide palmitique : | $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{14}-\text{COOH}$                                                  | 9 %  |
| acide stéarique :  | $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{16}-\text{COOH}$                                                  | 3 %  |

L'huile d'olive est constituée essentiellement d'oléine, triester formé à partir de l'acide oléique et du glycérol.

### Données :

- Zone de virage (en pH) et couleurs de la phénolphtaléine : incolore 8,2-10,0 rose (indépendante du solvant utilisé).
- Masses molaires atomiques :  $M(\text{C}) : 12,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ;  $M(\text{K}) : 39,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ;  $M(\text{O}) : 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ;  $M(\text{H}) : 1,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- L'éther éthylique et l'éthanol sont des solvants sans propriétés acido-basiques.

### Protocole :

Dans un erlenmeyer de 250 mL, on mesure précisément une masse  $m = 10,0 \text{ g}$  d'huile puis on ajoute 40 mL d'éthanol, 40 mL d'éther éthylique permettant la dissolution de l'huile et quelques gouttes de phénolphthaléine. On agite pour homogénéiser le mélange.

On réalise le dosage du mélange contenu dans l'erlenmeyer par une solution S de potasse alcoolique (hydroxyde de potassium en solution dans de l'éthanol) de concentration  $C = 5,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . On considère que l'hydroxyde de potassium dans l'éthanol a le même comportement que dans l'eau. Le virage de l'indicateur est obtenu pour un volume d'hydroxyde de potassium versé de 6,2 mL.

## > QUESTIONS

### I - Lecture de l'étiquette de l'huile de table

1. Donner la définition d'un acide gras. [0,25 pt]
2. Préciser le nom de la famille de corps obtenus par réaction du propane-1,2,3-triol (glycérol) avec des acides gras. [0,25 pt]

## II – Étude du protocole

1. Préciser le rôle joué par la phénolphthaléine dans le dosage. **[0,25 pt]**
2. Faire le schéma du dispositif expérimental utilisé pour le dosage de l'huile. **[0,5 pt]**
3. La fabrication d'un savon peut être envisagée par réaction d'un triester avec la soude ou la potasse. Connaissant les caractéristiques de cette réaction, expliquer pourquoi son influence n'est pas à envisager dans ce dosage. **[0,5 pt]**

## III – Dosage de l'huile

1. Écrire l'équation de la réaction ayant lieu au cours du dosage (on admet, pour simplifier, que  $\text{RCOOH}$  est la formule de l'ensemble des acides gras présents). **[0,5 pt]**
2. Définir la notion d'équivalence dans un dosage. En déduire la relation à l'équivalence entre les quantités de matière des réactifs. **[0,5 pt]**

## IV – Exploitation des mesures : détermination de l'indice d'acide de l'huile de table

On appelle indice d'acide de l'huile, la masse d'hydroxyde de potassium, exprimée en milligrammes, nécessaire au dosage de tous les acides contenus dans 1,0 g de cette huile.

1. Exprimer la quantité de matière d'hydroxyde de potassium nécessaire au dosage des acides gras libres présents dans 10 g d'huile. **[0,5 pt]**
2. En déduire l'indice d'acide de l'huile. **[0,75 pt]**

# ÉLABORER UN PRODUIT DE CONSOMMATION : DE LA MATIÈRE PREMIÈRE À LA FORMULATION

Polynésie, juin 2003 / 4 points

108

## DOSAGE DE L'ÉTAIN DANS LE FER BLANC

- Électrolyse
- Dosage redox
- Indicateur de fin de réaction

Calculatrice autorisée

### > DOCUMENT

Le fer blanc est un produit laminé plat recouvert d'une fine couche d'étain. Grâce à ses nombreuses qualités physiques (légèreté, résistance aux contraintes mécaniques et aux conditions de stérilisation), il est utilisé pour la fabrication d'emballages et de boîtes, en particulier, les boîtes de conserve. Il présente aussi des qualités chimiques non dénuées d'intérêt, résistance à la corrosion en particulier. De plus, ses propriétés magnétiques permettent de le récupérer dans les ordures ménagères. Il est ensuite utilisé comme matière première. Ainsi, on remarque, en Europe, une suprématie du fer blanc sur l'aluminium pour la fabrication des boîtes de boissons. En effet, l'aluminium est plus coûteux : il faut 3,5 fois plus d'énergie pour fabriquer une boîte en aluminium qu'une boîte en fer blanc.

*D'après « Chimie tout » (S. Haurat, E. Lecorgne, O. Leduc). Cultures et techniques.*

Le but de l'exercice est la détermination de la masse d'étain présente sur une plaque de fer blanc découpée sur une boîte de conserve.

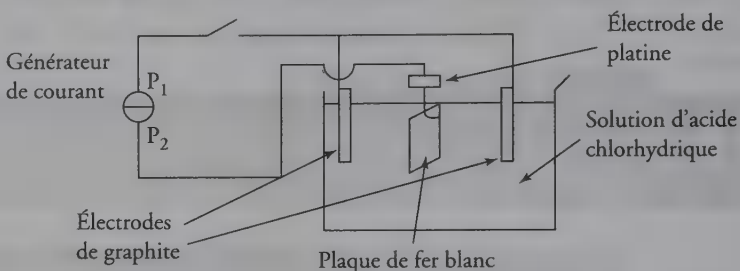
On considérera que la plaque est constituée de métal fer (Fe) recouvert d'une fine couche d'étain (Sn).

### > QUESTIONS

#### I – Électrolyse

La première partie du dosage consiste à réaliser une électrolyse dans un bain d'acide chlorhydrique. La plaque de fer blanc est suspendue à une

électrode de platine. On plonge l'ensemble, ainsi que deux électrodes en graphite, dans un bécher rempli d'acide chlorhydrique.

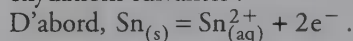


*Remarque :* Ce montage contient deux électrodes de graphite afin que l'attaque du fer blanc puisse se faire des deux côtés de la plaque, en face de chaque électrode de graphite.

On déclenche l'électrolyse lors de la fermeture de l'interrupteur. Le générateur délivre alors un courant d'intensité constante  $I$ .

• **Au niveau des électrodes de graphite**, on constate l'apparition d'un gaz. La réduction qui s'y produit est la suivante :  $2\text{H}_{(\text{aq})}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_{2(\text{g})}$ .

• **Au niveau de la plaque de fer blanc**, se produisent successivement les oxydations suivantes :



Puis, lorsque tout l'étain a été attaqué,  $\text{Fe}_{(\text{s})} = \text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+} + 2\text{e}^-$ .

Il y a donc formation d'ions  $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$ . Pour caractériser leur apparition, on ajoute quelques cristaux d'orthophénantroline, composé formant un complexe rouge avec les ions  $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$ . On arrête l'électrolyse dès l'apparition de la coloration rouge.

1. La plaque de fer blanc constitue-t-elle l'anode ou la cathode pour cette électrolyse ? Justifier.  $P_2$  est-elle la borne positive ou négative de l'alimentation ? **[0,5 pt]**

2. Pourquoi arrête-t-on l'électrolyse dès l'apparition de la coloration rouge ? **[0,25 pt]**

3. Quelle est la relation entre  $n_{\text{Sn}}$ , quantité de matière d'étain sur la plaque de fer blanc, et  $n_{\text{Sn}^{2+}}$ , quantité de matière d'ions étain formée lors de cette électrolyse ? **[0,75 pt]**

## II – Dosage indirect de l'étain électrolysé

*Données :*

Couples oxydant/réducteur :  $\text{Sn}^{4+}/\text{Sn}^{2+}$  ;  $\text{I}_2/\text{I}^-$  ;  $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}/\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ .

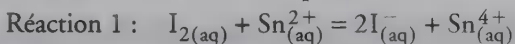
Masse molaire de l'étain :  $M_{\text{Sn}} = 118,7 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

**Étape 1 :**

On sort les électrodes et la plaque du bécher contenant l'acide, on les rince à l'eau distillée en récupérant l'eau de rinçage dans ce bécher.

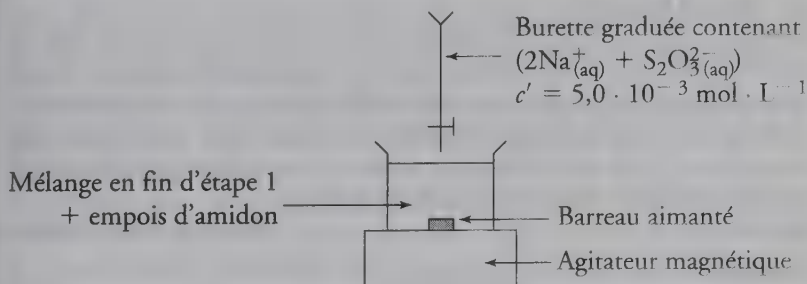
On ajoute peu à peu un volume  $V = 10,0$  mL d'une solution jaune-orangée de diiode  $I_{2(aq)}$  de concentration  $c = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . Au début, la coloration de la solution de  $I_{2(aq)}$  disparaît au contact de la solution d'ions  $\text{Sn}_{(aq)}^{2+}$ . À la fin de l'ajout des 10,0 mL, le mélange garde une coloration jaune-orangée :  $I_{2(aq)}$  a été introduit en excès.

La transformation réalisée est modélisée par la réaction suivante :

**Étape 2 :**

Afin de doser le diiode qui n'a pas réagi par la réaction 1, on verse progressivement dans le bécher, à l'aide d'une burette, une solution aqueuse de thiosulfate de sodium ( $2\text{Na}_{(aq)}^+ + \text{S}_2\text{O}_{3(aq)}^{2-}$ ) de concentration  $c' = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . Quand la coloration commence à pâlir, on ajoute, au contenu du bécher, quelques gouttes d'empois d'amidon ; la solution devient violette, car l'empois d'amidon sert à mettre en évidence  $I_{2(aq)}$  même en très faible quantité.

On continue à verser la solution aqueuse de thiosulfate de sodium jusqu'à disparition de la coloration violette du mélange contenu dans le bécher. Le volume de la solution aqueuse de thiosulfate de sodium versée est alors  $V' = 9,7$  mL.

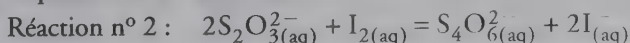


1. Écrire les demi-équations électroniques correspondant aux couples mis en jeu au cours de la transformation modélisée par la réaction 1. **[0,5 pt]**

**2. Calculs**

a. Calculer la quantité de matière de diiode  $n$  introduite dans le bécher au début de l'expérience. **[0,25 pt]**

b. Le dosage du diiode par la solution de thiosulfate de sodium est modélisé par l'équation de la réaction suivante :



Calculer la quantité de matière  $n_2$  de diiode ayant réagi avec les ions thio-sulfate  $S_2O_3^{2-}{}_{(aq)}$ . [0,5 pt]

c. En déduire la quantité de matière  $n_{Sn^{2+}}$  d'ions  $Sn^{2+}_{(aq)}$  présente dans le bécher après l'électrolyse. [0,5 pt]

d. Déduire, à l'aide de la question I-3., la quantité de matière d'étain  $n_{Sn}$  sur la plaque de fer blanc puis  $m_{Sn}$ , la masse d'étain correspondante. [0,75 pt]

Centres étrangers I, juin 1999 / 4 points

**109****L'ASPIRINE MOINS IRRITANTE (PARTIEL)**

- Constantes de réaction
- Comparaison d'acides
- Formulation de l'aspirine

**Calculatrice autorisée****> DOCUMENT**

« Célèbre pour ses propriétés antiseptiques et antalgiques, l'acide salicylique l'était aussi pour les terribles brûlures d'estomac qu'il infligeait. L'aspirine restreignit cette agressivité, mais ne la supprima pas : l'aspirine solide irrite la muqueuse gastrique. C'est d'ailleurs pour éviter tout contact prolongé entre l'acide acétylsalicylique solide et la muqueuse que les laboratoires ont travaillé à diverses formulations de l'aspirine. »

*Extrait d'un article scientifique*

*Données :*

• L'acide acétylsalicylique sera noté AH et l'ion acétylsalicylate sera noté  $A^-$ .

La muqueuse de l'estomac (muqueuse gastrique) absorbe la forme liposoluble AH.

•  $pK_a : H_3O^+/H_2O : 0 ; H_2O/OH^- : 14 ; CO_2, H_2O/HCO_3^- : 6,4 ; AH/A^- : 3,5$ .

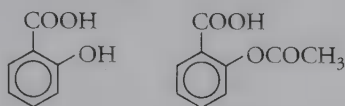
$pK_a$  : acide salicylique/ion salicylate : 3,0.

• Masses molaires en  $g \cdot mol^{-1}$  : AH : 180 ; NaA : 202 ;  $NaHCO_3$  : 84.

• Solubilité  $s$  (dans l'eau) en  $g \cdot L^{-1}$  : AH : 3,4 ; NaA : soluble ;  $NaHCO_3$  : soluble.

## > QUESTIONS

### I – L'acide salicylique et l'acide acétylsalicylique



Comparer les fonctions chimiques de ces deux acides.

[0,25 pt]

### II – L'acide acétylsalicylique irrite la muqueuse gastrique

Un comprimé d'aspirine simple contient 320 mg d'acide acétylsalicylique. Il est mis en solution dans un verre d'eau : le volume obtenu est  $V = 50 \text{ mL}$ , le pH est égal à 2,5 et il reste de l'acide acétylsalicylique non dissous en suspension.

1. Montrer que la mise en solution complète de l'acide acétylsalicylique AH est impossible. [0,5 pt]

2. Justifier à partir du texte que cette préparation de l'aspirine pourra irriter la muqueuse gastrique. [0,5 pt]

3. À partir de la mesure du pH, confirmer que l'acide acétylsalicylique est un acide partiellement dissocié dans l'eau. [0,5 pt]

### III – Une autre préparation de l'aspirine

Un sachet de « Catalgine® 0,50 g » contient 0,80 g d'un mélange d'acétylsalicylate de sodium et d'hydrogénocarbonate de sodium. Par dissolution dans un demi-verre d'eau déminéralisée, on obtient une solution dont le pH est de 8,3.

1. Montrer que, dans la solution S, le principe actif AH n'est pas une espèce prédominante. En déduire la ou les espèces prédominantes. [0,5 pt]

2. Le verre est bu. La solution S se trouve alors dans l'estomac, milieu assimilé à une solution d'acide chlorhydrique (pH voisin de 2). L'estomac contient alors  $V'_g = 100 \text{ mL}$  de solution gastrique.

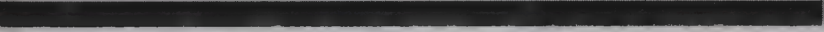
a. Sur un axe des  $pK_a$ , porter les couples acide/base des espèces qui interviennent au niveau de l'estomac. Écrire les équations-bilans des réactions envisageables pour lesquelles la constante de réaction est supérieure à 1 000. Indiquer celle qui, à partir de ce médicament, produit le principe actif AH. [0,75 pt]

b. Un sachet de « Catalgine® 0,50 g » produit par réaction totale 0,50 g d'acide acétylsalicylique. Montrer que, dans l'estomac, l'acide acétylsalicylique précipite. Les particules solides qui apparaissent étant de très petite



taille, elles sont rapidement absorbées au niveau de l'estomac, l'irritation est ainsi limitée. **[0,50 pt]**

**3.** À partir des indications portées sur le sachet de Catalgine® , calculer les masses d'acétylsalicylate de sodium et d'hydrogénocarbonate de sodium contenues dans un sachet. **[0,5 pt]**



# **Épreuves de concours**

Mai 2003

110

CONCOURS FESIC



École Louis de BROGLIE-CPE LYON-ESA-ESAP-ESCOM-ESEO-  
ESTIT-ISA-ISAB-ISARA-ISEB-ISEM-ISEN-ISEP-IGAL

## ÉPREUVE DE PHYSIQUE

**durée 2 heures 30 minutes**

Cette épreuve comprend 16 exercices.

Chaque exercice comporte 4 affirmations repérées par les nombres 1, 2, 3, 4 : il faut indiquer pour chacune d'elles si elle est vraie (V) ou fausse (F).

**Remarque 1 :** une lecture attentive des énoncés est absolument nécessaire, le vocabulaire employé et les questions posées étant très précis.

**Remarque 2 :** pour cette épreuve il faut traiter 12 exercices seulement.

Un exercice est considéré comme traité dès qu'une réponse à une des 4 affirmations est donnée (l'abstention et l'annulation ne sont pas considérées comme réponse). Toute réponse exacte rapporte un point. Toute réponse inexacte entraîne le retrait d'un point. L'annulation d'une réponse ou l'abstention n'est pas prise en compte, c'est-à-dire ne rapporte ni ne retire aucun point.

Une bonification de deux points est ajoutée chaque fois qu'un exercice est traité correctement en entier (c'est-à-dire lorsque les réponses aux 4 affirmations sont exactes).

L'usage de la calculatrice est interdit ainsi que tout document ou formulaire. Les données numériques ne sont pas forcément nécessaires à la résolution des exercices.

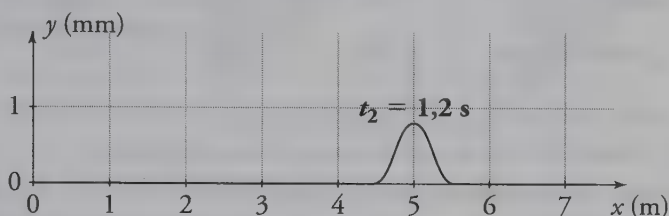
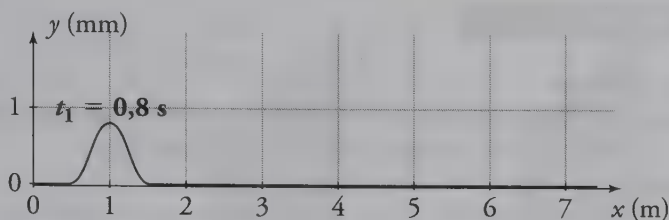
### EXERCICE 1

#### Onde progressive mécanique

Une perturbation créée en un point source S, se propage le long d'une corde. Cette corde a été photographiée aux instants  $t_1 = 0,8$  s et  $t_2 = 1,2$  s (voir schéma ci-après).

*Remarque :* L'abscisse 0 m sur le schéma ne correspond pas à la position du point source S.

1. Il s'agit d'une onde progressive longitudinale. ☐
2. Au cours de sa progression l'onde est amortie. ☐
3. La célérité moyenne entre  $t_1$  et  $t_2$  est de  $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . ☐
4. En un point M de la corde on aura  $y_M(t) = y_S(t + 0,4)$ , le temps étant exprimé en seconde et l'élongation  $y$  en centimètres. ☐

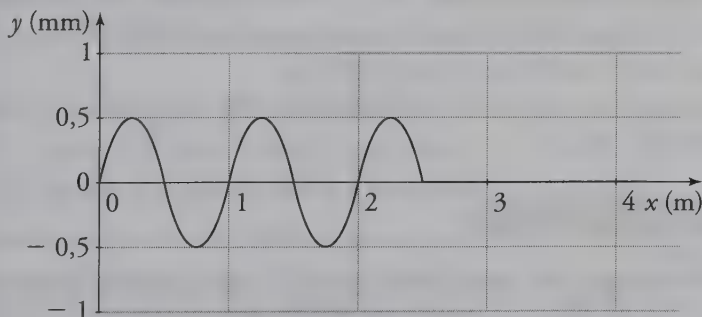


## EXERCICE 2

### Onde progressive périodique mécanique

Un vibreur est relié à l'extrémité S d'une corde. À l'instant  $t = 0$ , le vibreur est mis en mouvement. L'aspect de la corde au bout d'un temps de 200 ms est représenté ci-après, l'origine des abscisses  $x = 0$  correspond à la position de l'extrémité S.

1. À l'instant  $t = 0$ , le vibreur s'est mis en mouvement vers le haut. ☐
2. La longueur d'onde est de 1 m. ☐
3. La période du mouvement du vibreur est de 100 ms. ☐
4. La célérité de l'onde a pour valeur  $12,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . ☐



**EXERCICE 3****Fusion nucléaire**

La réaction de fusion entre un noyau de deutérium  ${}^2_1\text{H}$  et un noyau de tritium  ${}^3_1\text{H}$  conduit à la formation d'un noyau d'hélium  ${}^4_2\text{He}$ .

Données :

| Noyau                                | ${}^2_1\text{H}$ | ${}^3_1\text{H}$ | ${}^4_2\text{He}$ |
|--------------------------------------|------------------|------------------|-------------------|
| $\frac{\epsilon_1}{A}$ (MeV/nucléon) | 1,183            | 2,825            | 7,074             |

1. Le noyau de deutérium  ${}^2_1\text{H}$  contient un proton et deux neutrons. ☐
2. Il y a formation d'un proton au cours de cette réaction. ☐
3. L'énergie libérée par la réaction est égale à 17,455 MeV. ☐
4. L'énergie libérée par la réaction se trouve entièrement sous la forme de rayonnement  $\gamma$ . ☐

**EXERCICE 4****Datation par le carbone 14**

À haute altitude, l'azote  ${}^{14}_7\text{N}$  bombardé par des neutrons se transforme en carbone  ${}^{14}_6\text{C}$  radioactif  $\beta^-$ , de demi-vie  $t_{1/2} = 5\,600$  ans.

Données :  $\frac{\ln 2}{5\,600} = 1,24 \times 10^{-4}$  ;  $\frac{5\,600}{\ln 2} = 8\,080$ .

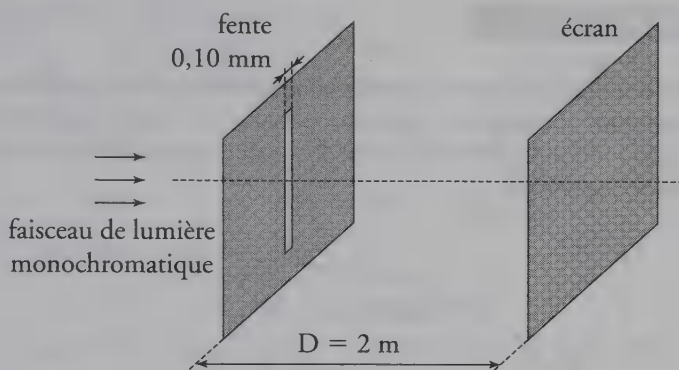
1. À haute altitude, l'équation de la réaction nucléaire s'écrit :  

$${}^{14}_7\text{N} + {}^1_0n \rightarrow {}^{14}_6\text{C} + {}^1_1\text{X} \text{ où } {}^1_1\text{X} \text{ est un proton.} \quad \square$$
2. L'équation de désintégration de  ${}^{14}_6\text{C}$  s'écrit :  ${}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^0_{-1}\text{e} + {}^{14}_5\text{X}$ . ☐  
 Un vieil échantillon contenant du  ${}^{14}_6\text{C}$  a une activité de 2 Bq. Un échantillon identique, récent et de même masse a une activité de 16 Bq.
3. Ce vieil échantillon est âgé de 22 400 ans. ☐
4. La constante radioactive caractéristique de  ${}^{14}_6\text{C}$  radioactif a pour valeur  $1,24 \times 10^{-4} \text{ an}^{-1}$ . ☐

**EXERCICE 5****Diffraction par une fente d'un faisceau de lumière monochromatique**

Une fente de largeur 0,10 mm, est éclairée par un faisceau de lumière monochromatique de longueur d'onde 450 nm.

Un écran, disposé perpendiculairement à la direction du faisceau de lumière, est placé à 2 m de la fente.



1. La couleur de cette lumière monochromatique est plus proche du rouge que du bleu. ☐
2. On observe sur l'écran une succession de taches verticales de plus en plus larges, alternativement brillantes et sombres. ☐
3. L'écart angulaire entre le milieu de la frange centrale et la première extinction est de 4,5 mrad. ☐
4. Le diamètre de la tache centrale est de 0,9 cm. ☐

## EXERCICE 6

### Dipôle RC. Charge d'un condensateur

On charge un condensateur sous une tension  $U_0 = 10 \text{ V}$  à travers une résistance  $R = 10 \text{ k}\Omega$ . À l'instant  $t = 0$ , la charge du condensateur est nulle et au bout d'un temps très long, la charge tend vers la valeur finale  $Q = 430 \text{ }\mu\text{C}$ . On note  $u(t)$  la tension aux bornes du condensateur.

Donnée :  $\ln x = 2,3 \log x$ .

1. D'après l'additivité des tensions dans le circuit, on peut écrire :

$$\frac{1}{RC} u(t) + \frac{du(t)}{dt} = U_0. \quad \square$$

2. La capacité  $C$  du condensateur a pour valeur  $C = 43 \text{ }\mu\text{C}$ . ☐

3. La constante de temps du circuit a pour valeur  $\tau = 0,43 \text{ ms}$ . ☐

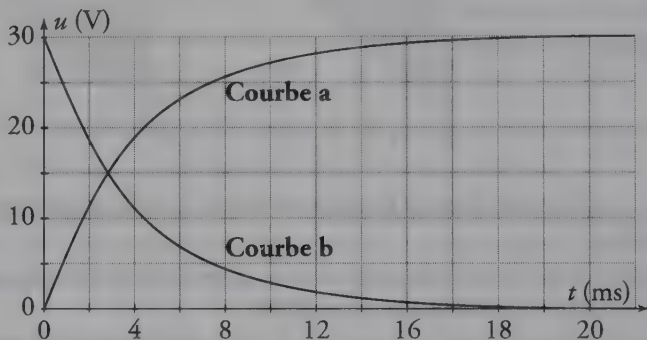
La tension aux bornes du condensateur est  $u(t) = U_0 \left[ 1 - \exp \left( -\frac{t}{\tau} \right) \right]$ .

4. La charge à 90 % est obtenue au bout d'un temps d'environ 10 s. ☐

## EXERCICE 7

**Charge d'un condensateur. Énergie emmagasinée par un condensateur**

On charge un condensateur sous une tension  $U$  à travers une résistance  $R = 10 \text{ k}\Omega$ . À l'aide d'un oscilloscope bicourbe, on visualise deux tensions représentées ci-dessous :



1. La courbe représentant les variations de la tension  $u_C$  aux bornes du condensateur en fonction du temps est la courbe b. ☐
2. La constante de temps  $\tau$  est la durée au bout de laquelle le condensateur est complètement chargé. ☐
3. La valeur maximale de l'intensité traversant le circuit est de 3 mA. ☐  
On charge deux condensateurs identiques en série sous la tension  $U$ .
4. L'énergie emmagasinée dans chaque condensateur est le quart de ce qu'elle aurait été avec un seul condensateur chargé sous la même tension  $U$ . ☐

## EXERCICE 8

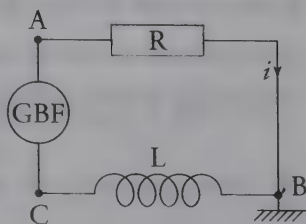
**Dipôle RL – Inductance d'une bobine**

On dispose d'une bobine longue d'inductance  $L$  et de résistance négligeable. Elle est placée dans un circuit comportant un conducteur ohmique de résistance  $R$  et un générateur basse fréquence de tension variable alimenté par un transformateur d'isolement.

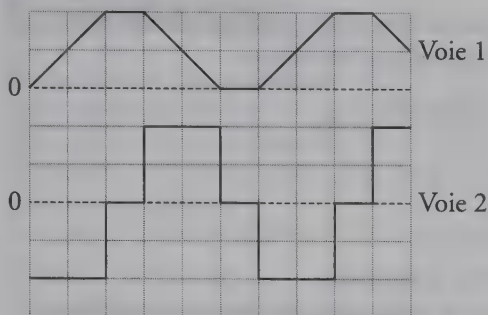
L'intensité maximale délivrée par le générateur est  $I_{\max} = 2 \text{ mA}$ .

Un oscilloscope bicourbe permet de visualiser les tensions  $u_{AB}$  et  $u_{CB}$ .

Les traces des voies en l'absence de tension figurent en pointillé sur la représentation ci-après.







Réglages de l'oscilloscope :

• Sensibilité de déviation verticale :

Voie 1 : 1 V/division

Voie 2 : 10 mV/division

• Balayage : 10 ms/division

1. On observe les tensions  $u_{AB}$  et  $u_{CB}$  respectivement sur les voies 1 et 2. ☐
2. La résistance  $R$  a pour valeur  $500 \, \Omega$ . ☐
3. L'inductance de la bobine a pour valeur  $0,2 \, \text{H}$ . ☐
4. À l'instant  $t = 10 \, \text{ms}$ , l'énergie emmagasinée dans la bobine a pour valeur  $0,4 \, \mu\text{J}$ . ☐

## EXERCICE 9

### Oscillations électriques. Dipôle RLC

Le circuit ci-contre comporte un générateur de tension constante  $E$ , une bobine d'inductance  $L$  (de résistance négligeable), un conducteur ohmique de résistance  $R$  ( $R$  ajustable de  $0$  à  $10 \, \text{k}\Omega$ ), un condensateur de capacité  $C$ , et un interrupteur.

• On place l'interrupteur en position 1.

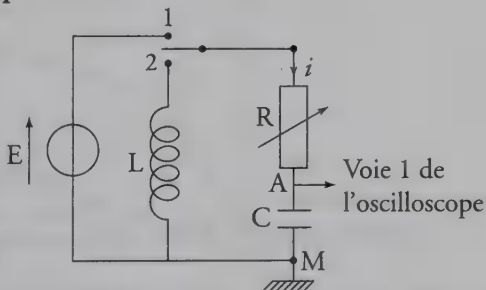
1. L'équation liant la tension  $u_{AM}$ , sa dérivée par rapport au temps et les caractéristiques du circuit s'écrit :

$$\frac{du_{AM}}{dt} + \frac{u_{AM}}{RC} + \frac{E}{RC} = 0. \quad \square$$

• On bascule l'interrupteur en position 2.

2. Quand l'interrupteur est en position 2, l'intensité circule initialement dans le sens indiqué sur le schéma. ☐

3. On observe des oscillations forcées sur la voie 1 de l'oscilloscope. ☐



4. Dans le cas où  $R = 0$ , l'équation liant la tension  $u_{AM}$ , sa dérivée par rapport au temps et les caractéristiques du circuit s'écrit :

$$\frac{d^2 u_{AM}}{dt^2} + \frac{u_{AM}}{LC} = 0.$$

□

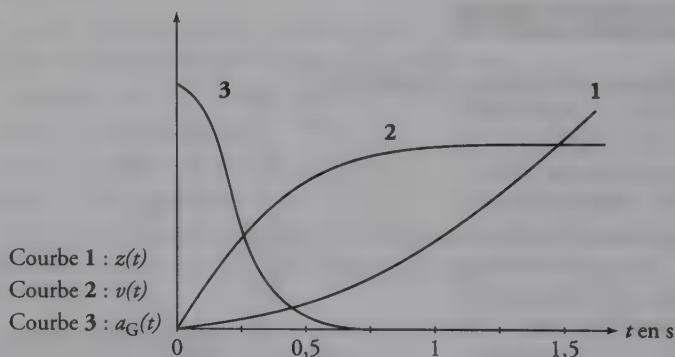
## EXERCICE 10

### Chute sans vitesse initiale avec frottements

Une petite bille de volume  $V$  et de masse  $m$  est abandonnée sans vitesse initiale à l'instant  $t = 0$  dans un mélange eau-glycérol de masse volumique  $\rho'$  contenu dans une éprouvette.

L'expérience filmée est traitée par un système informatique ; on obtient les tracés de la position  $z(t)$  du centre d'inertie de la bille, de sa vitesse  $v(t)$  et de son accélération  $a_G(t)$  en fonction du temps. L'axe verticale  $\overrightarrow{Oz}$  est orienté vers le bas.

On note  $\vec{P}$  le poids de la bille,  $\vec{f} = -k\vec{v}$  la force de frottement et  $\vec{F}$  la poussée d'Archimède.



Donnée :  $g$  : accélération de la pesanteur  $= 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

1. La deuxième loi de Newton s'écrit :  $\vec{P} + \vec{f} + \vec{F} = m\vec{a}_G$ .

□

2. Après avoir projeté la deuxième loi de Newton sur l'axe  $\overrightarrow{Oz}$ , on peut écrire :

$$mg + kv - \rho'Vg = m \frac{dv}{dt}.$$

□

3. La vitesse limite est atteinte par la bille à la date  $t = 0,25 \text{ s}$ .

□

4. Au bout de  $t = 1 \text{ s}$ , le mouvement de la petite bille est rectiligne-uniforme.

□

## EXERCICE 11

## Mouvements d'un parachute

Dans le référentiel terrestre, on considère le mouvement d'un parachute de masse  $m$  portant une masse  $M$ .

À l'instant  $t = 0$ , le parachute et sa charge sont abandonnés sans vitesse initiale à une hauteur  $h$ .

On prend un axe de référence  $\overrightarrow{Oz}$ , ascendant,  $O$  étant un point du sol.

Données :  $m = 20 \text{ kg}$ .

$h = 245 \text{ m}$ .

Accélération de la pesanteur :  $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

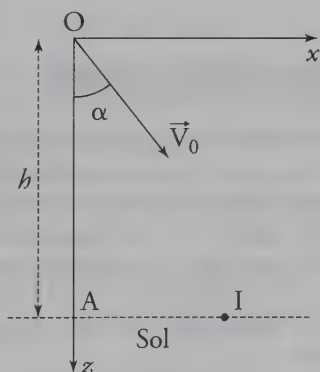
Le parachute ne s'ouvre pas. La résistance de l'air est négligeable.

1. L'équation horaire du parachute chargé s'écrit :  $z = -5t^2$ . ☐
2. Le parachute chargé arrive au sol avec la vitesse de valeur  $70 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . ☐  
Le parachute s'ouvre, la résistance de l'air est proportionnelle au carré de la vitesse :  $R = kv^2$  avec  $k = 20 \text{ S.I.}$ . Le parachute atteint la vitesse limite de  $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .
3. Quand la vitesse limite est atteinte l'accélération est nulle. ☐
4. La charge que porte le parachute a pour valeur  $M = 128 \text{ kg}$ . ☐

## EXERCICE 12

## Chute libre avec vitesse initiale

Une petite balle considérée ponctuelle de masse  $m = 200 \text{ g}$  est lancée d'un point  $O$ , d'une fenêtre d'un immeuble, située à la distance  $h$  du sol, avec une vitesse de valeur  $V_0 = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , le vecteur vitesse faisant un angle  $\alpha = 8^\circ$  avec la verticale orientée vers le bas. La balle touche le sol en un point  $I$  situé à  $1,40 \text{ m}$  de  $A$ , pied de l'immeuble. La résistance de l'air est négligeable.



Données : Accélération de la pesanteur :  $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

$\tan 8^\circ \approx \sin 8^\circ \approx 0,14$ .

$\cos 8^\circ \approx 1$ .

1. La distance  $h$  a pour valeur 5 m. ☐
2. Le temps de chute a pour valeur 0,14 s. ☐
3. La vitesse de la balle, quand elle arrive au sol en I, a pour valeur  $14,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . ☐
4. La valeur de la vitesse de la balle, quand elle arrive au sol en I, dépend de l'angle  $\alpha$ . ☐

### EXERCICE 13

#### Navette spatiale en orbite circulaire

Une navette spatiale a été placée sur une orbite circulaire à une altitude  $h = 260 \text{ km}$  de la surface de la Terre. À cette altitude, l'accélération de la pesanteur a pour valeur  $9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  environ.

Données :  $\pi^2 \approx 10$  ;  $\sqrt{6\,660} \approx 81$ .

Rayon de la Terre :  $R_T = 6\,400 \text{ km}$ .

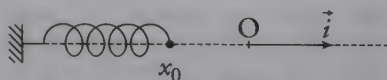
1. Les spationautes sont dit « en impesanteur » car à cette altitude, l'attraction terrestre peut être négligée. ☐
2. Le vecteur accélération de la navette est un vecteur constant. ☐
3. Le satellite Spot, en orbite circulaire à une altitude  $h = 830 \text{ km}$  de la surface de la Terre, a une vitesse angulaire supérieure à celle de la navette spatiale. ☐
4. La période de révolution de la navette spatiale a pour valeur  $T = 1,5 \text{ heure}$ . ☐

### EXERCICE 14

#### Oscillateur mécanique horizontal

Un ressort de masse négligeable, à spires non jointives, de coefficient de raideur  $k$  et de longueur à vide  $\ell_0$ , est fixé à son extrémité gauche à un support fixe. L'axe du ressort est horizontal. Une bille de masse  $m = 100 \text{ g}$  est fixée à l'autre extrémité libre.

Le mouvement de la bille est étudié dans un repère  $(O ; \vec{i})$  où l'origine  $O$  du repère coïncide avec la position de repos du centre d'inertie de la bille. On comprime le ressort de telle sorte que à  $t = 0$  on ait  $x = -0,10 \text{ m}$ , puis on abandonne le système sans vitesse initiale.



Position à  $t = 0$

Pendant 10 secondes, on observe 20 oscillations de la bille, l'amplitude de ces oscillations restant pratiquement constante.

Donnée :  $\pi^2 = 10$ .

1. La période des oscillations est de 10 s. ☐
2. La période des oscillations est donnée par la relation  $T = 2\pi \sqrt{\frac{k}{m}}$ . ☐
3. La valeur de la constante de raideur  $k$  du ressort est de  $1,6 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ . ☐
4. L'accélération du mouvement du centre d'inertie de la bille à  $t = 0$  a pour valeur  $a = 16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ . ☐

## EXERCICE 15

### Énergie emmagasinée par un condensateur. Transformation d'énergie

Soit le circuit ci-contre :

Données :

Générateur : f.é.m.  $E = 6 \text{ V}$ .

Résistance ohmique :  $R = 3 \Omega$ .

Condensateur de capacité :

$C = 1 \text{ mF}$ .

Accélération de la pesanteur :

$g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

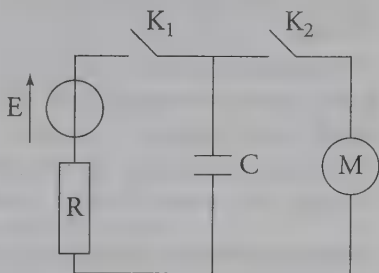
Sur l'axe du moteur  $M$  s'enroule un fil relié à un objet de masse  $100 \text{ g}$ .

L'interrupteur  $K_2$  étant ouvert, on ferme  $K_1$  :

1. L'intensité maximale du courant débité par le générateur est de  $2 \text{ A}$ . ☐
2. L'énergie maximale emmagasinée dans le condensateur est  $18 \text{ mJ}$ . ☐

On ouvre  $K_1$ , on ferme  $K_2$  : le moteur tourne et l'objet s'élève d'une hauteur  $h = 1,0 \text{ cm}$ . Le moteur cesse de tourner, la tension aux bornes du condensateur est alors  $U = 4 \text{ V}$ .

3. La variation d'énergie dans le condensateur entre le début de la décharge et l'instant où le moteur s'arrête est  $|\Delta E| = 8 \text{ mJ}$ . ☐
4. La transformation de l'énergie électrique en énergie mécanique s'effectue avec un rendement de  $25 \%$ . ☐



## EXERCICE 16

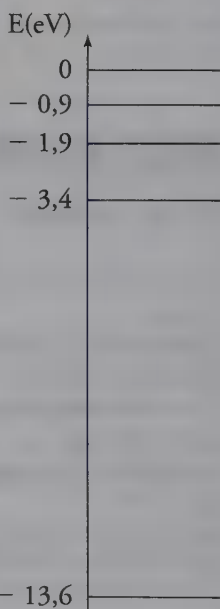
## Niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène

Les niveaux d'énergie possibles de l'atome d'hydrogène sont données par la

relation  $E_n = -\frac{E_0}{n^2}$  ( $n$  entier supérieur ou égal à 1) avec  $E_0 = 13,6$  eV.

La constante de Planck est notée  $h$  et la célérité de la lumière est notée  $c$ .

Un diagramme simplifié de ces niveaux est donné ci-contre.



1. L'atome d'hydrogène est dans son état fondamental pour  $n = \infty$ . ☐

2. L'énergie de la molécule de dihydrogène n'est pas quantifiée. ☐

On fournit successivement à l'atome d'hydrogène, pris dans son état fondamental, les quanta d'énergie suivants : 6 eV ; 12,7 eV et 15 eV grâce à des radiations électromagnétiques.

3. Les quanta d'énergie 6 eV et 12,7 eV sont absorbés par l'atome. ☐

4. L'atome d'hydrogène se désexcite du niveau d'énergie 2 au niveau d'énergie 1 en émettant une

radiation de longueur d'onde  $\lambda = \frac{hc}{E_2 - E_1}$ . ☐

Mai 2003

111

## CONCOURS FESIC



École Louis de Broglie-CPE Lyon-ESA-ESAP-ESCOM-ESEO-ESTIT-  
ISA-ISAB-ISARA-ISEB-ISEM-ISEN-ISEP-IGAL

## ÉPREUVE DE CHIMIE

**durée 1 heure 30 minutes**

Cette épreuve comprend 16 exercices.

Chaque exercice comporte 4 affirmations repérées par les nombres **1., 2., 3., 4.** : il faut indiquer pour chacune d'elles si elle est vraie (V) ou fausse (F).

**Remarque 1** : une lecture attentive des énoncés est absolument nécessaire, le vocabulaire employé et les questions posées étant très précis.

**Remarque 2** : pour cette épreuve il faut traiter 12 exercices seulement.

Un exercice est considéré comme traité dès qu'une réponse à une des 4 affirmations est donnée (l'abstention et l'annulation ne sont pas considérées comme réponse).

Toute réponse exacte rapporte un point.

Toute réponse inexacte entraîne le retrait d'un point.

L'annulation d'une réponse ou l'abstention n'est pas prise en compte, c'est-à-dire ne rapporte ni ne retire aucun point.

Une bonification de deux points est ajoutée chaque fois qu'un exercice est traité correctement en entier (c'est-à-dire lorsque les réponses aux 4 affirmations sont exactes). L'usage de la calculatrice est interdit ainsi que tout document ou formulaire.

*Données :*

Masses atomiques molaires en  $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$  :

| H | C  | O  | Mg | Cr | Cl   | K  | Fe | Cd  | Ag  |
|---|----|----|----|----|------|----|----|-----|-----|
| 1 | 12 | 16 | 24 | 52 | 35,5 | 39 | 56 | 112 | 108 |

## EXERCICE 1

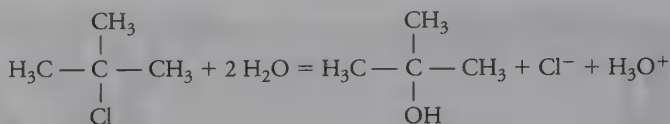
## Hydrolyse du 2-chloro-2-méthylpropane

À 1,00 g de 2-chloro-2-méthylpropane en solution dans 50 mL d'acétone

$\text{H}_3\text{C}-\underset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{CH}_3$ , on ajoute 50 mL d'eau à 25 °C. Le chloroalcane s'hydro-

lyse suivant la réaction totale d'équation :





Données :

- Masse volumique de l'eau :  $\mu = 1\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .
- Conductivités molaires ioniques à  $25^\circ\text{C}$  :  $\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} = 35 \text{ mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$  ;  
 $\lambda_{\text{Cl}^-} = 7,6 \text{ mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$

$$\frac{1}{92,5} = 1,08 \cdot 10^{-2}, \quad \frac{50}{18} = 2,78, \quad \frac{2}{42,6} = 4,7 \cdot 10^{-2}, \quad \frac{4,7}{1,08} = 4,3.$$

1. Les réactifs sont dans les proportions stœchiométriques. ☐
  2. La vitesse volumique de la réaction peut être suivie en mesurant la conductance de la solution. ☐
  3. L'avancement maximal est :  $x_{\text{max}} = 1,08 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$ . ☐
- À  $t = 200 \text{ s}$ , la conductivité de la solution vaut :  $\sigma = 2,00 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$ .
4. Le taux d'avancement de la réaction est alors :  $\tau = 0,43$ . ☐

## EXERCICE 2

### Suivi spectrophotométrique d'une cinétique de réaction

On suit par spectrophotométrie la cinétique de la réaction des ions iodure avec les ions peroxydisulfate qui conduit à la formation de diiode et d'ions sulfate.

L'équation de la réaction est la suivante :

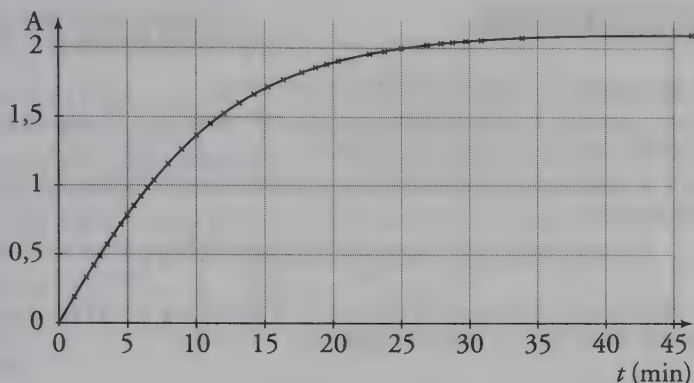


Les concentrations et volumes des réactifs introduits sont les suivants :

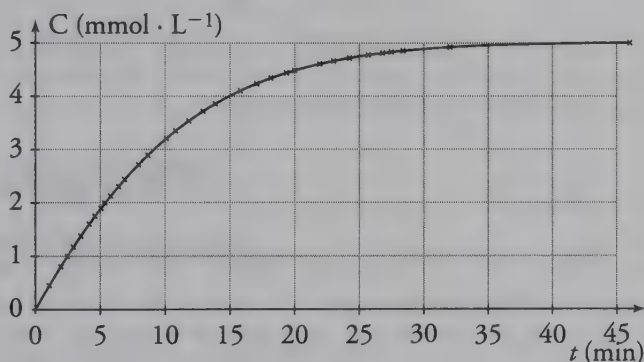
$$\text{S}_2\text{O}_8^{2-} : C_1 = 0,50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} ; V_1 = 10,0 \text{ mL} ;$$

$$\text{I}^- : C_2 = 0,020 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} ; V_2 = 10,0 \text{ mL}.$$

On a obtenu la courbe ci-après donnant l'absorbance en fonction du temps.



On en a déduit la courbe donnant la concentration en diiode en fonction du temps ( $C$  = concentration en diiode) :



Une solution de diiode jaune absorbe dans le bleu. Les ions de la solution sont incolores.

1. La longueur d'onde choisie pour le suivi spectrophotométrique correspond à une radiation bleue. ☐

La loi de Beer-Lambert utilisée s'écrit :  $A = \varepsilon_{\lambda} \cdot \ell \cdot [I_2]$

avec  $\ell$ , l'épaisseur de la cuve et  $\varepsilon_{\lambda}$  le coefficient d'absorption molaire pour la longueur d'onde  $\lambda$  choisie.

2.  $\varepsilon_{\lambda}$  s'exprime en  $\text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$  dans les unités du S.I. ☐

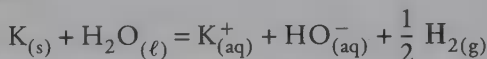
3. La valeur de  $\varepsilon_{\lambda} \ell$  pour cette cinétique est environ égale à 0,42 S.I. ☐

4. La réaction est totale. ☐

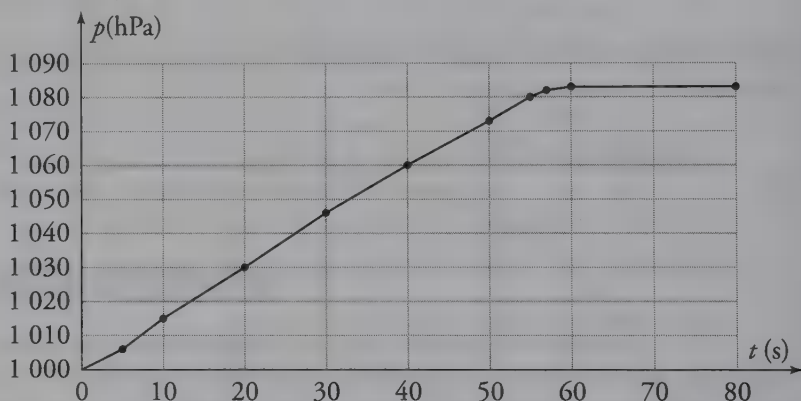
**EXERCICE 3****Suivi par pression d'une cinétique de réaction**

Dans une enceinte fermée et thermostatée, on introduit 195 mg de potassium solide dans 250 mL d'eau distillée.

On suit la cinétique de la transformation chimique modélisée par l'équation de réaction :



Cette cinétique est suivie par la mesure de la pression  $p$  dans l'enceinte. La courbe  $p = f(t)$  est donnée ci-après :



| $t \text{ (s)}$                     | 0     | 5     | 10    | 20    | 30    | 40    | 50    | 55    | 57    | 60    | 80    |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $p(10^3 \text{ h} \cdot \text{Pa})$ | 1,000 | 1,006 | 1,015 | 1,030 | 1,046 | 1,060 | 1,073 | 1,080 | 1,082 | 1,083 | 1,083 |

Données :  $\theta = 27^\circ \text{C}$  ;  $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

- La variation de pression dans l'enceinte est proportionnelle à la quantité de dihydrogène formé. ☐
- La quantité de dihydrogène formé est égale à la quantité de potassium consommé. ☐
- L'avancement maximal est de 2,5 mmol. ☐
- Le volume de gaz dégagé dans l'enceinte est de 750 mL. ☐

## EXERCICE 4

## Dureté de l'eau

L'ion magnésium est avec l'ion calcium responsable de la dureté de l'eau. La solubilité du carbonate de magnésium  $\text{MgCO}_{3(s)}$  est égale à  $s = 3,2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  à une température  $\theta$ .

La solubilité s'exprime par la quantité maximale de matière de soluté solubilisé dans un litre de solution. Tout se passe à la température  $\theta$ .

Données :  $(3,2)^2 \approx 10$  ;  $32 \times 84 \approx 2,69 \cdot 10^3$ .

1. On peut dissoudre jusqu'à 2,69 g de carbonate de magnésium par litre d'eau. ☐
2. Dans une solution saturée, la concentration en ions  $\text{Mg}^{2+}$  est de  $3,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . ☐
3. La constante d'équilibre de la réaction de précipitation,  $\text{Mg}_{(aq)}^{2+} + \text{CO}_{3(aq)}^{2-} = \text{MgCO}_{3(s)}$  est  $K = 10^{-5}$ . ☐
4. Si on mélange deux volumes égaux de solutions de nitrate de magnésium à  $8,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  et de carbonate de sodium à  $8,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , on observe la précipitation de  $\text{MgCO}_{3(s)}$ . ☐

## EXERCICE 5

## Solution d'acide éthanoïque

Le pH d'une solution d'acide éthanoïque de concentration de soluté apporté  $C = 6,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  a une valeur de 3,0.

1. Selon la définition de Brönsted, l'acide éthanoïque est une espèce chimique susceptible d'accepter un proton. ☐
2. La réaction entre l'acide éthanoïque et l'eau n'est pas totale. ☐
3. Le taux d'avancement final de la réaction est de 1,7 %. ☐
4. Lorsque le système chimique n'évolue plus, il n'y a plus de réaction chimique se déroulant en son sein. ☐

## EXERCICE 6

## Mélange d'une solution d'acide 2-chloroéthanoïque et d'une solution d'hydroxyde de sodium

On ajoute à une solution d'acide 2-chloroéthanoïque ( $\text{ClCH}_2\text{—COOH}$ ), un certain volume de solution d'hydroxyde de sodium ou soude. On obtient une solution notée S.

Après refroidissement, on mesure à  $25^\circ\text{C}$ , le pH de la solution S, celui-ci est égal à  $\text{p}K_A + 1$ .

Le graphe ci-après représente les pourcentages des espèces acide et basique du couple  $\text{ClCH}_2\text{—COOH}/\text{ClCH}_2\text{—COO}^-$  en fonction du pH.

Donnée :  $\log 10 = 1$ .

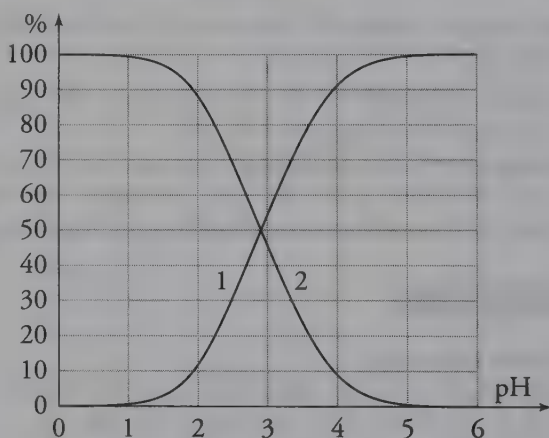
1. La courbe 1 correspond à l'espèce  $\text{ClCH}_2\text{—COO}^-$ , la courbe 2 à l'espèce  $\text{ClCH}_2\text{—COOH}$ . ☐

2. L'intersection des deux courbes permet d'obtenir le  $\text{pK}_A$  du couple  $\text{ClCH}_2\text{—COOH}/\text{ClCH}_2\text{—COO}^-$ . ☐

3. Dans la solution S, on a la relation :

$$[\text{ClCH}_2\text{—COOH}] = 10 \times [\text{ClCH}_2\text{—COO}^-].$$

4. La solution S est basique. ☐



## EXERCICE 7

**Mélange d'une solution d'hydroxyde de sodium et d'une solution d'acide éthanoïque**

On dispose des solutions aqueuses suivantes :

A : solution d'hydroxyde de sodium de concentration de soluté apporté  $C_1 = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

B : solution d'acide éthanoïque de concentration de soluté apporté  $C_2 = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  ( $\text{pK}_A = 4,8$ ).

On obtient la solution D en mélangeant 100 mL de solution A avec 100 mL de solution B.

Donnée :  $\text{pK}_e = 14$ .

1. La solution A a un  $\text{pH} = 2,0$ . ☐

2. La constante d'équilibre associée à la transformation qui se produit dans la solution D est environ égale  $10^9$ . ☐
3. Le pH de la solution D est de 4,8. ☐
4. Le taux d'avancement final pour la transformation étudiée dans la solution D ne dépend que de la constante d'équilibre. ☐

## EXERCICE 8

### Étude conductimétrique d'une solution d'acide fluorhydrique

On prépare un volume  $V = 1 \text{ L}$  de solution d'acide fluorhydrique par dissolution de  $n = 10^{-3} \text{ mol}$  de fluorure d'hydrogène HF dans l'eau.

On mesure, à  $25^\circ\text{C}$  sous 1 bar, la conductivité de la solution. La valeur obtenue est  $\sigma = 22,3 \cdot 10^{-3} \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$ .

Données :

Conductivités molaires ioniques à  $25^\circ\text{C}$  :

$$\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} = 35 \cdot 10^{-3} \text{ S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1} ; \quad \lambda_{\text{F}^-} = 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1} .$$

$$5,5 \times 4,05 = 22,3 ; \quad 0,45 \times 0,68 = (0,55)^2 .$$

1. La transformation chimique est modélisée par l'équation de réaction suivante :



2. L'avancement final de la réaction est  $x_f = 0,55 \text{ mmol}$ . ☐

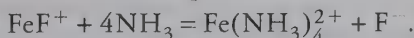
3. La constante de la réaction a pour expression  $K_A = \frac{x_f^2}{(n - x_f^2)V}$ . ☐

4. La valeur de la constante de la réaction est  $K_A = 0,68$ . ☐

## EXERCICE 9

### Formation du complexe tétraamminefer (II)

L'ion complexe fluorofer (II)  $\text{FeF}^+$  réagit, en solution aqueuse, avec l'ammoniac  $\text{NH}_3$  pour former l'ion complexe tétraamminefer (II)  $\text{Fe}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ , selon la réaction d'équation :



La constante d'équilibre de cette réaction est :  $K = 10^{-3,2}$ .

On réalise une solution contenant, dans l'état initial :

- $0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  de  $\text{FeF}^+$ ,
- $0,20 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  d'ammoniac,
- $0,50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  d'ion  $\text{Fe}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ ,
- $0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  d'ion  $\text{F}^-$ .

Donnée :  $\frac{5}{1,6} = 3,125$ .

1. Le quotient de la réaction, pour le mélange précédent, est :  $Q_r = 2,5$ . ☐
2. La réaction évolue spontanément de façon à former des ions  $\text{FeF}^+$ . ☐
3. La valeur de la constante d'équilibre peut être déterminée à partir de mesures conductimétriques. ☐
4. Si on dilue la solution, les concentrations à l'équilibre ne changent pas. ☐

## EXERCICE 10

### Étude d'une pile Plomb/Zinc

On réalise les demi-piles  $\text{Zn}_{(\text{aq})}^{2+}/\text{Zn}_{(\text{s})}$  et  $\text{Pb}_{(\text{aq})}^{2+}/\text{Pb}_{(\text{s})}$ . Chaque demi-pile contient 100 mL de solution de concentration  $1,00 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . Le zinc et le plomb des électrodes sont en très large excès.

On considère la réaction :  $\text{Zn}_{(\text{aq})}^{2+} + \text{Pb}_{(\text{s})} = \text{Zn}_{(\text{s})} + \text{Pb}_{(\text{aq})}^{2+}$  dont la constante d'équilibre a pour valeur  $K = 4 \cdot 10^{-22}$ .

Donnée :  $F = 96,5 \cdot 10^3 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

1. La valeur initiale du quotient de la réaction considérée dans l'énoncé est égale à 1. ☐
2. Le système évolue dans le sens inverse de la réaction considérée. ☐
3. Lorsque l'équilibre est atteint,  $[\text{Pb}^{2+}] = 0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . ☐
4. La charge transférée au cours de l'évolution du système a pour valeur  $193 \cdot 10^3 \text{ C}$ . ☐

## EXERCICE 11

### Étude d'une pile Cadmium/Argent

On réalise une pile cadmium-argent contenant les couples oxydoréducteurs  $\text{Ag}_{(\text{aq})}^+/\text{Ag}_{(\text{s})}$  et  $\text{Cd}_{(\text{aq})}^{2+}/\text{Cd}_{(\text{s})}$ .

Les concentrations initiales des ions métalliques sont égales à :

$$3,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

La partie immergée de l'électrode à cadmium a une masse de 3,36 g.

Lorsque la pile fonctionne la masse de l'électrode de cadmium diminue et il se forme un dépôt d'argent sur l'électrode d'argent.

1. Une pile en fonctionnement est un système en équilibre. ☐
2. La lame d'argent constitue le pôle positif de cette pile. ☐
3. Le volume minimal de la solution électrolytique à utiliser pour que la partie immergée du cadmium soit totalement consommée est de 100 mL. ☐



4. La masse d'argent formée sur la partie immergée de l'électrode d'argent est 3,24 g. ☐

## EXERCICE 12

### Chromage d'un tube d'acier

Pour lutter contre l'oxydation, un tube d'acier de bicyclette est chromé avec 1,04 g de dépôt électrolytique de chrome.

Pour cela, on électrolyse une solution aqueuse de sulfate de chrome III par le passage d'un courant continu d'intensité constante  $I = 10 \text{ A}$ .

Donnée :  $F = 96,5 \cdot 10^3 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

1. Il y a trois ions sulfate pour un ion chrome III dans la solution. ☐
2. Le dépôt s'effectue à l'anode. ☐
3. Lorsque le dépôt est effectué, l'avancement de la réaction est de 0,020 mol. ☐
4. La durée de l'électrolyse doit être de 193 s. ☐

## EXERCICE 13

### Électrolyse d'une solution aqueuse de chlorure de fer (III)

On électrolyse 100 mL d'une solution aqueuse de chlorure de fer (III) ( $\text{Fe}^{3+} + 3\text{Cl}^-$ ) à  $5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

On observe un dépôt de fer métallique sur une des électrodes.

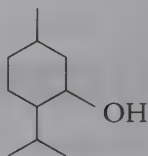
L'intensité du courant électrique est maintenue constante et égale à 1,0 A, durant les 10 minutes de l'électrolyse.

Données :  $F = 96,5 \cdot 10^3 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$ .  $\frac{56}{96,5} = 0,58$  ;  $\frac{40}{96,5} = 0,41$ .

1. Le fer se dépose à la cathode. ☐
2. La masse du fer déposée en fin d'électrolyse vaut  $m = 0,35 \text{ g}$ . ☐
3. L'avancement maximal de la réaction d'électrolyse des ions  $\text{Fe}^{3+}$  est :  $x_{\text{max}} = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$ . ☐
4. Le taux d'avancement final vaut :  $\epsilon = 0,41$ . ☐

**EXERCICE 14****Estérification du menthol**

L'huile essentielle de menthe poivrée contient un ester à l'odeur florale : l'éthanoate de menthyle. On l'obtient par estérification du menthol de formule topologique représentée ci-contre.



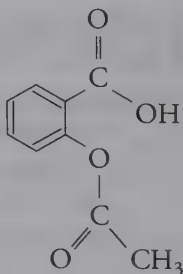
Données :

|                                | Menthol | Acide éthanóïque | Éthanoate de menthyle |
|--------------------------------|---------|------------------|-----------------------|
| Densité                        | 0,89    | 1,05             | 0,92                  |
| Température d'ébullition en °C | 212     | 118              | 227                   |

- La masse molaire du menthol est égale à  $156 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ . ☐
- On introduit dans un ballon du menthol, de l'acide éthanóïque, quelques gouttes d'acide sulfurique concentré et des grains de pierre ponce. On adapte sur ce ballon un réfrigérant à eau vertical puis on chauffe. ☐
- Ce type de montage est une hydrodistillation. ☐
- Après le chauffage, on refroidit le contenu du ballon, que l'on verse dans une solution d'eau salée saturée. On place l'ensemble dans une ampoule à décanter. ☐
- Dans l'ampoule à décanter la phase organique se trouve au-dessus de la phase aqueuse. ☐
- Il est possible d'augmenter le rendement de la transformation en distillant en continu l'ester formé. ☐

**EXERCICE 15****Étude de l'aspirine**

L'aspirine ou acide acétylsalicylique (voir formule ci-contre) réagit avec l'eau pour former l'ion acétylsalicylate. Le taux d'avancement de la réaction est de 16 % dans une solution à  $1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  dont le pH est égal à 2,8.



- La molécule d'aspirine possède une fonction cétone. ☐
- La masse molaire de l'aspirine est de  $176 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ . ☐
- Le  $\text{pK}_A$  du couple acide acétylsalicylique/ion acétylsalicylate est inférieur à 2,8. ☐
- On peut saponifier l'aspirine par réaction avec de la sonde. ☐

## EXERCICE 16

## Obtention du palmitate de myricyle

Le palmitate de myricyle :



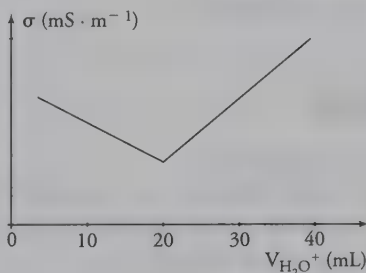
de masse molaire  $M = 676 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  est le principal constituant de la cire d'abeille.

Dans un ballon, on traite à chaud 13,52 g de palmitate de myricyle avec un excès d'une solution hydroalcoolique d'hydroxyde de potassium.

Au bout d'une heure, on procède au relargage du savon, l'ensemble est refroidi et filtré.

On titre par conductimétrie la quantité d'ions hydroxyde restants dans ce ballon avec une solution d'acide chlorhydrique de concentration  $C_a = 0,25 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

On mesure la conductivité  $\sigma$  de la solution, et on trace la courbe de titrage  $\sigma = f(V_{\text{H}_3\text{O}^+ \text{ versé}})$ .



1. La transformation étudiée s'appelle une hydrolyse basique. ☐
2. Le taux d'avancement final de la transformation étudiée est maximal. ☐
3. La quantité de matière d'ions hydroxyde restants dans le ballon est égale à 5,0 mmol. ☐
4. Si le rendement de l'opération de relargage est égal à 80 %, on obtiendra 4,70 g de savon. ☐

## ÉPREUVE DE PHYSIQUE-CHIMIE

### Questionnaire à choix multiple (Q.C.M.)

**durée 2 heures**

Cette épreuve est constituée de 20 exercices.

Chaque exercice est pourvu de 5 réponses : 1, 2, 3, 4 et 5.

Pour chaque exercice vous indiquez dans la case placée après chaque réponse :

V : si vous jugez la réponse exacte.

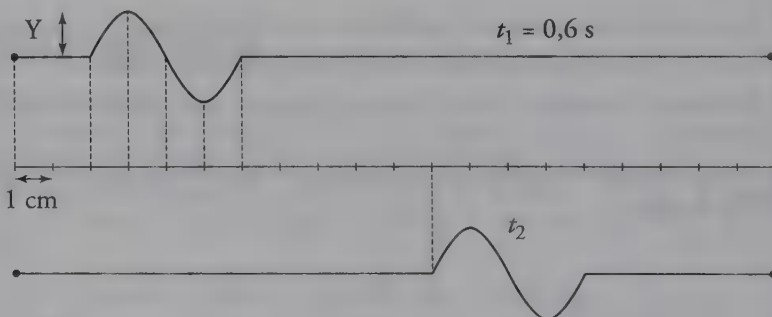
F : si vous jugez la réponse fausse.

Les calculatrices ne sont pas autorisées.

### EXERCICE 1

#### Propagation d'une perturbation

À l'instant  $t = 0$ , une corde subit, en son extrémité O, une perturbation selon la verticale. Les graphes ci-dessous représentent l'aspect de la corde aux instants  $t_1 = 0,6$  s et  $t_2$  à déterminer :



1. La perturbation de la corde constitue une onde longitudinale. ☐
2. La célérité de l'onde est de  $0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . ☐
3. La durée de la perturbation est de  $0,4$  s. ☐
4.  $t_2 = 1$  s. ☐
5. L'amplitude du signal est de  $2Y$ . ☐

## EXERCICE 2

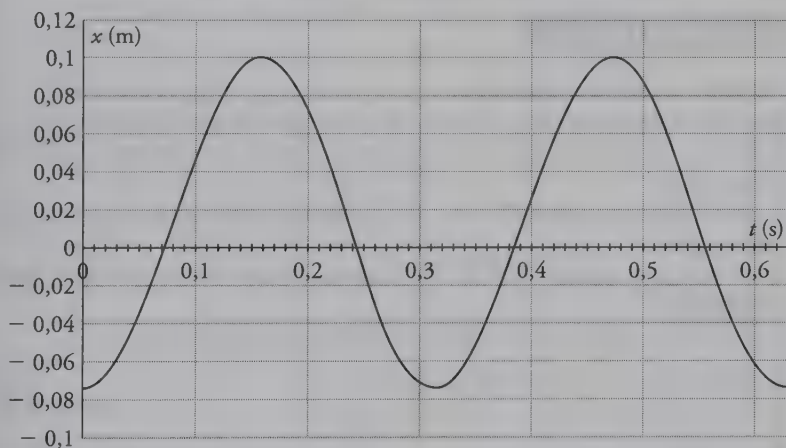
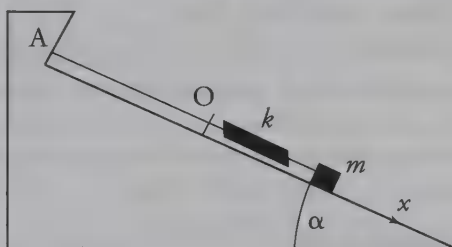
## Pendule élastique incliné

Une masse  $m = 100 \text{ g}$  est attachée à l'extrémité d'un ressort de raideur  $k$  et de longueur à vide  $\ell_0$ .

L'autre extrémité du ressort est fixée au point A. On lâche  $m$  sans vitesse initiale de l'abscisse  $x_0$  et  $m$  glisse sans frottement sur  $(Ox)$  incliné d'un angle  $\alpha$  par rapport à l'horizontale.

On enregistre l'évolution  $x(t)$  de l'abscisse de  $m$  par rapport à O tel que  $AO = \ell_0$ .

L'accélération de la pesanteur est prise égale à  $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .



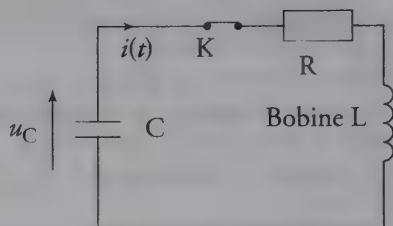
1.  $k = 100 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ . ☐
2.  $\sin \alpha = 1/2$ . ☐
3.  $x_0 = -0,075 \text{ m}$ . ☐
4. L'amplitude du mouvement est de 10 cm. ☐
5.  $m$  subit des oscillations libres amorties. ☐

**EXERCICE 3****Dipôle R, L, C**

Le condensateur de capacité  $C$  est initialement chargé et  $u_C(t=0) = U_0$ .

On suppose la résistance  $R$  relativement faible et plus précisément  $R^2 < 4L/C$ .

À  $t=0$ , on ferme l'interrupteur  $K$ .



1. Il s'établit un régime pseudo-périodique. ☐
2. L'énergie totale du circuit ne varie pas au cours du temps. ☐
3. Toute l'énergie libérée par le condensateur est emmagasinée dans la bobine. ☐
4. Au bout d'un temps très grand, toute l'énergie initialement contenue dans le condensateur est dissipée par effet Joule. ☐
5. Plus  $R$  est faible, plus le régime est amorti. ☐

**EXERCICE 4****Réaction nucléaire spontanée**

Au cours d'une réaction nucléaire, un noyau père donne un noyau fils.

À  $t=0$ , on mesure  $N = 8 \cdot 10^{15}$  noyaux pères encore présents dans l'échantillon.

À  $t = 1,66$  s, on mesure  $N = 6 \cdot 10^{15}$  noyaux pères encore présents dans l'échantillon.

À  $t = 4$  s, on mesure  $N = 4 \cdot 10^{15}$  noyaux pères encore présents dans l'échantillon.

En notant  $t_{1/2}$  le temps de demi-vie,  $N(t)$  est de la forme :

1.  $N(t) = 8 \cdot 10^{15} \exp(-t \ln 2 / t_{1/2})$ . ☐
  2.  $N(t) = 8 \cdot 10^{15} \exp(-t / (\ln 2) t_{1/2})$ . ☐
  3.  $t_{1/2} = 4$  s. ☐
- Au bout de  $3t_{1/2}$ , il reste :
4.  $1,33 \cdot 10^{15}$  noyaux pères. ☐
  5.  $10^{15}$  noyaux pères. ☐

## EXERCICE 5

## Chute d'une bille dans un liquide

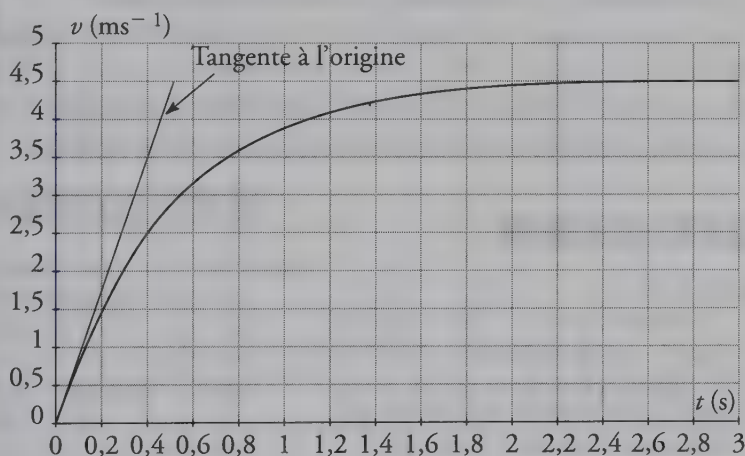
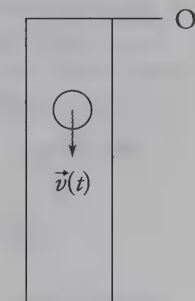
À l'instant  $t=0$  et à partir de O, on lâche sans vitesse initiale une bille pleine sphérique, de rayon  $R$  et de masse volumique  $\rho$ , dans un fluide de masse volumique  $\rho'$ . Outre son poids et la poussée d'Archimède, la bille est soumise à une force de frottement fluide du type  $-k\vec{v}$ , où  $k$  est une constante et  $\vec{v}$  le vecteur vitesse à l'instant  $t$ .  $k$  dépend de la viscosité du fluide selon l'expression  $k=20\eta R$ .

On donne  $R=5\text{ mm}$ ,

$\rho=9\,550\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}=(30\,000/\pi)\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  et

l'accélération de la pesanteur  $g=10\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ .

La taille du récipient est suffisante pour obtenir l'évolution de la vitesse  $v$  pendant 3 secondes. Cette vitesse est représentée ci-dessous :



1.  $m=5\text{ g}$ .
2.  $\rho'=955\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .
3.  $k=10\text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ .
4.  $\eta=0,1\text{ S.I.}$
5.  $\eta$  s'exprime en  $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$ .

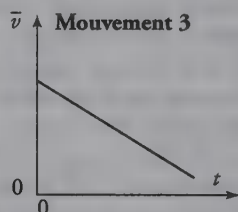
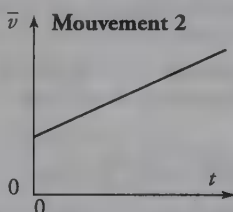
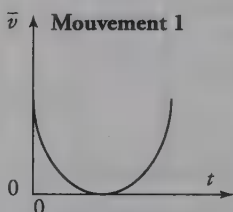
☐  
☐  
☐  
☐  
☐



## EXERCICE 6

### Étude de mouvements rectilignes

Les graphes ci-dessous représentent, pour divers mouvements rectilignes, la mesure algébrique  $\vec{v}$  de la vitesse en fonction du temps. Le vecteur vitesse s'écrit  $\vec{v} = \vec{v} \vec{i}$  où  $\vec{i}$  est un vecteur unitaire directeur de la droite décrite par le mobile.



1. Au cours du mouvement 1, le mobile fait demi-tour. ☐
2. Le mouvement 2 est un mouvement uniformément accéléré. ☐
3. Lors du mouvement 3, le vecteur vitesse est opposé au vecteur accélération. ☐
4. Au cours du mouvement 1, la norme de l'accélération augmente. ☐
5. Au cours du mouvement 2, la vitesse est proportionnelle au temps. ☐

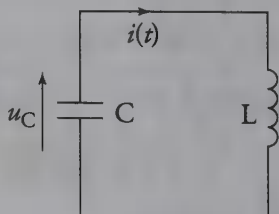
## EXERCICE 7

### Dipôle L, C

Le condensateur C, de capacité  $C = 1 \mu\text{F}$ , est initialement chargé et  $u_C(t=0) = U_M = 6 \text{ V}$ .

On note  $I_M$  l'amplitude du courant  $i(t)$  circulant dans le circuit et  $i(t=0) = 0$ .

On suppose le régime permanent établi.

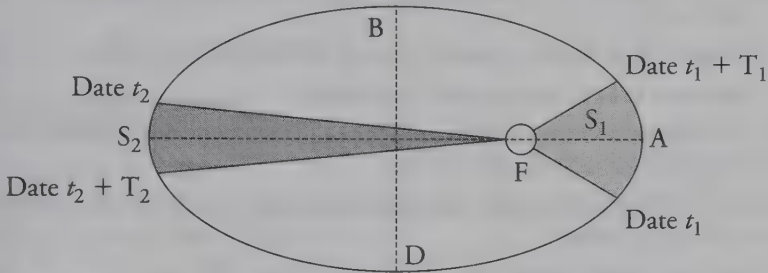


1. À  $t = 0$ , l'énergie emmagasinée dans le condensateur vaut  $3 \cdot 10^{-6} \text{ J}$ . ☐
2. Au cours du temps,  $u_C(t)$  est une fonction périodique de période  $2\pi\sqrt{LC}$ . ☐
3. L'énergie totale du circuit varie de façon périodique au cours du temps. ☐
4. L'énergie accumulée dans la bobine à l'instant  $t$  est de la forme  $E_L = \frac{1}{2} LI_M^2 \cos^2(2\pi t\sqrt{LC})$ . ☐
5.  $LI_M^2 = CU_M^2$ . ☐

# EXERCICE 8

## Orbite elliptique d'un satellite

Le schéma ci-contre représente la trajectoire plane elliptique d'un satellite de F. Cette trajectoire est décrite selon la loi des aires, soit  $S_1 = S_2$ .

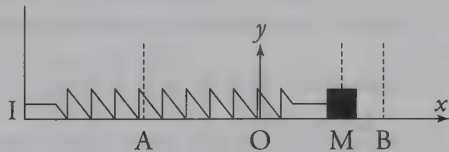


1.  $T_1 = T_2$ . ☐
2. La vitesse du satellite en A est supérieure à celle qu'il a en C. ☐
3. La vitesse du satellite est maximale en B et D. ☐
4. Pour un ensemble de satellites de F, le carré de la période de révolution d'un satellite est proportionnel au cube de la distance BD. ☐
5. L'accélération du satellite est normale à sa trajectoire. ☐

# EXERCICE 9

## Pendule élastique horizontal

Une masse  $m = 100 \text{ g}$ , attachée à un ressort fixé en I, oscille entre A et B, respectivement d'abscisse  $x_A = -2 \text{ cm}$  et  $x_B = +2 \text{ cm}$ . Le ressort possède une longueur à vide  $IO = 4 \text{ cm}$  et une constante de raideur  $k = 40 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ .



On note  $W_{P \rightarrow P'}(\vec{T})$  le travail de la tension  $\vec{T}$  du ressort lorsque la masse  $m$  se déplace du point P au point P'.

1.  $W_{O \rightarrow M}(\vec{T}) = -kx^2$ . ☐
2.  $W_{A \rightarrow B}(\vec{T}) = 2W_{A \rightarrow O}(\vec{T})$ . ☐
3.  $W_{A \rightarrow O}(\vec{T}) = -8 \text{ mJ}$ . ☐
4.  $W_{O \rightarrow B}(\vec{T}) = -8 \text{ mJ}$ . ☐
5. La pulsation du mouvement est  $2 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ . ☐

**EXERCICE 10****Ondes générées par un orage**

Il fait  $27,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  et un orage éclate. Un individu entend le coup de tonnerre 10 secondes après avoir vu l'éclair. La vitesse du son dans l'air à  $27,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  est environ  $350\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . La vitesse de la lumière, constante, est de  $3\cdot 10^8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

1. L'impact de la foudre se situe à environ 3 500 m de l'individu. ☐
2. Une onde sonore est une onde transversale. ☐

On admet que la vitesse du son dans l'air est proportionnelle à la racine carrée de la température absolue de l'air.

3. À  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , l'individu aurait entendu le tonnerre moins de 10 secondes après avoir vu l'éclair. ☐

4. La vitesse du son dans l'air à  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  est d'environ  $360\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . ☐

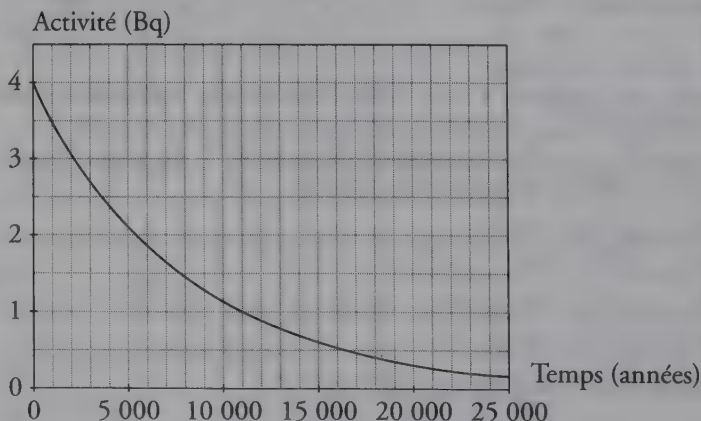
Un autre éclair s'est produit, à  $27,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , avec un impact à 2 000 m de l'individu.

5. L'individu a entendu le coup de tonnerre 7 secondes après avoir vu l'éclair. ☐

**EXERCICE 11****Datation d'un bois ancien**

Pour dater un morceau de bois ancien, on utilise la méthode de datation au carbone 14. Pour cela on dispose de :

- l'activité du bois ancien mesurée aujourd'hui de 1 Bq ;
- l'activité d'un morceau récent de bois analogue mesurée aujourd'hui de 4 Bq ;
- l'évolution de l'activité de ce type de bois en fonction du temps.

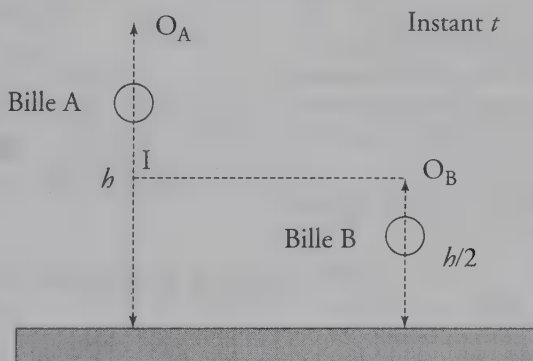


1. Le temps de demi-vie du carbone 14 est de 5 500 ans. ☐
2. Le bois ancien donne actuellement 600 désintégrations toutes les 10 minutes. ☐
3. Le bois ancien date de plus de 25 000 ans. ☐
4. La désintégration du carbone 14,  ${}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}^0_{-1}\text{e}$ , est du type  $\alpha$ . ☐
5.  ${}^{14}_6\text{C}$  et  ${}^{14}_7\text{N}$  sont deux isotopes. ☐

## EXERCICE 12

### Chute libre de billes

Dans le vide, on lâche deux billes identiques A et B, sans vitesse initiale, respectivement d'une altitude  $h$  et  $h/2$ .



1. La vitesse d'arrivée au sol de A est double de celle de B. ☐
2. La durée de chute de A est double de celle de B. ☐
3. L'accélération de A à l'arrivée au sol est double de celle de B. ☐
4. Le temps mis par A pour parcourir la distance  $O_AI$  est égal au temps de chute de B. ☐
5. Le temps mis par A pour parcourir la distance de I au sol est égal au temps de chute de B. ☐

## EXERCICE 13

### Dipôle RC

La tension aux bornes d'un condensateur dans un circuit RC est  $U_C(t) = U_0[1 - \exp(-t/\tau)]$ .

1.  $\tau = 1/RC$ . ☐
2. Le condensateur est en charge. ☐

3. La charge portée par le condensateur à l'instant  $t$  est :

$$q(t) = CU_0[1 - \exp(-t/\tau)].$$

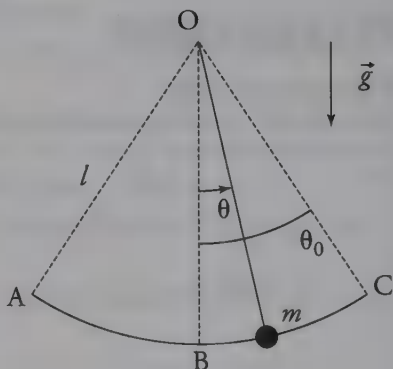
4. L'intensité dans le dipôle RC est  $i(t) = CU_0[1 - \exp(-t/\tau)]/t$ .

5. L'énergie emmagasinée par le condensateur à l'instant  $t$  est  $q^2(t)/2C$ .

## EXERCICE 14

### Pendule simple

Une masse  $m$  attachée à un fil inextensible, sans masse et de longueur  $\ell$ , oscille dans un plan vertical entre les positions extrêmes A et C. On néglige tout frottement. On note  $\theta$  l'angle entre la verticale OB et une position quelconque du pendule.  $\theta_0$  et  $-\theta_0$  correspondent aux angles des positions C et A respectivement. On note  $\vec{g}$  l'accélération de la pesanteur.



1. La période des petites oscillations est  $2\pi\sqrt{\ell/g}$ .

2. La distance parcourue par  $m$  pour aller de B à C est  $\ell\theta_0$ .

Le travail du poids de B à C est :

3.  $-mg\ell\theta_0$ .

4.  $+mg\ell \sin \theta_0$ .

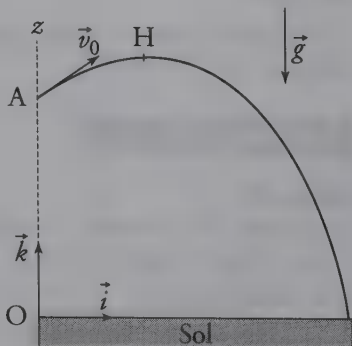
5. La masse  $m$  parcourt l'arc AC en  $2\pi\sqrt{\ell/g}$  secondes.

## EXERCICE 15

### Chute libre avec vitesse initiale

On lance une masse  $m$  avec une vitesse initiale  $\vec{v}_0$  à partir de A situé à une altitude  $z_A$  par rapport au sol. On note H le point le plus haut atteint par  $m$ . On néglige tout frottement de l'air. On note  $\vec{g}$  l'accélération de la pesanteur.

On fixe l'origine de l'énergie potentielle de pesanteur au niveau du sol.

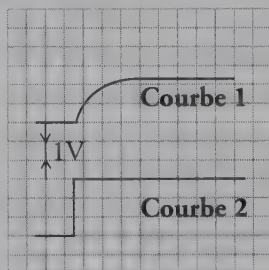
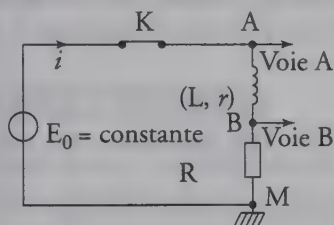


1. L'énergie mécanique de  $m$  reste constante au cours du mouvement. ☐
2. L'énergie cinétique de  $m$  est maximale en A. ☐
3. L'énergie potentielle de pesanteur de  $m$  est maximale en H. ☐
4. La vitesse de  $m$  est nulle en H. ☐
5. L'énergie potentielle de pesanteur de  $m$  à l'altitude  $z$  est  $-mgz$ . ☐

## EXERCICE 16

### Dipôle R, L

On branche les voies A et B d'un oscilloscope de la manière indiquée sur le circuit ci-dessous. On visualise alors les tensions  $u_{AM}$  et  $u_{BM}$ . À  $t = 0$ , on ferme l'interrupteur K.

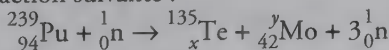


1. La courbe 2 correspond à la voie B. ☐
  2.  $E_0 = 2,5 \text{ V}$ . ☐
- On pose  $\tau = L/(R + r)$ .
3.  $i(t) = \frac{E_0}{R + r} \exp(-t/\tau)$ . ☐
  4.  $u_{BM}(t) = \frac{RE_0}{R + r} [1 - \exp(-t/\tau)]$ . ☐
  5.  $u_{AB}(t) = \frac{E_0}{R + r} [R + r - R \exp(-t/\tau)]$ . ☐

## EXERCICE 17

### Fission nucléaire

On considère la réaction suivante :



1.  $x = 52$ . ☐
2.  $y = 104$ . ☐

3. Il s'agit d'une réaction de fusion. ☐

4.  $^{239}_{94}\text{Pu}$  comporte 94 protons. ☐

5.  $^{92}_{42}\text{Mo}$  comporte 42 neutrons. ☐

## EXERCICE 18

### Poussée d'Archimède

On dispose de trois billes sphériques pleines, numérotées 1, 2 et 3, de même rayon et de masses volumiques respectives  $\rho_1 = 900 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,  $\rho_2 = 1\,100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  et  $\rho_3 = 1\,300 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

On lâche ces trois billes simultanément, sans vitesse initiale, à partir de la surface libre d'un fluide de masse volumique  $\rho = 1\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

En cas de mouvement de la bille, le fluide exerce une force de frottement du type  $-k\vec{v}$  où  $k$  est une constante identique pour les trois billes et  $\vec{v}$  la vitesse instantanée de la bille.

1. Aucune bille ne flotte. ☐

2. La poussée d'Archimède exercée sur la bille 3 est plus intense que celle exercée sur la bille 2. ☐

3. Selon que l'objet flotte ou coule, la poussée d'Archimède est dirigée vers le haut ou vers le bas. ☐

4. La bille 2 touche le fond en premier. ☐

5. Dans un récipient très profond, la bille 2 s'arrête dans le fluide avant de toucher le fond. ☐

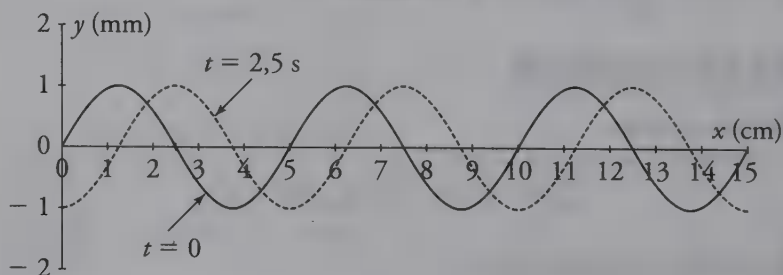
## EXERCICE 19

### Corde vibrante

Le graphe 1 schématise une corde vibrante vue aux instants  $t=0$  et  $t=2,5 \text{ s}$ .

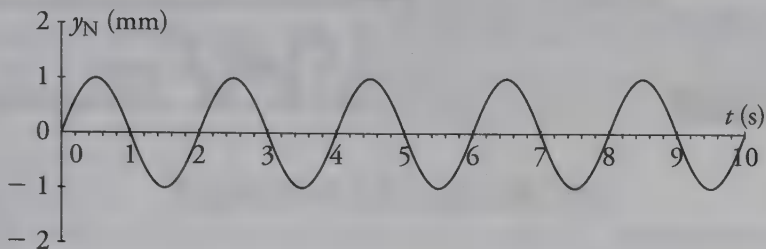
Le graphe 2 représente  $y_N(t)$  où N est un point de la corde.

Graphe 1





Graphe 2



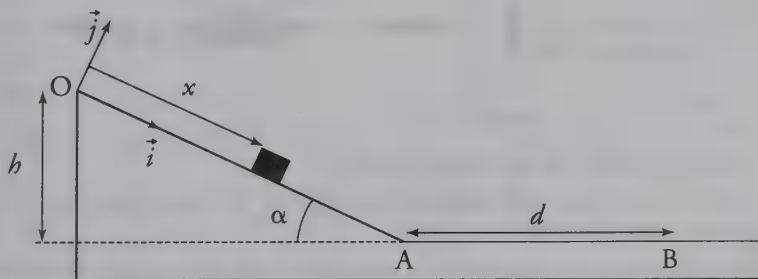
1. Il s'agit d'une onde transversale. ☐
2. Le graphe 2 peut correspondre au point N situé à 2,5 cm de O. ☐
3. La longueur d'onde vaut 1 mm. ☐
4. La célérité de l'onde est de  $0,5 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ . ☐
5. La période vaut 2 s. ☐

## EXERCICE 20

**Mouvement d'un solide sur un plan incliné, puis sur un plan horizontal**

Une masse  $m$ , considérée ponctuelle, est lancée de O avec une vitesse initiale  $v_0 \vec{i}$ .  $m$  parcourt d'abord OA incliné d'un angle  $\alpha$  par rapport à l'horizontale puis la portion horizontale AB =  $d$ .  $m$  s'arrête en B. En outre,  $m$  subit une force de frottement du type  $-F\vec{u}$  où  $F$  est une constante et  $\vec{u}$ , un vecteur unitaire colinéaire au vecteur vitesse de  $m$  à un instant  $t$  quelconque.

On note  $\vec{g}$  l'accélération de la pesanteur.



1. Sur la portion OA, l'accélération est donnée par  $g \sin \alpha - F/m$ . ☐
2. Sur OA,  $x(t) = \frac{1}{2} g t^2 \sin \alpha - \frac{F}{2m} t^2$ . ☐
3. La vitesse de  $m$  en A est donnée par  $v_A^2 = v_0^2 + 2h(g - F/m)$ . ☐
4.  $d = mgh/F + mv_0^2/2F - h/\sin \alpha$  ☐
5. L'énergie mécanique se conserve entre O et A. ☐

## PROBLÈMES DE PHYSIQUE

durée 2 heures

Cinq exercices de physique sont proposés.

Les exercices 1 et 2 sont obligatoires.

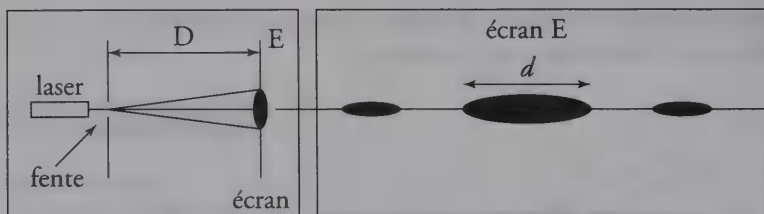
Vous devez ensuite choisir deux autres exercices parmi les exercices 3, 4 et 5.

## EXERCICE 1

## Diffraction d'un faisceau lumineux

## I – Observation d'un phénomène lié au laser

On utilise un laser produisant une lumière de longueur d'onde  $\lambda$  placée devant une fente de largeur  $a$ . On observe des taches lumineuses, sur un écran E placé à la distance D de la fente.



1. Quel est le nom du phénomène observé ?
2. Quelle condition doit satisfaire la taille de la fente pour que l'on obtienne cette figure ?
3. La largeur de la tache centrale  $d$  sur l'écran varie lorsque l'on fait varier la distance D entre la fente et l'écran, la longueur d'onde  $\lambda$  de la lumière, ou la largeur  $a$  de la fente. Une série d'expériences effectuées montrent que  $d$  est proportionnelle à la longueur d'onde de la lumière.  $k$  étant une constante sans dimension, on propose les formules (1), (2), (3), (4) et (5) ci-dessous. Laquelle ou lesquelles peut-on éliminer ?

|                                 |                                   |                                 |                                     |                         |
|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| $d = k \frac{\lambda D}{a}$ (1) | $d = k \frac{\lambda D}{a^2}$ (2) | $d = k \frac{a D}{\lambda}$ (3) | $d = k \frac{\lambda D^2}{a^2}$ (4) | $d = k \lambda a D$ (5) |
|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|

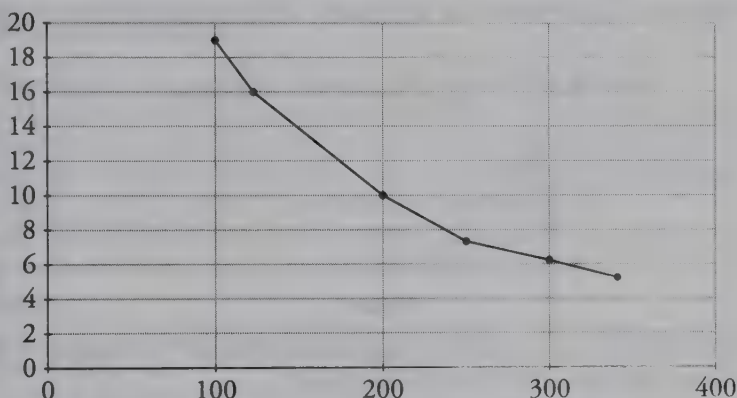
## II – Influence de la largeur $a$ de la fente

Tous les autres paramètres restant inchangés pendant les mesures, on fait varier la largeur  $a$  de la fente et on mesure les valeurs de  $d$  correspondantes. Les résultats sont consignés dans le tableau.

| $a$ (en $\mu\text{m}$ ) | 100 | 120 | 200 | 250 | 300 | 340 |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $d$ (en mm)             | 19  | 16  | 10  | 7,5 | 6,5 | 5,5 |

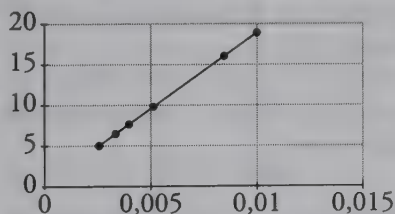
Le tracé de  $d$  en fonction de  $a$  est représenté ci-dessous :

$d$  en fonction de  $a$

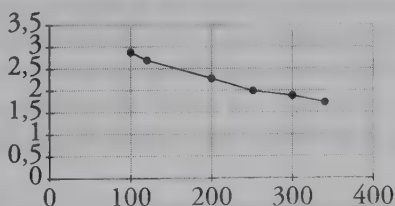


Ce graphe ayant une allure aussi bien hyperbolique qu'exponentielle, on trace les représentations suivantes :

$d$  en fonction de  $\frac{1}{a}$



$\ln(d)$  en fonction de  $a$



1. Préciser laquelle ou lesquelles des formules proposées sont encore possibles. Pourquoi ?

2. Si vous aviez été à la place de l'expérimentateur, auriez-vous tracé les mêmes courbes que lui ? Pourquoi ?

**EXERCICE 2****Dipôle L, C. Oscillations électriques**

On considère un condensateur de capacité  $C$  chargé sous une tension continue de valeur  $U$ .

Données :  $C = 0,2 \mu\text{F}$  et  $U_{AB} = 10 \text{ V}$ .

1. Calculer la charge  $Q_A$  de son armature positive et l'énergie électrique  $W$  qu'il emmagasine.
2. On relie les armatures de ce condensateur aux bornes d'une bobine d'inductance  $L$  et de résistance négligeable (figure 1).

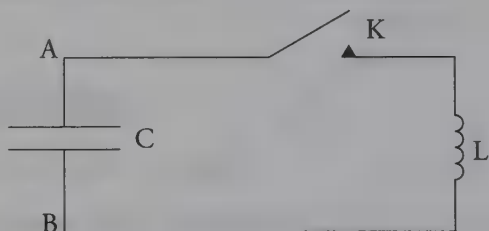


Figure 1

À un instant, pris comme origine des dates, on ferme l'interrupteur  $K$ . En précisant sur le schéma le sens positif choisi :

- a. Établir l'équation différentielle liant la charge «  $q$  » du condensateur à sa dérivée seconde par rapport au temps et exprimer la relation  $q = f(t)$ . Vérifier que  $q = q_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$  est solution de cette équation différentielle en  $q(t)$ . Déterminer avec les conditions initiales  $q_m$ ,  $\varphi$ .
  - b. Établir la relation  $u_{AB} = g(t)$  donnant la tension aux bornes du condensateur en fonction du temps et la relation  $i = h(t)$  donnant l'intensité du courant dans le circuit en fonction du temps.
  - c. Calculer la période propre de ce circuit sachant que  $L = 40 \text{ mH}$ .
3. Calculer, à la date  $t$ , les énergies emmagasinées par le condensateur et par la bobine. Que peut-on dire de leur somme ?

**EXERCICE 1****À propos de rayons lumineux**

Répondre par vrai ou faux en justifiant brièvement votre choix.

On considère deux rayons, l'un violet et l'autre rouge.

1. Les deux rayons se propagent à la même vitesse dans le vide.
2. Les deux rayons se propagent à la même vitesse dans un milieu quelconque.

3. Les deux rayons ont la même fréquence.
4. Les deux rayons changent de fréquence lorsqu'ils changent de milieu.
5. Les deux rayons ont des longueurs d'ondes différentes dans un même milieu non dispersif.
6. Les deux rayons changent de longueur d'onde lorsqu'ils changent de milieu.
7. L'indice du milieu est inférieur à 1.

## EXERCICE 4

### Mouvement d'un satellite terrestre. Mouvement de la Lune

La Lune est l'unique satellite naturel de la Terre. D'une nuit à l'autre, la Lune vue de la Terre change d'aspect. Ce sont les phases de la Lune, dans l'ordre chronologique d'apparition : le premier quartier, la pleine lune, le dernier quartier et, enfin, la nouvelle lune, non visible.

Cette alternance périodique résulte de la rotation du centre de la Lune autour de la Terre.

*Données :*

- constante universelle de gravitation :  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-2} \cdot \text{m}^2$ .
- masse de la Terre :  $M_T = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ .
- rayon de la Terre :  $R_T = 6,4 \cdot 10^6 \text{ m}$ .
- masse de la Lune :  $M_L = 7,34 \cdot 10^{22} \text{ kg}$ .
- rayon de la Lune :  $R_L = 1,7 \cdot 10^6 \text{ m}$ .
- célérité de la lumière dans le vide :  $c = 299\,792\,458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .
- à la surface de la Terre, l'intensité du champ de pesanteur est  $g_0 = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .
- période de rotation de la Terre autour de son axe :  $T_{\text{jour}} = 24 \text{ h}$ .
- période de rotation de la Terre autour du Soleil :  $T_{\text{année}} = 365,242 \text{ j}$ .

La Terre et la Lune seront considérées comme des astres à répartition sphérique de masse.

## I – Étude théorique

La Terre est assimilée à une sphère animée d'un mouvement de rotation uniforme autour de la ligne des pôles. On supposera que le référentiel géocentrique dont l'origine coïncide avec le centre de la Terre et dont les axes ont une direction fixe par rapport aux étoiles est galiléen.

Un satellite assimilé à un point matériel décrit d'un mouvement uniforme une orbite circulaire à l'altitude  $h$ . L'orbite est dans le plan de l'équateur.

1. Exprimer, dans le référentiel géocentrique, la vitesse angulaire du satellite en fonction de sa période  $T$ . On notera cette vitesse  $\omega_{S/\text{géocentrique}}$ .

- Exprimer, dans le référentiel géocentrique, la vitesse angulaire de rotation de la Terre autour de son axe en fonction de sa période  $T_{\text{jour}}$ . On notera cette vitesse  $\omega_{T/\text{géocentrique}}$ .
- Le satellite se déplace vers l'est dans le même sens que la Terre. Déterminer la vitesse angulaire du satellite par rapport à un référentiel terrestre. On notera cette vitesse  $\omega_{S/T}$ .
- Exprimer la période  $T_0$  de rotation du satellite par rapport à la Terre en fonction de  $T_{\text{jour}}$  et  $T$ .

## II – Application au mouvement de la Lune

La Terre tourne autour du Soleil, dans le référentiel héliocentrique sa période est  $T_{\text{année}} = 365,242 \text{ j}$ .

Notons  $T_0$  la période de la pleine lune dans le référentiel terrestre et  $T$  la période de la pleine lune dans le référentiel héliocentrique (période sidérale). Le calendrier de la Poste nous permet de voir que la période de la pleine lune est voisine de 29,5 j.

- En utilisant la partie I, établir la relation  $T = \frac{T_{\text{année}} T_0}{T_0 + T_{\text{année}}}$ .
- La période de 29,5 j fournie par le calendrier des postes représente-elle la période dans le référentiel terrestre ou dans le référentiel héliocentrique ?
- Déterminer la période de révolution sidérale  $T$  de la Lune.

### EXERCICE 5

#### Mouvement des vagues

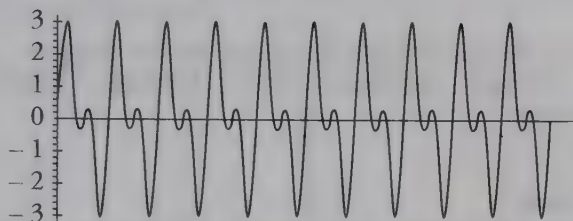
Adèle, allongée sur un matelas pneumatique à quelques centaines de mètres de la côte, peaufine son bronzage en effectuant quelques mesures sur les vagues qui l'entourent. Elle estime, à différents moments de la journée, la longueur  $L$  entre deux vagues successives et le temps  $\tau$  qui s'écoule entre 6 passages. Elle obtient les résultats suivants.

|                              |     |     |     |     |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| <b>L (m)</b>                 | 6,2 | 16  | 11  | 26  |
| <b><math>\tau</math> (s)</b> | 2,0 | 3,2 | 2,7 | 5,3 |

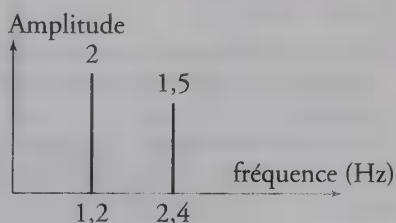
- Exprimer la célérité  $V$  des ondes en fonction de la longueur  $\lambda$  et  $\tau$ , puis calculer sa valeur pour les différentes mesures effectuées.
- Tracer la courbe donnant la célérité  $V$  en fonction de la fréquence  $f$  des vagues. Conclure.
- Peut-on réellement dire que les vagues se déplacent ? Quelle est la grandeur qui se déplace ?

4. Lorsque le vent souffle sur la mer, il se forme près de la côte des vagues de longueurs d'onde différentes. Que peut-on dire de la célérité de ces ondes ? Quelles sont les plus rapides ?

5. Un enregistrement d'une vague donne le graphique suivant :



Une étude mathématique de ce signal nous permet de décomposer la vague en vagues élémentaires sinusoïdales dont les paramètres sont donnés ci-contre :



- Quelles sont les célérités de ces deux vagues élémentaires ?
- Que pouvez-vous en déduire sur la forme de la vague au bout d'un certain temps ?
- Quelles sont les deux longueurs d'onde de ces deux vagues élémentaires ?
- Exprimer en fonction du temps la distance parcourue par une onde ?
- Sachant que l'on estime que deux vagues élémentaires seront discernables lorsque la distance de deux sommets consécutifs sera supérieure à la moitié de la plus petite des longueurs d'onde, au bout de combien de temps la vague sera-t-elle décomposée ?





**Groupement d'Écoles d'Ingénieurs à Préparation Intégrée**  
**ESSTIN - EEIGM - ESINSA - EIVL - ENSGSI - ISAT - POLY-**  
**TECH'Orléans**

### Durée 3 heures

Les notations de l'énoncé devront impérativement être respectées dans chaque réponse.

Huit sujets indépendants notés chacun sur 10 points sont proposés. Les candidats doivent obligatoirement traiter le premier, destiné à tester leur culture générale. Ils traiteront en outre cinq des sept autres sujets.

Si un candidat traite plus de six sujets, seules seront retenues la note du premier sujet (obligatoire) et les cinq meilleures notes obtenues aux autres sujets.

L'usage d'une calculatrice électronique, à alimentation autonome, non imprimante, est autorisé. Les annexes éventuelles (notice d'emploi, cartes magnétiques, modules enfichables, etc.) sont interdites.

Tout échange de calculatrices entre candidats, pour quelque raison que ce soit, est interdit.

## EXERCICE 1

### Culture générale

1. L'air est un mélange de gaz. Entourer les gaz dont la fraction molaire dans l'air est supérieur à 10 %. *Entourer les réponses exactes.*

|    |    |                 |                |                  |                |                 |                |
|----|----|-----------------|----------------|------------------|----------------|-----------------|----------------|
| Ar | CO | CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O | O <sub>2</sub> | NO <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> |
|----|----|-----------------|----------------|------------------|----------------|-----------------|----------------|

2. Soit un bateau naviguant à une vitesse constante de  $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  sans vent. Un singe est monté sur le mat, à 7 mètres au-dessus du pont. Il laisse tomber une noix de coco. Où tombe cette noix ? On négligera les frottements de l'air ; voir figure en fin d'exercice.

3. Quelle est la vitesse de translation moyenne de la Terre sur son orbite autour du Soleil ?

4. Quelle puissance électrique faut-il pour chauffer de  $20^\circ\text{C}$  à  $60^\circ\text{C}$  les 200 litres d'eau contenus dans un chauffe-eau en une durée de 5 h ? On considérera ce chauffe-eau convenablement isolé thermiquement.

2 W

20 W

200 W

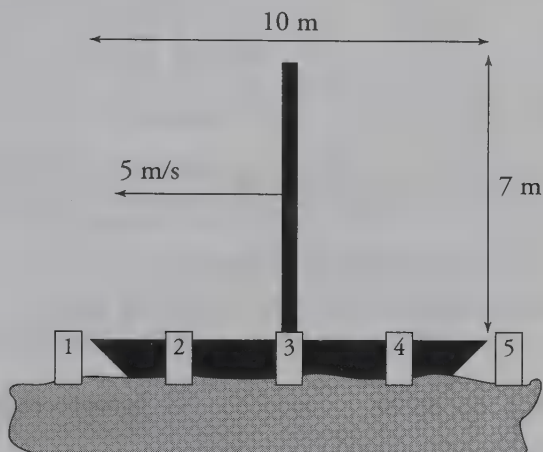
2 kW

20 kW

200 kW

Entourer les réponses exactes.

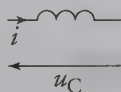
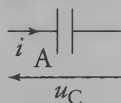
5. Citez quatre formes d'énergie dites renouvelables pouvant être utilisées pour produire de l'électricité.



## EXERCICE 2

Circuit R, L, C

### I – Questions préliminaires



1. La capacité du condensateur vaut  $C$ , l'armature A porte la charge  $q$ .  
Donner les relations entre :  $q$  et  $i$ ,  $q$  et  $u_C$ ,  $i$  et  $u_C$ .

2. La bobine est idéale ( $r = 0$ ), son inductance vaut  $L$ .  
Donner la relation entre  $i$  et  $u_L$ .

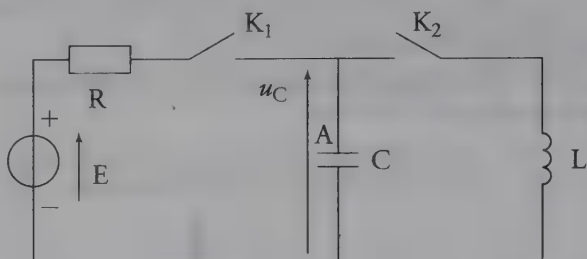
**II** – On considère le montage suivant :

$$R = 1 \text{ k}\Omega$$

$$C = 10 \text{ }\mu\text{F}$$

$$L = 1,0 \text{ H}$$

$$E = 10 \text{ V}$$



Initialement,  $K_1$  et  $K_2$  sont ouverts. Le condensateur est déchargé.

À  $t_0 = 0 \text{ s}$ , on ferme l'interrupteur  $K_1$ ,  $K_2$  reste ouvert, le condensateur se charge à travers  $R$ .

1. Donner l'équation différentielle vérifiée par  $u_C(t)$ .
2. Quelle est l'expression littérale de la constante de temps  $\tau$  ?
3. Donner la solution littérale de l'équation différentielle précédente.

**III** – À l'instant  $t_1 = 10 \text{ ms}$ , on ouvre  $K_1$  et on ferme  $K_2$  de façon simultanée.

On note  $q$  la charge portée par l'armature  $A$ .

1. Donner la valeur numérique, notée  $U_0$ , de  $u_C$  à l'instant  $t_1$ .
2. À partir de l'instant  $t_1$ , donner l'équation différentielle vérifiée par  $q(t)$ , puis la nouvelle équation différentielle vérifiée par  $u_C(t)$ .
3. Quelle est la valeur numérique de la période  $T_0$  des oscillations ?
4. De façon très schématique, esquisser l'allure de la tension  $u_C(t)$  depuis l'instant  $t_0$ .

### EXERCICE 3

#### Détermination de l'âge d'une momie

En effectuant des fouilles, on a découvert une momie. Pour déterminer la date approximative de sa mort, on utilise la méthode de datation au carbone 14. Cet isotope du carbone est constamment produit lors du bombardement de l'azote atmosphérique par les neutrons cosmiques. Le carbone 14, assimilé par les organismes vivants, se trouve donc présent en très faible quantité dans ces organismes.

L'expérience montre que la proportion  $R$  des deux isotopes  $^{14}\text{C}$  et  $^{12}\text{C}$  est la même dans l'atmosphère et dans les organismes vivants : 1 atome de  $^{14}\text{C}$  pour  $10^6$  atomes de  $^{12}\text{C}$ .

Après la mort, la proportion de  $^{14}\text{C}$  diminue car il est radioactif  $\beta^-$ , de demi-vie  $t_{1/2} = 5\,570$  ans.

1. Écrire l'équation de désintégration  $\beta^-$  du  $^{14}\text{C}$  et donner le nom des produits de la réaction.

Dans un prélèvement de  $m = 100$  mg de matières organiques sur la momie, on constate qu'il y a  $\rho = 10\%$  en masse de carbone. Cet échantillon présente une activité de  $1\,180$  Bq.

2. a. Calculer la constante radioactive  $\lambda$ .

b. Évaluer le nombre  $N_0$  d'atomes de  $^{14}\text{C}$  contenus dans l'échantillon lors de l'ensevelissement (la masse de  $^{14}\text{C}$  est négligeable devant la masse totale de carbone).

c. Quelle était l'activité  $A_0$  de l'échantillon au moment de la mort.

d. En déduire l'âge approximatif  $t$  de la momie.

Données : masse molaire du  $^{12}\text{C}$  :  $M = 12\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ; constante d'Avogadro :  $N_A = 6 \cdot 10^{23}\text{ mol}^{-1}$ , deuxième ligne du tableau périodique : Li, Be, B, C, N, F, Ne.

## EXERCICE 4

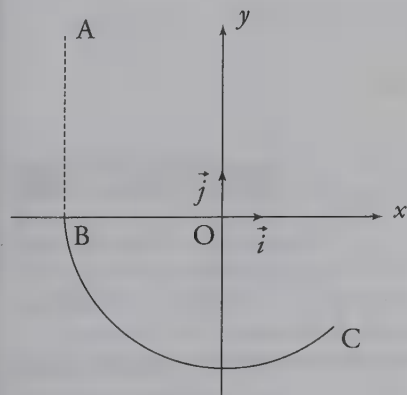
### Déplacement d'un mobile sur un arc de cercle

Un point matériel M de masse  $m$ , soumis au champ uniforme de la pesanteur  $\vec{g} = -g\vec{j}$  est lâché sans vitesse initiale en A.

De B à C, il se déplace sans frottement sur un arc de cercle de rayon  $R$  et de centre O. La trajectoire reste dans le plan du cercle (O ; x, y).

Au-delà du point C, il est à nouveau uniquement soumis à son propre poids.

On exprimera les résultats littéraux en fonction de  $g$ ,  $R$  et  $h$ .



Coordonnées des points :

$$A(-R, +R)$$

$$B(-R, 0)$$

$$C\left(+\frac{\sqrt{2}}{2}R, -\frac{\sqrt{2}}{2}R\right)$$

1. Déterminer la vitesse absolue  $\vec{V}_B$  du point M en B.
2. Déterminer la norme  $V_C$ , puis la vitesse absolue  $\vec{V}_C$  du point M en C.
3. Déterminer les coordonnées  $x$  et  $y$  du point M au-delà de C en fonction du temps. (On prendra comme origine des temps l'instant où le point M est en C).
4. En déduire l'équation cartésienne de cette trajectoire.
5. Déterminer la cote  $y$  maximale de cette trajectoire (en utilisant de préférence, le théorème de l'énergie).

## EXERCICE 5

### Estérification

*Les questions peuvent être abordées indépendamment.*

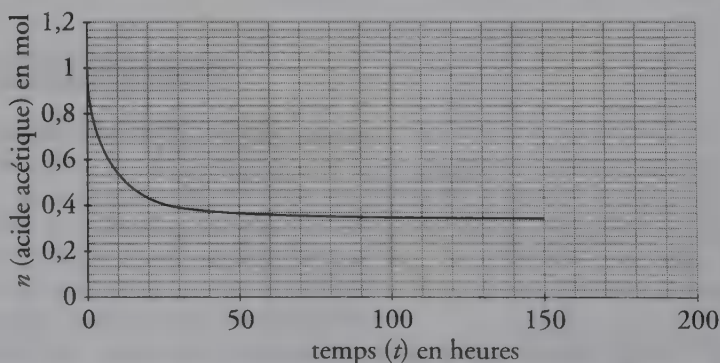
On effectue dans un réacteur maintenu à une température constante le mélange d'une mole d'acide acétique (ou acide éthanóïque) et d'une mole d'éthanol à la date  $t = 0$ .

La réaction chimique qui s'ensuit, athermique, produit de l'eau et un produit organique X :

1. De quel type de réaction s'agit-il ?
2. Écrire l'équation-bilan de la réaction.
3. Donner le nom du produit X ; calculer sa masse molaire.

Afin de suivre l'évolution chimique du système, on prélève au cours du temps des échantillons correspondant à  $1/100^e$  en volume du mélange réactionnel, que l'on refroidit instantanément. L'acide acétique contenu dans chaque échantillon est alors dosé par une solution décimolaire ( $0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) de soude (hydroxyde de sodium).

Le graphe suivant rend compte de l'évolution du système à partir des résultats expérimentaux.



4. Quel est le volume équivalent de soude versé lors du dosage de l'acide de l'échantillon à  $t = 50 \text{ h}$  ?

5. À partir de la courbe expérimentale donnant la quantité d'acide acétique du mélange réactionnel en fonction du temps, évaluer la vitesse instantanée de la réaction à la date  $t = 40$  h.
6. Déterminer le temps de demi-réaction.
7. Calculer le rendement de la réaction à l'équilibre.
8. Pour augmenter le rendement, on peut :

Réaliser au départ un mélange non équimolaire

Augmenter la température

Distiller le produit X formé au cours de la réaction

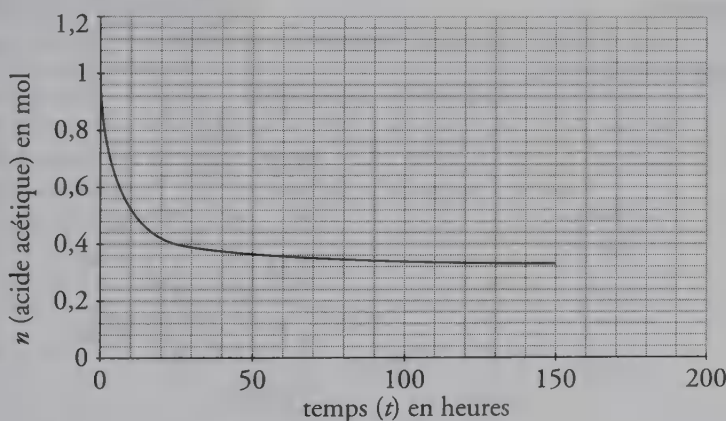
Ajouter un catalyseur

Ajouter de l'eau

Augmenter l'agitation du mélange

(Entourer la ou les réponses exactes)

9. Sur le graphique ci-dessous, représenter l'allure de la courbe  $n_{\text{acide acétique}} = f(t)$  si on réalise l'expérience en présence d'une faible quantité d'acide sulfurique.



## EXERCICE 6

### Pendule simple non amorti

On réalise un pendule simple non amorti avec une masse  $M$  ( $M = 500$  g) accrochée à un fil de masse négligeable et de longueur  $L$ .

La longueur du fil varie avec la température selon la loi  $L = L_0(1 + k\theta)$ ,  $\theta$  étant la température en degré Celsius,  $L_0$  la longueur à  $0^\circ\text{C}$  et  $k$  le coefficient de dilatation  $k = 2 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ .

On écarte le pendule de la position d'équilibre d'un angle  $\alpha = 8^\circ$ , puis on lâche la masse sans vitesse initiale en un lieu où l'intensité de la pesanteur est  $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

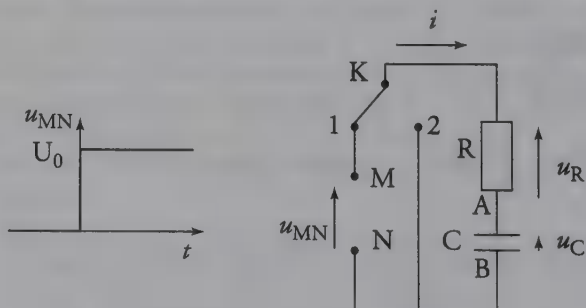
La période des petites oscillations de ce pendule simple est  $T = 2,0000 \text{ s}$  lorsqu'il est conservé dans une enceinte à  $20^\circ \text{C}$ .

1. a. Calculer la longueur du fil  $\tilde{L}$  à  $20^\circ \text{C}$ .
- b. Déterminer la vitesse  $v_0$  de la masse quand elle passe par sa position d'équilibre ( $\alpha = 0^\circ$ ).
2. La température de l'enceinte est à présent de  $0^\circ \text{C}$ .
  - a. Quelle est la période de  $T_0$  du pendule précédent ?
  - b. Une oscillation correspondant à une demi-période, combien d'oscillations effectuera-t-il en une journée (24 heures) ?
3. On maintient ensuite la température de l'enceinte à  $\theta'$ .  
On note que la durée de 100 périodes  $T'$  est de  $200,0200 \text{ s}$ .  
Calculer la température  $\theta'$ .

## EXERCICE 7

### Dipôle RC

On utilise le montage ci-dessous comportant une résistance  $R$  et un condensateur déchargé  $C$ .



L'inverseur  $K$  étant en position 1, on applique entre les bornes  $M$  et  $N$  l'échelon de tension  $u_{MN}$  dont l'évolution est représentée en fonction du temps  $t$ .

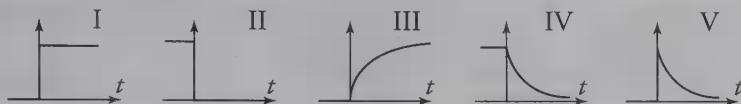
Données :

$R = 2,7 \text{ k}\Omega$  ;  $C = 2,2 \text{ }\mu\text{F}$  ;  $U_0 = 12 \text{ V}$ .

1. Choisir parmi les 5 courbes ci-dessous, celle qui représente l'évolution en fonction du temps  $t$  :
  - a. de la tension  $u_C$  aux bornes du condensateur ;
  - b. de la tension  $u_R$  aux bornes de la résistance ;



c. du courant  $i$  dans le circuit.



2. Donner l'expression littérale et la valeur numérique de la constante de temps  $\tau$  de ce circuit.

3. Déterminer en régime permanent la valeur limite :

a.  $q_A$  de la charge de l'armature A du condensateur ;

b.  $q_B$  de la charge de l'armature B du condensateur ;

c.  $E_C$  de l'énergie emmagasinée par le condensateur.

L'inverseur K est maintenant amené en position 2.

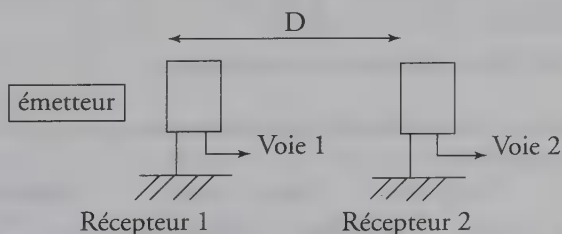
4. Donner alors l'équation différentielle à laquelle obéit la tension  $u_C$  aux bornes du condensateur.

5. Donner, en fonction de  $R$ ,  $C$  et  $U_0$ , l'expression et la valeur du coefficient directeur de la tangente à l'origine de cette courbe.

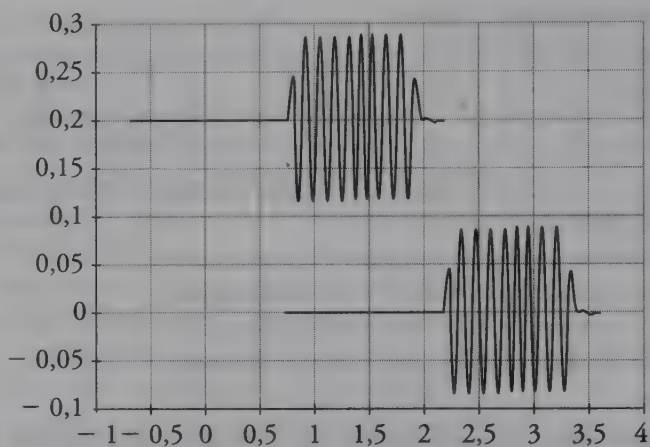
## EXERCICE 8

### Ondes ultrasonores

Un émetteur émet des ultrasons par salves. Deux récepteurs, disposés à deux endroits différents sur le trajet des ondes ultrasonores, permettent d'enregistrer les ultrasons émis et de les visualiser sur l'écran d'un oscilloscope. Le dispositif expérimental est schématisé ci-dessous.



On observe à l'oscilloscope les signaux reproduits ci-après, la vitesse de balayage étant de  $100 \mu\text{s}/\text{div}$  :



1. Exprimer la longueur d'onde  $\lambda$  en fonction de la fréquence  $f$  et de la célérité  $c$ .
2. Justifier cette relation par une équation aux dimensions.
3. En utilisant l'un ou l'autre des signaux, déterminer la fréquence des ultrasons.
4. En comparant les deux signaux captés par les deux récepteurs distant de  $D = 96 \text{ mm}$ , calculer la célérité des ultrasons dans l'air.
5. a. Cette onde véhicule-t-elle ? *Entourer la ou les réponses exactes.*  
☐ une information ; ☐ de la matière ; ☐ de l'énergie.
   
b. Une onde lumineuse véhicule-t-elle ? *Entourer la ou les réponses exactes.*  
☐ une information ; ☐ de la matière ; ☐ de l'énergie.
6. Donner la valeur numérique correspondant à la fréquence basse des ultrasons.
7. Préciser le sens d'évolution des grandeurs suivantes lorsque l'expérience est réalisée dans l'eau.
  - a. fréquence : ☐ augmente ; ☐ reste identique ; ☐ diminue
  - b. longueur d'onde : ☐ augmente ; ☐ reste identique ; ☐ diminue
  - c. célérité : ☐ augmente ; ☐ reste identique ; ☐ diminue



### durée 2 heures

Six exercices de physique sont proposés.

Vous avez à traiter **deux exercices au maximum**, à choisir parmi les six. Après avoir fait votre choix, avant de commencer à traiter l'exercice, lisez la totalité de l'énoncé : cela peut fournir des informations, et c'est aussi un peu pour cela que nous avons toujours placé les données numériques à la fin de chaque énoncé.

Efforcez-vous de traiter en entier l'un au moins des deux exercices que vous avez choisis. Nous préférons une copie ayant résolu la totalité d'un exercice à une copie ayant traité la moitié de chacun des deux exercices.

Pour chaque question, **présentez d'abord la résolution algébrique des calculs**, et ne passez qu'ensuite à l'application numérique.

## EXERCICE 1

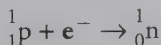
### Radioactivité du potassium 40 et datation de certaines roches

Le potassium  $^{40}_{19}\text{K}$  est l'un des isotopes présents dans le potassium à l'état naturel.

Radioactif, il peut se désintégrer de deux manières :

- Dans 89 % des cas, par radioactivité  $\beta^-$ , il donne  $^{40}_{20}\text{Ca}$ , isotope stable du calcium.
- Dans 11 % des cas, il subit une capture électronique et donne  $^{40}_{18}\text{Ar}$ , isotope stable de l'argon.

Précisons ce dernier phénomène : un électron présent dans l'atome (en général sur le niveau le plus proche du noyau) interagit avec un proton du noyau selon la réaction :



L'atome produit se réorganise et émet des rayons X. La période (ou demi-vie), pour la capture électronique, est T.

**1.** Que représentent les nombres 18, 19, 20 d'une part, 40 d'autre part ? Donner la définition de la période (ou demi-vie) T. Écrire les équations de la radioactivité  $\beta^-$  et celle de la capture électronique.

Dans tout ce qui suit, les nombres d'atomes de  $^{40}\text{K}$  ( $N_{K_0}$ ,  $N_K$ ) sont ceux des atomes qui se désintègrent par capture électronique (11 % du nombre total). **Vous n'avez aucune correction à effectuer.**

2. Un échantillon de roche contenait, lors de sa création ( $t = 0$ )  $N_{K_0}$  atomes de potassium 40.

À la date  $t$ , il reste, dans cet échantillon,  $N_K$  atomes de potassium 40.

a. Établir la fonction  $N_K = f_1(t)$ . La représenter graphiquement. Quelle est la valeur de la constante radioactive  $\lambda$  ? Quelle est la valeur de  $\tau$ , durée moyenne de vie des noyaux de potassium 40 ?

b. À la date  $t$ , l'échantillon contient  $N_A$  atomes d'argon 40, piégés dans sa structure (bien qu'étant un gaz, l'argon n'est pas sorti de l'échantillon). Établir la fonction  $N_A = f_2(t)$  ( $N_A = 0$  pour  $t = 0$ ). La représenter sur le même graphique que  $N_K = f(t)$ . En quel point les deux courbes se coupent-elles ? On se contentera de la représentation algébrique, sans passer aux valeurs numériques.

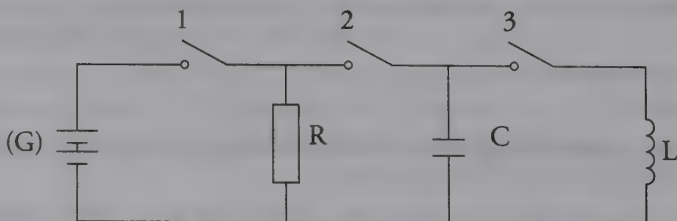
3. Voyons les choses de manière plus pratique. De nombreuses roches volcaniques contiennent du potassium 40. Formées à très hautes températures, elles ne contenaient pas initialement d'argon. Sur un échantillon de roche, on mesure la teneur en  $^{40}\text{Ar}$ , par passage dans un four et spectrométrie de masse : on obtient un nombre  $N_A$  d'atomes. On fait de même pour

$^{40}\text{K}$  : on obtient  $N_K$  atomes. On constate que  $N_A = \frac{N_K}{2}$ . Quel est l'âge de la roche ? Contrôler ce résultat au moyen du graphe tracé plus haut.

Donnée numérique :  $T = 1,3 \cdot 10^9$  ans.

## EXERCICE 2

Il faut qu'un interrupteur soit ouvert ou fermé



La figure ci-dessus présente le montage réalisé. (G) est un générateur électrique de force électromotrice  $U_0$  ; sa résistance interne est négligeable. (R) est une résistance électrique d'inductance négligeable. (C) est un condensateur, de capacité C. (L) est une bobine d'inductance L et de résistance négligeable.

1, 2 et 3 sont des interrupteurs de résistances négligeables, qui ont la propriété de pouvoir être ouverts instantanément, sans introduire une perturbation dans le circuit.

On désigne par  $u_R$ ,  $u_C$  et  $u_L$  les tensions aux bornes de (R), (C) et (L), respectivement.

### 1. Condensateur et résistance

a. 3 est ouvert ; 1 et 2 sont fermés. Quelle est la tension aux bornes du condensateur ? Quel courant traverse la résistance ? Quelle est la charge électrique  $|Q|$  sur chaque armature de C ? Quelle quantité d'énergie  $W_C$  est emmagasinée par le condensateur ?

b. 3 est ouvert ; 1 est ouvert à  $t = 0$  ; 2 reste fermé. Dessiner le circuit formé ainsi. Montrer qu'à la date  $t$ , la tension aux bornes du condensateur est de la forme  $u_C = Ae^{\alpha t} + B$  ; calculer A,  $\alpha$  et B. Construire la courbe donnant  $u_C$  en fonction du temps. Quel procédé graphique peut-on utiliser pour obtenir la constante de temps  $\tau$  ?

### 2. Condensateur et bobine

1, 2 et 3 sont ouverts ; on ferme simultanément 1 et 2 (3 restant ouvert) ; on charge ainsi le condensateur. Ceci étant fait, on ouvre simultanément 1 et 2, et l'on ferme 3 à la date  $t = 0$ .

a. Dessiner le circuit ainsi réalisé. Établir l'équation différentielle à laquelle satisfait la tension  $u_C$  ; même question pour la charge  $q$  du condensateur. Quelles sont les équations horaires de  $u_C$  et  $q$  ? Calculer la pulsation  $\omega$ , la période T, la fréquence N. Calculer l'intensité  $i(t)$  du courant dans la bobine.

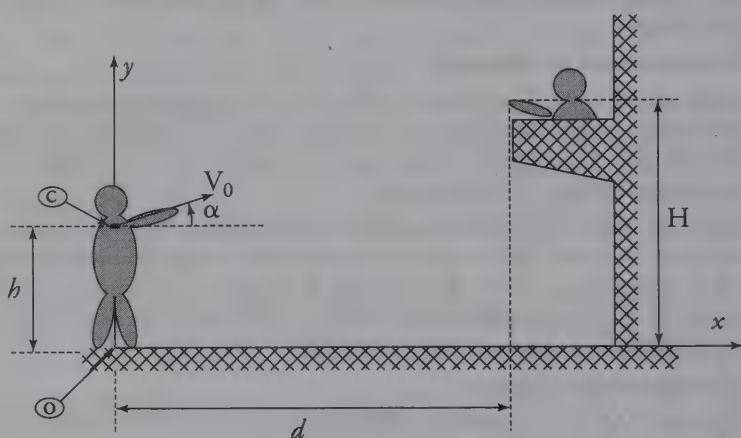
b. Quelle est, à une date  $t$ , l'énergie  $W_{CL}$  emmagasinée dans le circuit ? Varie-t-elle en fonction du temps ?

c. En fait, la bobine présente une résistance électrique faible. Qu'observe-t-on ? Représenter *qualitativement* la courbe  $u_C = f(t)$ .

*Données numériques :*

On prendra  $\pi = 3,1416$ .

$U_0 = 50 \text{ V}$  ;  $R = 1\,000 \, \Omega$  ;  $C = 2 \cdot 10^{-6} \text{ F}$  ;  $L = 2 \cdot 10^{-2} \text{ H}$ .

**EXERCICE 3****De l'opéra à la chute des corps**

**Visiblement, la figure n'est pas à l'échelle. Nous espérons que vous comprendrez les gestes des personnages, malgré la médiocrité du dessin.**

La scène se passe à Séville. Le comte Almaviva veut faire parvenir un billet à Rosine, qui se trouve à son balcon. La figure montre que, prudemment, il reste à une distance  $d$ . Le billet se trouve dans un coffret (C) qu'il lance avec la vitesse initiale  $v_0$ , faisant l'angle  $\alpha$  avec l'horizontale.

Pour simplifier les calculs, on assimile l'objet (C) à un point matériel, et on néglige la résistance de l'air. Les axes de coordonnées sont indiqués sur la figure.

1. Montrer que la trajectoire se trouve dans le plan, vertical, de la figure. Calculer les équations du mouvement des projections de (C) sur  $Ox$  et  $Oy$ . En déduire l'équation  $y = f(x)$  de la trajectoire. Quelle est sa nature ? L'ordonnée de (C) passe par un maximum en un point M. Calculer les valeurs algébriques  $x_M$  et  $y_M$  des coordonnées du point M.
2. Pour que Rosine puisse saisir l'objet, Almaviva doit lancer (C) avec une vitesse  $v_0$  très précise. Calculer sa valeur. Donner les valeurs numériques de  $v_0$ ,  $x_M$  et  $y_M$ .  
Combien (C) met-il de temps pour parcourir sa trajectoire ?
3. Le docteur Bartholo frappe à la porte du balcon ; Rosine, surprise, lâche (C) sans vitesse initiale. Quelle est la durée de sa chute jusqu'au sol ? Quelle est alors sa vitesse ?  
Au moment exact où Rosine lâche (C), Almaviva (admirons, au passage, son réflexe) s'élance pour essayer de le récupérer. Supposant que son mou-

vement est uniforme, quelle doit être sa vitesse pour qu'il atteigne (C) au moment où il arrive au sol ? Est-ce possible ?

*Données numériques :*

Accélération de la pesanteur :  $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

$\alpha = 45^\circ$  ;  $H = 5 \text{ m}$  ;  $h = 1,5 \text{ m}$  ;  $d = 9 \text{ m}$ .

La question 3 est indépendante des deux précédentes.

## EXERCICE 4

### Un domaine qui ne manque pas de ressorts

Dans l'ensemble de l'exercice, on considère que les frottements sont négligeables.

#### 1. Un ressort vertical (figure 1)

Le ressort élastique ( $R_1$ ), à spires non jointives, est de masse négligeable (cela simplifie beaucoup les calculs...). Sa constante de raideur est  $k$  (elle lie la force qu'exerce le ressort à son allongement). Sa longueur est  $\ell_0$ . L'axe de référence  $y'y$  est l'axe vertical du ressort ; il est orienté vers le bas.

On suspend à l'extrémité inférieure de ( $R_1$ ) un solide (S) considéré comme ponctuel, de masse  $m$ . Le ressort s'allonge de  $\Delta\ell$  ; sa longueur est  $\ell_1 = \ell_0 + \Delta\ell$ . On prend origine, sur  $y'y$ , le point d'équilibre de (S), O (figure 1).

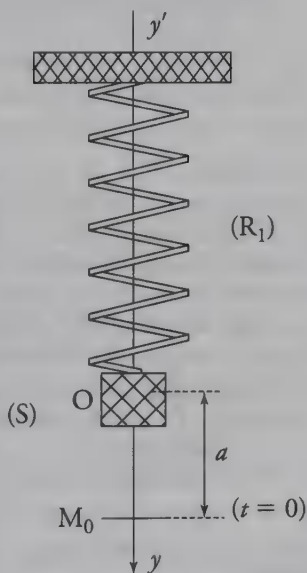


Figure 1

a. Quel est l'allongement  $\Delta\ell$  du ressort ?

b. On étire verticalement (donc vers le bas) le ressort. (S) se déplace verticalement de  $OM_0 = a$ . À la date initiale ( $t = 0$ ), on l'abandonne sans vitesse initiale. De quel type est le mouvement de (S) ? Établir l'équation différentielle du mouvement. En déduire son équation horaire. Calculer la pulsation  $\omega$  et la période  $T$  de ce pendule élastique.

c. On prend égale à zéro l'énergie potentielle du système lorsque (S) se trouve en O.



Rappelons que l'énergie potentielle du ressort au repos (longueur  $\ell_0$ ) est nulle. Calculer, en fonction du temps, l'énergie cinétique  $E_c$  et l'énergie potentielle  $E_p$  de ce pendule. Quelles sont leurs valeurs pour  $t=0$ ,  $t=(T/2)$  ?

*Données numériques :*

On prendra  $\pi = 3,141\ 6$  ; accélération de la pesanteur  $g = 10\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ .  
 $k = 20\ \text{N} \cdot \text{m}^{-1}$  ;  $\ell_0 = 0,18\ \text{m}$  ;  $m = 0,1\ \text{kg}$  ;  $a = 0,05\ \text{m}$ .

## 2. Deux ressorts horizontaux (figure 2)

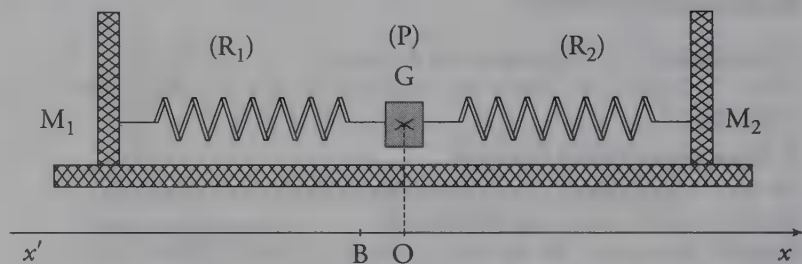


Figure 2

Les ressorts  $(R_1)$  et  $(R_2)$  sont identiques au ressort étudié dans la question 1.  $(P)$  est un palet de masse  $M$ , de centre d'inertie  $G$ , placé sur un coussin d'air (il peut se déplacer horizontalement sans frottements). L'ensemble est sur une table horizontale, les extrémités de  $(R_1)$  et  $(R_2)$  étant attachées aux deux points fixes  $M_1$  et  $M_2$ .

L'axe de référence  $x'x$  est horizontal ; son origine  $O$  est le milieu de  $M_1M_2$ . Lorsque  $(P)$  est en équilibre, les longueurs des deux ressorts sont les mêmes ( $\ell_1$ ). Le centre d'inertie du palet est alors en  $O$ .

On écarte  $(P)$  de sa position d'équilibre :  $G$  se déplace sur  $M_1M_2$ , vers  $M_1$ , de la longueur  $OB = x_0$  (figure 2) ; son abscisse est  $-x_0$ . À l'instant  $t = 0$ , on l'abandonne sans vitesse initiale.

**a.** Faire le bilan des forces s'exerçant sur  $(P)$ . Les représenter graphiquement. Pour  $x$  donné, quels sont les allongements  $\ell_1$  et  $\ell_2$  des deux ressorts ?

**b.** Établir l'équation différentielle du mouvement de  $G$ , puis son équation horaire. Calculer la pulsation et la période du mouvement.

*Données numériques :*

Continuer à prendre  $\pi = 3,141\ 6$  ;  $g = 10\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

$k = 20\ \text{N} \cdot \text{m}^{-1}$  ;  $\ell_0 = 0,18\ \text{m}$  ;  $\ell_1 = \ell_2 = 0,25\ \text{m}$  ;  $M = 0,7\ \text{kg}$  ;  
 $x_0 = 0,02\ \text{m}$ .

## EXERCICE 5

**Pendule simple, force centrifuge** (la définition est rappelée)

Un pendule simple est formé d'une bille B, quasi-ponctuelle, de masse  $m$ , qui se trouve à l'extrémité d'un fil inextensible, de masse négligeable et de longueur  $\ell$ . Le fil est attaché au point fixe O (figure 1).

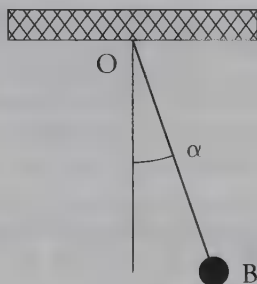


Figure 1

1. B oscille dans le plan vertical de la figure 1. Il s'agit de « petites oscillations », c'est-à-dire que  $\alpha$  reste toujours faible.

a. On se trouve à l'altitude zéro ; l'accélération de la pesanteur est  $g_0$ . On modifie la longueur du fil, et, pour chaque longueur, on mesure la période  $T$  des petites oscillations.

Les résultats sont les suivants :

|                 |     |      |     |      |      |     |
|-----------------|-----|------|-----|------|------|-----|
| $\ell$ (mètres) | 0,5 | 0,75 | 1   | 1,25 | 1,5  | 2   |
| $T$ (sec)       | 1,4 | 1,7  | 2,0 | 2,2  | 2,45 | 2,8 |

Quelle que soit la valeur de  $m$ , les résultats sont les mêmes.

Construire le graphe donnant  $T^2$  en fonction de  $\ell$ .

b. Quelle formule donne  $T$  en fonction de  $\ell$  ? Valeur numérique de  $T$  pour  $\ell = 0,4$  m ? La valeur obtenue est-elle bien conforme au graphe ?

c. On imagine que le pendule se trouve dans un satellite géostationnaire à l'altitude  $h$ .

Qu'entend-on par « géostationnaire » ?

La Terre est considérée comme une sphère de rayon  $R$ , de masse  $M$ , sa masse volumique étant constante pour une distance donnée à son centre. Calculer l'accélération  $g_h$  de la pesanteur à l'altitude  $h$ . Quelle est la période  $T_h$  des petites oscillations à cette altitude ?

*Données numériques :*

On prendra  $\pi = 3,1416$ .

$m = 0,5$  kg ;  $\ell = 0,4$  m ;  $g = 9,81$  m  $\cdot$  s $^{-2}$  ;  $R = 6400$  km ;  
 $h = 36000$  km .

2. On se trouve à l'altitude zéro. On écarte le fil d'un angle  $\alpha$  par rapport à la verticale et on le lâche sans vitesse initiale. Quelle est l'énergie cinétique

de la bille B lors du passage du fil par la verticale ? Quelle est alors sa vitesse ?

*Donnée numérique :*  $\alpha = 60^\circ$ .

**3.** On rappelle qu'un point matériel B, de masse  $m$ , tournant sur la circonférence d'un cercle, de rayon  $r$ , avec la vitesse angulaire  $\omega$ , est soumis à la force centrifuge  $m\omega^2 r$ .

Le pendule simple précédent est attaché au point O de la tige verticale  $\Delta$ . L'axe  $\Delta$ , le fil, la bille B, tournent à la même vitesse angulaire  $\omega$  (figure 2). Le fil fait l'angle  $\alpha$  avec la verticale.

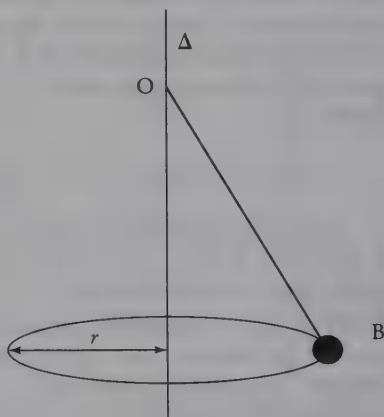


Figure 2

**a.** Quelles sont les forces s'exerçant sur B ? Faire un schéma. Quelle est la valeur de  $\omega$  ? Le fil est, d'abord, au repos le long de l'axe  $\Delta$  ( $\alpha = 0$ ). On augmente progressivement  $\omega$ . Pour quelle valeur minimale  $\omega_m$  de  $\omega$  la bille commence-t-elle à « décoller » de l'axe  $\Delta$  ?

Quand  $\omega$  tend vers l'infini, vers quelle valeur limite  $\alpha$  tend-il ?

**b.** Calculer la tension  $T$  du fil.

*Donnée numérique :*  $\alpha = 60^\circ$ .

## EXERCICE 6

### La dissection d'atomes d'hydrogène

L'hydrogène, qui est le plus léger des éléments, occupe la première case de la classification périodique. À l'état naturel, il est formé de deux isotopes stables, le protium ( $^1_1\text{H}$ ) et le deutérium ( $^2_1\text{H}$ ) ; il existe de très petites quantités de tritium ( $^3_1\text{H}$ ), radioactif.

#### 1. Le noyau

Le noyau d'un atome de protium est un proton ; le noyau de deutérium est formé d'un proton et d'un neutron.

a. Définir l'unité internationale de masse atomique ( $u$ ). Donner la valeur de cette unité en kilogrammes.

Donner la définition de l'électron-volt ( $eV$ ). Combien un joule vaut-il d'électron-volts ?

b. Quel est le défaut de masse du noyau de deutérium ? En déduire son énergie de liaison, en joules et en millions d'électron-volts ( $MeV$ ).

Quelle quantité d'énergie serait produite par l'annihilation (ou disparition totale) de la masse d'un noyau de deutérium ? Même question pour la masse molaire atomique du deutérium. Exprimer ces énergies en joules.

c. **Question facultative** (attribution d'une prime). Quel mode nucléaire de production d'énergie utilisant du deutérium est étudié actuellement, mais n'est pas encore maîtrisé ?

Ne pas dépasser 10 lignes d'explications. Écrire l'équation de la réaction nucléaire qui permettra de produire ainsi de l'énergie – tout au moins on l'espère.

*Données numériques :*

Masse du proton  $m_p = 1,007\,28\,u$ .

Masse du neutron  $m_n = 1,008\,66\,u$ .

Masse du noyau de deutérium  $m_d = 2,013\,5\,u$ .

Constante d'Avogadro  $N_A = 6,022\,137 \cdot 10^{23}\,mol^{-1}$ .

Charge électrique élémentaire  $|e| = 1,602 \cdot 10^{-19}\,C$ .

Célérité de la lumière dans le vide  $c = 3 \cdot 10^8\,m \cdot s^{-1}$ .

## 2. L'atome

Schématiquement, l'atome  ${}_1^1H$  est formé d'un proton autour duquel tourne un électron. Le passage d'un niveau à un autre de cet électron produit l'émission d'un photon. L'ensemble des transitions possibles constitue le spectre optique de raies du protium. En électron-volts, l'énergie  $E_n$  des niveaux est :

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2}$$

$n$  étant un nombre entier : 1, 2, 3, 4 ... ; l'électron est d'autant plus éloigné du noyau que  $n$  est plus grand.

a. À quel état de l'atome correspond  $E_n = 0$  ( $n$  infini) ? Représenter graphiquement les quatre premiers niveaux d'énergie de l'atome ( $n = 1$  à 4) ; représenter également le niveau  $E_n = 0$ .

b. Pourquoi les énergies des niveaux sont-elles négatives ? À quel niveau se situe l'électron quand l'atome est dans son état fondamental (état de base) ? L'électron passe du niveau  $n$  au niveau fondamental. Calculer la longueur d'onde dans le vide  $\lambda_n$  du photon émis pour  $n = 2, 3, 4$ .  
Quelle énergie faut-il fournir à l'atome dans son état de base pour l'ioniser ?

**c. Question facultative** (attribution d'une prime). L'atome est dans son état normal ; il absorbe un photon de longueur d'onde  $\lambda = 60 \text{ nm}$  ( $60 \cdot 10^{-9} \text{ m}$ ). Que se passe-t-il ?

*Donnée numérique :* Constante de Planck  $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ .

**Les questions 1 et 2 sont indépendantes.**

Dans ce QCM, il y a 2 séries indépendantes, chaque série durant 1 heure. Indiquer pour chaque question de chaque exercice si elle est vraie (V) ou fausse (F).

Règles de notation :

Bonne réponse : + 2 points .

Mauvaise réponse : - 1 point .

Sans réponse : 0 point .

*Remarque* : l'utilisation de documents et de la calculatrice est strictement interdite.

Cette épreuve comporte volontairement plus d'exercices que vous ne pouvez en traiter dans le temps qui vous est imparti. La raison en est que votre professeur n'a pas encore forcément traité l'ensemble du programme de Terminale S et l'épreuve a été conçue de sorte de vous permettre de choisir 10 exercices que vous pouvez traiter. De ce fait, vous pouvez obtenir la note maximale sans traiter l'ensemble de l'épreuve. Essayez cependant d'en faire le maximum.

## PREMIÈRE SÉRIE

### EXERCICE 1

#### Ondes matérielles

1. Dans un milieu homogène et isotrope dans lequel se propage un signal à la célérité  $c$ , cette célérité décroît avec la distance et le temps. ☐
2. On parle d'onde progressive lorsqu'on suppose que le milieu de propagation est de dimensions infinies. ☐
3. Dans une onde longitudinale, il y a déplacement de matière et d'énergie. ☐
4. Un son ne peut pas être diffracté. ☐

### EXERCICE 2

#### Dispersion de la lumière par un prisme

Un prisme, d'angle au sommet  $\hat{A}$ , est constitué d'un verre dont l'indice vaut  $n$  pour une radiation jaune. On fait arriver un rayon de lumière jaune sur une surface du prisme avec une incidence  $i$ .

1. L'indice du verre étant une fonction décroissante de la longueur d'onde, des radiations bleues seront moins déviées que des radiations jaunes. ☐
2. Le domaine du visible s'étend du rouge au violet. Les longueurs d'onde associées sont respectivement de l'ordre de 800 nm et de l'ordre de 400 nm. ☐
3. En passant du jaune au bleu, la longueur d'onde diminue. ☐
4. La longueur d'onde de la lumière bleue dans le vide est  $\lambda = 486 \text{ nm}$ . ☐

### EXERCICE 3

#### Propagation du son et des ondes radios

1. Sachant que la lumière se propage à la vitesse  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  dans l'air, une onde radio met 1 ms pour parcourir la distance Paris-Nancy (300 km). ☐
2. Sachant que le son se propage à la vitesse  $c = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  dans l'air, un télémètre à ultrasons, mesure une hauteur de 1,70 m pendant une durée de 1 ms. ☐
3. Un son émis avec une grande puissance sonore se déplace plus vite qu'un son de même fréquence mais de plus faible puissance sonore. ☐
4. Il n'y a pas de relation entre l'amplitude d'un son et sa vitesse de propagation. ☐

### EXERCICE 4

#### Glissements sans et avec frottement d'un solide sur un plan horizontal

On donne  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

1. Un solide S de masse  $m = 1 \text{ kg}$  glisse sans frottements sur un plan horizontal. Il est soumis à une force horizontale constante  $\vec{F}$  de valeur  $F = 1 \text{ N}$ . Les caractéristiques du vecteur accélération  $\vec{a}_G$ , de son centre d'inertie sont : direction horizontale ; sens celui du mouvement ; module  $a_G = 1,6 \text{ m/s}^2$ . ☐
2. Un solide est animé d'un mouvement de translation rectiligne sur un plan horizontal lisse et sans frottement. Il est soumis à une force horizontale de valeur  $F = 50 \text{ N}$  et son accélération est  $a = 1 \text{ m/s}^2$ , on établit alors que la masse de ce mobile est  $m = 50 \text{ kg}$ . ☐
3. Un solide de masse  $m = 100 \text{ g}$  glisse sans frottement sur une table horizontale. Initialement au repos, il est soumis à une force constante horizontale  $\vec{F}$  pendant un temps  $t = 10 \text{ s}$ . Si la vitesse finale du solide est  $V = 1,65 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , son accélération est alors  $a = 0,165 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ . ☐
4. On déduit de la question précédente que la valeur de la force  $\vec{F}$  est  $F = 9,24 \cdot 10^{-2} \text{ N}$ . ☐



## EXERCICE 5

## Réaction du plancher d'un ascenseur en mouvement

Un homme de 100 kg est debout dans un ascenseur.

On donne  $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

La valeur de la force exercée par le plancher sur cet homme dans les différentes situations suivantes est :

1.  $R = 10^3 \text{ N}$  si l'ascenseur descend d'un mouvement uniforme. ☐
2.  $R = 750 \text{ N}$  si l'ascenseur descend d'un mouvement d'accélération constante égale à  $2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ . ☐
3.  $R = 325 \text{ N}$  si le câble casse et que l'ascenseur descend en chute libre. ☐
4.  $R = 750 \text{ N}$  si l'ascenseur monte d'un mouvement uniforme. ☐

## EXERCICE 6

## Tension d'un fil soutenant une bille et accroché au plafond d'un ascenseur en mouvement

Une petite bille de masse  $m = 50 \text{ g}$  est suspendue par l'intermédiaire d'un fil, au plafond d'un ascenseur. La bille est au repos par rapport à l'ascenseur. On donne  $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ . L'ascenseur est animé d'un mouvement vertical vers le haut d'accélération  $a_{\text{asc}} = 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

1. Pour étudier la tension du fil sur la bille, le système à choisir est (la bille + le fil). ☐
2. Le référentiel à considérer pour l'étude du mouvement de la bille doit être lié à la Terre. ☐
3. Dans ce référentiel lié à la Terre, l'accélération de la bille est  $a_b = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ . ☐
4. La tension du fil lorsque l'ascenseur monte d'un mouvement rectiligne uniforme est  $T = 0,5 \text{ N}$ . ☐

## EXERCICE 7

Désintégration  $\alpha$  de l'uranium 238

1. La masse molaire atomique de l'Uranium  $^{238}_{92}\text{U}$  est  $238 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ . ☐
2. L'Uranium  $^{238}_{92}\text{U}$  est radioactif  $\alpha$  et l'équation de la réaction correspondante est :  $^{238}_{92}\text{U} - ^{234}_{90}\text{Th} \rightarrow ^4_2\text{He}$ . ☐
3. Dans un échantillon radioactif de  $N$  noyaux d'Uranium, le nombre de noyaux qui se désintègrent pendant la durée  $t$  est donné par  $\Delta N = -\lambda N \Delta t$ . ☐
4. La demi-vie d'un radionucléide est le temps au bout duquel il reste la moitié de l'échantillon. ☐

**EXERCICE 8****Fusion nucléaire. Énergie de liaison**

Le soleil est essentiellement constitué de protons qui subissent des réactions nucléaires conduisant à la formation de noyaux d'hélium.

1. Ces réactions ont  $4 {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^0_{+1}\text{e} + 2\nu$  pour bilan. ☐
2. Si la puissance rayonnée par le soleil est de  $4 \cdot 10^{26} \text{ W}$  et son énergie totale rayonnée est  $E = 8 \cdot 10^{43} \text{ J}$ , le soleil continuera de briller pendant 10 milliards d'années. ☐
3. Dans la relation d'Einstein  $E = mc^2$ ,  $m$  représente le défaut de masse entre les noyaux fils et le noyau père. ☐
4. Plus un noyau est lourd, plus son énergie de liaison est petite. ☐

**EXERCICE 9****Charge d'un condensateur**

On charge un condensateur à l'aide d'un générateur de courant constant  $I_0 = 50 \mu\text{A}$  pendant la durée  $\Delta t = 3 \text{ s}$ . À intervalles de temps réguliers, on note la valeur de la tension  $U_{AB}$  en volt aux bornes du condensateur.

| $U_{AB} \text{ (V)}$ | 0 | 1   | 2 | 3   | 4 | 5   | 6 |
|----------------------|---|-----|---|-----|---|-----|---|
| $t \text{ (s)}$      | 0 | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 |

1. À partir du tableau ci-dessus, nous pouvons déduire que la relation qui lie la tension et l'intervalle de temps a pour représentation une droite linéaire de coefficient directeur  $k = 2 \text{ V} \cdot \text{s}^{-1}$ . ☐
2. La charge  $Q$  qui traverse le circuit pendant l'intervalle  $\Delta t = 3 \text{ s}$  est :

$$Q = \frac{I_0}{\Delta t}. \quad \text{□}$$

3. On en déduit que la relation entre  $Q$  et  $U$  est :  $Q = \frac{I_0}{U} k$ . ☐
4. La valeur de la capacité est :  $C = 25 \mu\text{F}$ . ☐

**EXERCICE 10****Dipôle RC. Constante de temps**

On branche en série un générateur de f.é.m.  $E = 6 \text{ V}$ , un interrupteur  $K$ , un conducteur ohmique (résistance  $R = 100 \Omega$ ) et un condensateur (capacité  $C = 20 \mu\text{F}$ ). À l'instant  $t = 0 \text{ s}$ , on ferme l'interrupteur.

1. L'équation différentielle vérifiée par la tension  $u$  aux bornes du condensateur s'écrit :

$$E = RC \frac{du(t)}{dt} + u(t) \quad \square$$

2. On peut prendre comme solution pour cette équation différentielle :

$$u(t) = E \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right). \quad \square$$

3. La constante de temps  $\tau$  est définie comme  $\tau = \frac{1}{RC}$ . ☐

4. Cette constante de temps  $\tau$  vaut 2 ms. ☐

## EXERCICE 11

### Circuit RLC. Oscillations électriques

À l'instant  $t = 0$  s, on branche aux bornes d'un dipôle RL un condensateur de capacité  $C$  chargé sous une tension  $E$ .

1. La pseudo-période  $T_0$  est la durée séparant deux dates successives où la tension aux bornes du condensateur est maximale. ☐

2. L'amortissement des oscillations dépend de l'inductance. ☐

3. À l'instant  $t = 0$  s, l'énergie de l'oscillateur est entièrement stockée dans le condensateur. ☐

4. Lorsque la résistance  $R = 0$ , la tension aux bornes du condensateur peut s'écrire  $u_C = E \cos \left( \frac{2\pi}{T_0} t + \frac{\pi}{2} \right)$ . ☐

## EXERCICE 12

### Onde électromagnétique

Sachant que la lumière se propage à la vitesse  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  dans l'air. On considère un laser qui émet une lumière monochromatique de longueur d'onde  $\lambda = 600 \text{ nm}$  dans le vide.

1. La période de l'onde électromagnétique dans le vide est de  $T = 2 \cdot 10^{-17} \text{ s}$ . ☐

2. La fréquence correspondante est  $f = 5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ . ☐

3. Lorsque la lumière pénètre dans du verre, on constate que sa vitesse  $v$  de propagation augmente. ☐

4. L'indice du verre est alors égal à  $n = \frac{v}{c} = 1,5$ . ☐

**EXERCICE 13****Spectres lumineux**

On place au-dessus d'un bec bunsen, un échantillon d'une substance contenant du titane. On éteint ensuite la flamme et on analyse la lumière émise par l'échantillon au moyen d'un spectroscope. On fait alors l'observation suivante :

1. Un spectre continu entrecoupé de trois raies noires correspondantes aux radiations de longueur d'onde  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  et  $\lambda_3$ . ☐
2. Un spectre constitué uniquement de trois radiations de longueur d'onde  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  et  $\lambda_3$ . ☐
3. Un spectre de bande dont les radiations comprises entre  $\lambda_1$  et  $\lambda_3$  ont été absorbées. ☐
4. Un spectre continu mais ne contenant que les radiations de longueur d'onde comprise entre  $\lambda_1$  et  $\lambda_3$ . ☐

**EXERCICE 14****Force gravitationnelle**

1. La force de gravitation est proportionnelle à l'inverse du carré de la distance. ☐
2. Une force gravitationnelle peut être répulsive. ☐
3. Les forces gravitationnelles ne peuvent pas s'exercer d'une galaxie à l'autre. ☐
4. La valeur de la force de la gravitation exercée par la Terre sur une plume est égale à la valeur de la force exercée par la plume sur la Terre. ☐

**EXERCICE 15****Oscillateur mécanique horizontal**

Un ressort horizontal à spires non jointives de raideur  $k$ , de masse négligeable, est fixé en un point A à l'une de ses extrémités. On fixe un solide de masse  $m$  à son autre extrémité. Le solide peut se déplacer horizontalement sans frottements. La position du ressort est repérée par rapport au centre de gravité du solide.

1. L'équation différentielle du système est donnée par  $m \frac{d^2x}{dt^2} + kx = 0$ . ☐
2. La solution de cette équation peut se mettre sous la forme :

$$x = x_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0} + \varphi\right).$$

☐

3.  $x_m \cos \varphi$  représente l'amplitude,  $T_0$  représente la période de l'oscillateur et  $\varphi$  la phase à l'origine. ☐
4. Les grandeurs  $x_m$  et  $\varphi$  ne dépendent pas des conditions initiales. ☐

## DEUXIÈME SÉRIE

### EXERCICE 1

#### Oscillateur atomique

Un atome de masse  $m = 10^{-26}$  kg constitue un oscillateur harmonique simple autour de sa position d'équilibre dans un cristal. Il n'a pas d'amortissements des oscillations.

La fréquence est  $f = 10^{12}$  Hz et l'amplitude  $a = 0,01$  nm. On fera l'approximation  $\pi^2 = 10$ .

1. L'atome ayant une oscillation sinusoïdale, son élongation en nanomètres autour de sa position d'équilibre peut s'écrire simplement  $x = 0,01 \cos(2\pi \cdot 10^{12}t)$ . ☐
2. Le module de la vitesse maximale est  $v_m = \pi \cdot 10^{10}$  nm  $\cdot$  s $^{-1}$ . ☐
3. L'énergie mécanique est constante et se réduit à l'énergie cinétique lorsque la vitesse est maximale. ☐
4. Cette énergie mécanique est  $E = 10^{-5}$  J. ☐

### EXERCICE 2

#### Diffraction. Figures de diffraction

1. La figure de diffraction que crée un trou circulaire présente une symétrie de révolution. ☐
2. Si l'ouverture est horizontale, la figure de diffraction est verticale. ☐
3. Dans une figure de diffraction la distance entre le milieu de la frange centrale et la première extinction est appelée l'écart angulaire  $\theta = \frac{\lambda}{a}$  exprimé en radians. ☐
4. La diffraction est un phénomène spécifique aux ondes électromagnétiques, telle la lumière. ☐

### EXERCICE 3

#### Pendule simple

Un pendule simple est un système idéalisé constitué d'une masse pon-

tuelle  $m = 40 \text{ g}$  suspendue à l'extrémité d'un fil inextensible de masse négligeable et de longueur  $L$ . On prendra  $g = 10 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$  et  $\pi^2 = 10$ .

1. L'équation différentielle du mouvement aux petites oscillations de ce pendule est  $\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{L} \theta = 0$ . ☐
2. La période propre de ce pendule a pour expression  $T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{L}{m}}$ . ☐
3. On donne  $\theta = 0,1\pi \sin(2\pi t)$ , on constate que  $L = 1,58 \text{ m}$ . ☐
4. La vitesse du pendule simple à  $t = \frac{1}{2} \text{ s}$  est  $v = 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . ☐

## EXERCICE 4

### Chute verticale. Vitesse limite

Lors de la chute verticale d'une charge, on effectue le relevé suivant :

| $t \text{ (s)}$                             | 0 | 5  | 10  | 15  | 25  | 40  | 50 et au-delà |
|---------------------------------------------|---|----|-----|-----|-----|-----|---------------|
| $v \text{ (km} \cdot \text{h}^{-1}\text{)}$ | 0 | 72 | 126 | 162 | 198 | 216 | 216           |

Où  $v$  est la vitesse de la charge à l'instant  $t$  considéré. On admettra qu'entre deux instants donnés consécutifs, la vitesse varie linéairement en fonction du temps.

1. La courbe  $v = f(t)$  fait apparaître un régime asymptotique lorsque la vitesse  $v$  atteint  $60 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . ☐
2. La charge atteint la vitesse  $v = 50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  à l'instant  $t_1 = 20 \text{ s}$ . ☐
3. Le constante de temps  $\tau$  est égal à  $13 \text{ s}$ .  
À l'instant  $t_2 = 45 \text{ s}$  la charge a parcouru la distance  $d = 2 \text{ km}$ . ☐
4. La vitesse  $v_2$  vaut alors  $44 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . ☐

## EXERCICE 5

### Propagation d'une onde sonore

On alimente un haut-parleur par un générateur dont la fréquence est située dans le domaine audible. Deux microphones, placés devant le haut-parleur, sont reliés au deux voies d'un oscilloscope.

Quand les deux microphones sont côte à côte, les crêtes des deux courbes sur l'oscilloscope coïncident. Si l'on déplace l'un des deux microphones, il faut le reculer de  $23,7 \text{ cm}$  de l'autre pour retrouver la même coïncidence.

1. On peut déduire de cette expérience que la longueur d'onde du signal sonore est  $47,4 \text{ cm}$ . ☐
2. Sur l'oscilloscope, la distance entre deux crêtes consécutives est de  $3,5 \text{ cm}$  (une division fait  $1 \text{ cm}$ ).  
Sachant que la base de temps est réglée sur  $0,2 \text{ ms/DIV}$ , on peut en

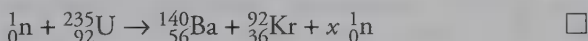
- déduire que la fréquence du son est de  $f = 10^3$  Hz. ☐
3. On en déduit également que la période du signal est de  $7 \cdot 10^{-4}$  s. ☐
4. La vitesse de propagation de l'onde sonore est de  $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . ☐

## EXERCICE 6

### Fission nucléaire

L'Uranium naturel est constitué de 0,7 % d'Uranium 235 et de 99,3 % d'Uranium 238. Ces deux isotopes sont fissibles. Dans un réacteur nucléaire, on utilise de l'Uranium enrichi.

1. L'isotope le plus facilement fissible est l'Uranium 235. ☐
2. Lorsque l'on bombarde un noyau d'Uranium 235 avec un flux de neutrons, il se casse en noyaux plus légers. On peut par exemple former du Baryum 140 et du Krypton 92. L'équation-bilan de cette réaction peut s'écrire :



3. La conservation du nombre de nucléons est vérifiée si  $x = 5$ . ☐
4. L'unité de l'activité radioactive est le becquerel (Bq). Elle correspond à une désintégration par seconde. ☐

## EXERCICE 7

### Dipôle RLC série. Oscillations électriques et mécaniques

1. Un circuit RLC série, réalisé avec un condensateur chargé est le siège d'oscillations électriques non amorties. ☐
2. La période propre des oscillations électriques d'un circuit LC est donné par :  $T_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ . ☐
3. Un oscillateur électrique est identique à un oscillateur mécanique élastique où la masse  $m$  correspond à l'inductance et l'inverse de la constante de raideur  $\frac{1}{k}$  correspond à la capacité. ☐
4. Pour compenser l'amortissement des oscillations dans un circuit RLC, il faut le brancher aux bornes d'un générateur. ☐

## EXERCICE 8

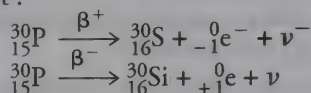
### Fusion nucléaire. Radioactivités $\beta^-$ et $\beta^+$

En 1934, Irène et Frédéric Joliot-Curie réalisèrent la première réaction de fusion. En bombardant des atomes d'Aluminium 27 avec des atomes



d'Hélium 4, ils obtinrent un isotope radioactif du phosphore et un neutron.

1. Les noyaux intervenant dans cette réaction sont :  ${}_{13}^{27}\text{Al}$  et  ${}_2^4\text{He}$ . ☐
2. Lors de cette réaction nucléaire, il y a conservation de la charge totale, du nombre de nucléons, mais pas de l'énergie. ☐
3. Le bilan de cette réaction nucléaire est  ${}_{13}^{27}\text{Al} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_{15}^{30}\text{P} + {}_0^1\text{n}$ . ☐
4. L'isotope obtenu est radioactif par rayonnement  $\beta$  et il se forme deux radioéléments qui sont :

☐

## EXERCICE 9

### Charge d'un condensateur. Oscillations électriques.

Un condensateur de capacité  $C = 1 \mu\text{F}$  est chargé sous une tension  $E = 4 \text{ V}$ .

1. La charge  $Q$  portée par chacune des armatures du condensateur lorsqu'il est chargé est  $Q = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ . ☐
2. L'énergie électrique emmagasinée par le condensateur est  $E_{\text{emmag}} = 8 \cdot 10^{-6} \text{ J}$ .  
Le condensateur est relié à une bobine d'inductance  $L$ . À l'instant  $t = 0 \text{ s}$ , on ferme l'interrupteur et on visualise alors aux bornes de la bobine une tension sinusoïdale  $u_B(t)$  de période  $T_0 = 20 \text{ ms}$ . ☐
3. La fréquence est  $f_0 = 1,95 \text{ kHz}$ . ☐
4. Si la capacité du condensateur est quadruplée, la période des oscillations est divisée par 2. ☐

## EXERCICE 10

### Dipôle LC. Inductance d'une bobine

Un condensateur de capacité  $C = 1 \mu\text{F}$  est chargé sous une tension  $E = 4 \text{ V}$  et relié à une bobine d'inductance  $L$ .

À l'instant  $t = 0 \text{ s}$ , on ferme l'interrupteur et on visualise alors aux bornes de la bobine une tension sinusoïdale  $u_B(t)$  de période  $T_0 = 20 \text{ ms}$ .

1. L'équation différentielle vérifiée par  $q(t)$  charge portée par une des deux armatures du condensateur au cours du temps est :

$$\frac{q(t)}{C} + L \frac{d^2 q(t)}{dt^2} = 0.$$

☐

2.  $q(t) = Q \cos\left(\frac{2\pi}{T_0} t\right)$  est solution de cette équation avec  $T_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$  ☐
3. L'inductance  $L$  est donnée par  $L = \frac{T_0^2}{4\pi^2 C}$ . ☐
4. L'inductance  $L = 10 \text{ H}$ . ☐

## EXERCICE 11

### Niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène

1. Les niveaux d'énergie de l'atome d'Hydrogène sont donnés par la relation  $E_n = \frac{-E_0}{n^2}$  avec  $E_0 = 13,6 \text{ eV}$ . ☐
2. L'énergie d'ionisation de l'hydrogène est  $1 \text{ eV}$ . ☐
3. Un atome d'Hydrogène pris dans son état fondamental peut absorber une énergie de  $18 \text{ eV}$ . ☐
4. L'énergie minimale nécessaire pour exciter un atome d'Hydrogène est de  $10,2 \text{ eV}$ . ☐

## EXERCICE 12

### Énergie de liaison par nucléon

On rappelle les données suivantes : Masse d'un neutron :  $1,008\,665 \text{ u}$  ; Masse d'un proton :  $1,007\,277 \text{ u}$  ; Masse du noyau d'uranium 235 :  $234,994 \text{ u}$  ;  $1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV} \cdot \text{c}^{-2}$ .  $E_\ell$  de l'énergie de liaison d'un noyau,  $A$  est le nombre de nucléons du noyau.

1. L'énergie de liaison par nucléon est égale au quotient de l'énergie de liaison d'un noyau par son nombre de nucléons :  $E = \frac{E_\ell}{A}$ . ☐
2. Pour l'ensemble des noyaux, l'allure de la courbe représentant les énergies de liaison par nucléon en fonction des nombres de masse  $A$  est une droite croissante. ☐
3. Le noyau d'uranium 235 se trouve à l'extrémité de cette courbe. ☐
4. Il peut donner des réactions de fission. ☐

## EXERCICE 13

### Forces exercées sur une goutte d'eau

Une goutte d'eau de forme sphérique de masse  $m_G = 10^{-7} \text{ kg}$  de rayon  $r = 1 \text{ mm}$  est soumise à la poussée d'Archimède. La constante de la pesantEUR est  $g = 10 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ , la masse volumique de l'air est de

$\rho_{\text{air}} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , la masse volumique de l'eau  $\rho_{\text{eau}} = 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  et le volume d'une goutte est  $V = \frac{4}{3} \pi r^2$ . On considère  $\pi \approx 3$ .

1. Le volume d'air déplacée par la goutte est le même que le volume de la goutte d'eau. ☐
2. La masse  $m_{\text{air}}$  de ce volume d'air est  $m_{\text{air}} \approx 4 \cdot 10^{-9} \text{ kg}$ . ☐
3. Le poids  $P_{\text{air}}$  de ce volume d'air déplacé est  $P_{\text{air}} = 10^{-9} \text{ N}$ . ☐
4. Ce poids  $P_{\text{air}}$  est supérieur au poids de la goutte d'eau  $P_G$ . ☐

## EXERCICE 14

### Satellite géostationnaire

1. La loi de la gravitation universelle s'exprime ainsi « si un corps A attire un corps B avec une force  $\vec{F}_{A/B}$  alors le corps B attire le corps A avec une force  $\vec{F}_{B/A}$  égale en valeur et direction mais de sens opposé de sorte que  $\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$  ». ☐
2. L'unité de la constante universelle de gravitation  $G$  de valeur  $6,67 \cdot 10^{-11}$  est le  $\text{N} \cdot \text{kg}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ . ☐
3. La vitesse d'un satellite géostationnaire dépend de sa masse  $m$  et du rayon  $r$  de son orbite selon :  $v = \sqrt{\frac{GmM}{r}}$  où  $M$  est la masse de la Terre. ☐
4. Le rayon de l'orbite d'un satellite géostationnaire s'exprime par  $r = \frac{vT_s}{2\pi}$  où  $T_s$  représente la période de révolution. ☐

## EXERCICE 15

### Chute d'une bille avec frottements

L'expression de l'équation différentielle qui régit la chute d'une bille de masse  $m$  selon l'axe  $Oz$  se met sous la forme :

$$\frac{dv_z(t)}{dt} + \frac{\lambda}{m} v_z(t) = \frac{(m - M)g}{m}.$$

1. Si  $m$  représente la masse de la bille,  $M$  représente alors la masse du fluide déplacée lors de sa chute. ☐
2. La force de frottement de l'air sur la bille lors de sa chute s'écrit sous la forme  $\vec{f} = -\lambda \vec{v}$  où  $\vec{v}$  est la vitesse de chute de la bille. ☐
3.  $\lambda$  représente le coefficient de frottement et s'exprime en  $\text{N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . ☐
4. L'expression de la vitesse limite est  $v_{\text{lim}} = |v_z| = \left| \frac{(m - M)g}{\lambda} \right|$ . ☐

# Memento

# FORMULAIRE DE PHYSIQUE

## PROPAGATION D'UNE ONDE ; ONDES PROGRESSIVES

### ■ Célérité d'une onde

$$v = \frac{M_1 M_2}{t_2 - t_1}$$

### ■ Élongation d'un point à l'instant $t$ et à l'abscisse $x$

$$u = A \sin \left[ 2\pi \nu \left( t - \frac{x}{v} \right) \right]$$

### ■ Longueur d'onde

$$\lambda = vT = \frac{v}{\nu}$$

### ■ Indice de réfraction

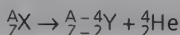
$$n = \frac{c}{v}$$

### ■ Écart angulaire lors du phénomène de diffraction

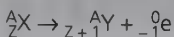
$$\theta = \frac{\lambda}{a}$$

## TRANSFORMATIONS NUCLÉAIRES

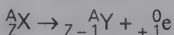
### ■ Radioactivité $\alpha$



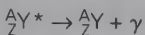
### ■ Radioactivité $\beta^-$



### ■ Radioactivité $\beta^+$



### ■ Désintégration $\gamma$



### ■ Loi de décroissance radioactive

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

avec  $\lambda$  : constante radioactive

### ■ Constante de temps

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

### ■ Demi-vie (ou période radioactive)

$$t_{1/2} = T = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

### ■ Activité

$$A(t) = -\frac{dN(t)}{dt} = \lambda N(t)$$

### ■ Becquerel

1 Bq = 1 désintégration par seconde

### ■ Équivalence masse-énergie

$$E = mc^2$$

### ■ Défaut de masse

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m \quad (> 0)$$

### ■ Énergie de liaison

$$E_\ell = \Delta mc^2 \quad (> 0)$$

### ■ Énergie de liaison moyenne par nucléon

$$\frac{E_\ell}{A} \quad (> 0)$$

### ■ MeV (unité d'énergie)

$$1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

### ■ Fission

Un noyau lourd se brise pour former deux noyaux plus légers.

### ■ Fusion

Deux noyaux légers s'unissent pour former un noyau plus lourd.

## ÉVOLUTION DES SYSTÈMES ÉLECTRIQUES

### ■ Charge d'un condensateur

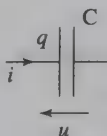
$$q = Cu$$

### ■ Énergie emmagasinée par un condensateur

$$E = \frac{1}{2} Cu^2$$

### ■ Relation intensité/tension

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt}$$





## ■ Constante de temps d'un circuit R, C

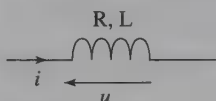
$$\tau = RC$$

## ■ Évolution de la tension aux bornes d'un condensateur

- charge :  $u = U \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$

- décharge :  $u = U e^{-\frac{t}{\tau}}$

## ■ Tension aux bornes d'une bobine



$$u = Ri + L \frac{di}{dt}$$

## ■ Constante de temps d'un circuit R, L

$$\tau = \frac{L}{R}$$

## ■ Évolution du courant dans une bobine

- établissement du courant :  $i = I_0 \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$

- disparition du courant :  $i = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$

## ■ Énergie emmagasinée par une bobine

$$E = \frac{1}{2} L i^2$$

## ■ Période propre des oscillations d'un circuit L, C

$$T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$$

## ÉVOLUTION TEMPORELLE DES SYSTÈMES MÉCANIQUES

## ■ Vecteur vitesse

$$\vec{v} = \frac{d\vec{OM}}{dt}$$

## ■ Vecteur accélération

$$\vec{a} = \frac{d^2\vec{OM}}{dt^2} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$



### ■ 1<sup>re</sup> loi de Newton : (Principe d'inertie)

$$\sum \vec{F} = \vec{0} \Leftrightarrow \vec{v}_B = \vec{c}t \text{ dans un repère galiléen}$$

### ■ 2<sup>e</sup> loi de Newton

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}_G \text{ (dans un repère galiléen)}$$

### ■ 3<sup>e</sup> loi de Newton (loi des actions réciproques)

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$$

### ■ Chute libre

$$\vec{a}_G = \vec{g} \quad v = gt \quad z = \frac{1}{2}gt^2$$

### ■ Chute avec frottement

Il existe une vitesse limite.

### ■ Mouvement circulaire uniforme

$$\vec{a}_G = \frac{v^2}{R} \vec{n}$$

### ■ Loi de gravitation

$$\vec{F}_{A \rightarrow B} = -\frac{Gm_A m_B}{r^2} \vec{u}_{AB}$$

### ■ Troisième loi de Kepler

$$\frac{T^2}{a^3} = \text{constante}$$

### ■ Force de rappel exercée par un ressort

$$\vec{F} = -k\vec{x}$$

### ■ Période d'un pendule simple

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

### ■ Période d'un pendule élastique

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

### ■ Énergie potentielle

– élastique :  $E = \frac{1}{2} kx^2$

– de pesanteur :  $E = -mgz$

### ■ Quantification de l'énergie

$$\Delta E = h\nu$$

# FORMULAIRE DE CHIMIE

## LA TRANSFORMATION D'UN SYSTÈME EST-ELLE TOUJOURS RAPIDE ?

### ■ Vitesse de formation d'un produit

$$v = \frac{d[P]}{dt}$$

### ■ Vitesse de disparition d'un réactif

$$v = -\frac{d[R]}{dt}$$

### ■ Facteurs cinétiques

- concentration  $c$  des réactifs : si  $c$  augmente,  $v$  augmente
- température  $T$  : si  $T$  augmente,  $v$  augmente.

### ■ Loi de Beer-Lambert

$$A_\lambda = k_\lambda \cdot \ell \cdot c$$

## LA TRANSFORMATION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE EST-ELLE TOUJOURS TOTALE ?

### ■ Définition du pH

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

### ■ Quotient de réaction

$$Q_r = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

### ■ Constante d'équilibre

$$K = \frac{[C]_{\text{final}}^c [D]_{\text{final}}^d}{[A]_{\text{final}}^a [B]_{\text{final}}^b}$$

(la réaction étant :  $aA + bB = cC + dD$ )

### ■ Constante d'acidité

$$K_A = \frac{[\text{base faible}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{acide faible}]}$$

$$\text{p}K_A = -\log K_A$$

■ Produit ionique de l'eau à 25 °C :

$$[\text{H}_3\text{O}^+][\text{HO}^-] = 10^{-14}$$

## LE SENS « SPONTANÉ » D'ÉVOLUTION D'UN SYSTÈME EST-IL PRÉVISIBLE ?

■ Évolution d'un système réactionnel

$Q < K$  : évolution dans le sens direct

$Q > K$  : évolution dans le sens inverse

■ Piles

à la cathode : réduction

à l'anode : oxydation

■ En fonctionnement direct (« pile »)

$\oplus$  : cathode       $\ominus$  : anode

$Q$  se rapproche de  $K$

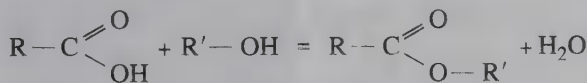
■ En fonctionnement inverse (« électrolyseur »)

$\oplus$  : anode       $\ominus$  : cathode

$Q$  s'éloigne de  $K$

## COMMENT LE CHIMISTE CONTRÔLE-T-IL LES TRANSFORMATIONS DE LA MATIÈRE ?

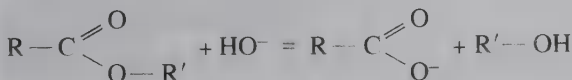
■ Estérification, hydrolyse d'un ester



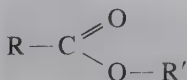
sens direct : estérification

sens inverse : hydrolyse d'un ester

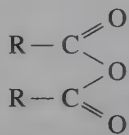
■ Saponification



■ Ester



## ■ Anhydride d'acide



## ■ Alcool



## ■ Catalyseur

augmente la vitesse d'une réaction ; il peut aussi orienter l'évolution d'un système chimique

## ■ Corps gras : triester de glycérol

■ Rendement  $\rho$ 

$$\rho = \frac{\text{quantité de produit obtenu}}{\text{quantité de produit espéré}} < 1$$

# CLASSIFICATION PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS CHIMIQUES

| colonne<br>période | 1                                                    | 2                                                   | 3                                                  | 4                                                         | 5                                                    | 6                                                       | 7                                                    | 8                                                     | 9                                                       | 10                                                    | 11                                                 | 12                                                  | 13                                                   | 14 | 15 | 16 | 17                                                 | 18                                                |
|--------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----|----|----|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 1                  | <sup>1</sup> <sub>1</sub> H<br>hydrogène<br>1,0      |                                                     |                                                    |                                                           |                                                      |                                                         |                                                      |                                                       |                                                         |                                                       |                                                    |                                                     |                                                      |    |    |    |                                                    | <sup>4</sup> <sub>2</sub> He<br>hélium<br>4,0     |
| 2                  | <sup>3</sup> <sub>3</sub> Li<br>lithium<br>6,9       | <sup>4</sup> <sub>4</sub> Be<br>béryllium<br>9,0    |                                                    |                                                           |                                                      |                                                         |                                                      |                                                       |                                                         |                                                       |                                                    |                                                     |                                                      |    |    |    | <sup>9</sup> <sub>9</sub> F<br>fluor<br>19,0       | <sup>20</sup> <sub>10</sub> Ne<br>néon<br>20,2    |
| 3                  | <sup>11</sup> <sub>11</sub> Na<br>sodium<br>23,0     | <sup>12</sup> <sub>12</sub> Mg<br>magnésium<br>24,3 |                                                    |                                                           |                                                      |                                                         |                                                      |                                                       |                                                         |                                                       |                                                    |                                                     |                                                      |    |    |    | <sup>16</sup> <sub>8</sub> O<br>oxygène<br>16,0    | <sup>35</sup> <sub>17</sub> Cl<br>chlore<br>35,5  |
| 4                  | <sup>19</sup> <sub>19</sub> K<br>potassium<br>39,1   | <sup>20</sup> <sub>20</sub> Ca<br>calcium<br>40,1   | <sup>45</sup> <sub>21</sub> Sc<br>scandium<br>45,0 | <sup>48</sup> <sub>22</sub> Ti<br>titane<br>47,9          | <sup>51</sup> <sub>23</sub> V<br>vanadium<br>50,9    | <sup>52</sup> <sub>24</sub> Cr<br>chrome<br>52,0        | <sup>55</sup> <sub>25</sub> Mn<br>manganèse<br>54,9  | <sup>56</sup> <sub>26</sub> Fe<br>fer<br>55,8         | <sup>59</sup> <sub>27</sub> Co<br>cobalt<br>58,9        | <sup>58</sup> <sub>28</sub> Ni<br>nickel<br>58,7      | <sup>63</sup> <sub>29</sub> Cu<br>cuivre<br>63,5   | <sup>64</sup> <sub>30</sub> Zn<br>zinc<br>65,4      |                                                      |    |    |    | <sup>79</sup> <sub>35</sub> Br<br>brome<br>79,9    | <sup>84</sup> <sub>36</sub> Kr<br>krypton<br>83,8 |
| 5                  | <sup>85</sup> <sub>37</sub> Rb<br>rubidium<br>85,5   | <sup>88</sup> <sub>38</sub> Sr<br>strontium<br>87,6 | <sup>89</sup> <sub>39</sub> Y<br>yttrium<br>88,9   | <sup>90</sup> <sub>40</sub> Zr<br>zirconium<br>91,2       | <sup>93</sup> <sub>41</sub> Nb<br>niobium<br>92,9    | <sup>98</sup> <sub>42</sub> Mo<br>molybdène<br>95,9     | <sup>98</sup> <sub>43</sub> Tc<br>technétium<br>98,9 | <sup>102</sup> <sub>44</sub> Ru<br>ruthénium<br>101,1 | <sup>103</sup> <sub>45</sub> Rh<br>rhodium<br>102,9     | <sup>106</sup> <sub>46</sub> Pd<br>palladium<br>106,4 | <sup>107</sup> <sub>47</sub> Ag<br>argent<br>107,9 | <sup>114</sup> <sub>48</sub> Cd<br>cadmium<br>112,4 | <sup>115</sup> <sub>49</sub> In<br>indium<br>114,8   |    |    |    | <sup>127</sup> <sub>53</sub> I<br>iode<br>126,9    | <sup>129</sup> <sub>54</sub> Xe<br>xénon<br>131,3 |
| 6                  | <sup>133</sup> <sub>55</sub> Cs<br>césium<br>132,9   | <sup>138</sup> <sub>56</sub> Ba<br>baryum<br>137,3  |                                                    | <sup>180</sup> <sub>72</sub> Hf<br>hafnium<br>178,5       | <sup>181</sup> <sub>73</sub> Ta<br>tantalum<br>180,9 | <sup>184</sup> <sub>74</sub> W<br>tungstène<br>183,9    | <sup>187</sup> <sub>75</sub> Re<br>rénium<br>186,2   | <sup>192</sup> <sub>76</sub> Os<br>osmium<br>190,2    | <sup>193</sup> <sub>77</sub> Ir<br>iridium<br>192,2     | <sup>195</sup> <sub>78</sub> Pt<br>platine<br>195,1   | <sup>197</sup> <sub>79</sub> Au<br>or<br>197,0     | <sup>202</sup> <sub>80</sub> Hg<br>mercure<br>200,6 | <sup>205</sup> <sub>81</sub> Tl<br>thallium<br>204,4 |    |    |    | <sup>210</sup> <sub>85</sub> At<br>astate<br>≈ 210 | <sup>222</sup> <sub>86</sub> Rn<br>radon<br>≈ 222 |
| 7                  | <sup>223</sup> <sub>87</sub> Fr<br>francium<br>≈ 223 | <sup>226</sup> <sub>88</sub> Ra<br>radium<br>226,0  |                                                    | <sup>261</sup> <sub>104</sub> Ku<br>kurchatovium<br>≈ 261 | <sup>262</sup> <sub>105</sub> Ha<br>hahnium<br>≈ 262 | <sup>266</sup> <sub>106</sub> Sg<br>seaborgium<br>≈ 266 | <sup>107</sup> <sub>107</sub> Bh<br>bohrium<br>≈ 262 | <sup>108</sup> <sub>108</sub> Hs<br>hassium<br>≈ 265  | <sup>109</sup> <sub>109</sub> Mt<br>meitnerium<br>≈ 268 | <sup>110</sup> <sub>110</sub> Ds<br>≈ 271             | <sup>111</sup> <sub>111</sub> Nh<br>≈ 272          | <sup>112</sup> <sub>112</sub> X<br>≈ 273            |                                                      |    |    |    |                                                    |                                                   |

L = Lanthanides : 57 à 71

A = Actinides : 89 à 103

|                                                      |                                                    |                                                        |                                                     |                                                        |                                                      |                                                      |                                                        |                                                     |                                                        |                                                     |                                                    |                                                     |                                                       |                                                      |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| <sup>139</sup> <sub>57</sub> La<br>lanthane<br>138,9 | <sup>140</sup> <sub>58</sub> Ce<br>cérium<br>140,1 | <sup>141</sup> <sub>59</sub> Pr<br>praseodyme<br>140,9 | <sup>142</sup> <sub>60</sub> Nd<br>néodyme<br>144,2 | <sup>146</sup> <sub>61</sub> Pm<br>prométhium<br>≈ 145 | <sup>152</sup> <sub>62</sub> Sm<br>samarium<br>150,4 | <sup>153</sup> <sub>63</sub> Eu<br>europium<br>152,0 | <sup>158</sup> <sub>64</sub> Gd<br>gadolinium<br>157,2 | <sup>159</sup> <sub>65</sub> Tb<br>terbium<br>158,9 | <sup>164</sup> <sub>66</sub> Dy<br>dysprosium<br>162,5 | <sup>165</sup> <sub>67</sub> Ho<br>holmium<br>164,9 | <sup>166</sup> <sub>68</sub> Er<br>erbium<br>167,3 | <sup>169</sup> <sub>69</sub> Tm<br>thulium<br>168,9 | <sup>174</sup> <sub>70</sub> Yb<br>ytterbium<br>173,0 | <sup>175</sup> <sub>71</sub> Lu<br>lutétium<br>175,0 |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|

|                                                      |                                                     |                                                          |                                                    |                                                        |                                                       |                                                       |                                                    |                                                       |                                                         |                                                         |                                                      |                                                          |                                                       |                                                         |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <sup>227</sup> <sub>89</sub> Ac<br>actinium<br>≈ 227 | <sup>232</sup> <sub>90</sub> Th<br>thorium<br>232,0 | <sup>231</sup> <sub>91</sub> Pa<br>protactinium<br>231,0 | <sup>238</sup> <sub>92</sub> U<br>uranium<br>238,0 | <sup>237</sup> <sub>93</sub> Np<br>néputunium<br>≈ 237 | <sup>244</sup> <sub>94</sub> Pu<br>plutonium<br>≈ 244 | <sup>243</sup> <sub>95</sub> Am<br>américium<br>≈ 243 | <sup>247</sup> <sub>96</sub> Cm<br>curium<br>≈ 247 | <sup>247</sup> <sub>97</sub> Bk<br>berkélium<br>≈ 247 | <sup>251</sup> <sub>98</sub> Cf<br>californium<br>≈ 251 | <sup>254</sup> <sub>99</sub> Es<br>einsteinium<br>≈ 254 | <sup>257</sup> <sub>100</sub> Fm<br>fermium<br>≈ 257 | <sup>258</sup> <sub>101</sub> Md<br>mendelevium<br>≈ 258 | <sup>259</sup> <sub>102</sub> No<br>nobélium<br>≈ 259 | <sup>260</sup> <sub>103</sub> Lr<br>lawrencium<br>≈ 260 |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|

# TABLEAU DE DONNÉES

| Constante                          | Symbole                           | Valeur approchée                                                           |
|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Vitesse de la lumière dans le vide | $c$                               | $3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$                            |
| Constante d'Avogadro               | $N$ (ou $N_A$ )                   | $6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$                                     |
| Constante gravitationnelle         | $G$<br>(ou $K$ ou $\varepsilon$ ) | $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ |
| Charge électrique élémentaire      | $e$                               | $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$                                           |
| Masse de l'électron                | $-m_e$                            | $9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$                                          |
| Masse du proton                    | $m_p$                             | $1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$                                          |
| Masse du neutron                   | $m_n$                             | $1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$                                          |
| Unité de masse atomique            | $u$                               | $1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$                                         |
| Volume molaire (0 °C, 1 atm)       | $V_{m_0}$                         | $22,4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$                                     |
| Produit ionique de l'eau (25 °C)   | $K_e$                             | $1,0 \cdot 10^{-14}$                                                       |
| Masse de la Terre                  | $M_T$                             | $5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$                                            |
| Rayon moyen de la Terre            | $R_T$                             | $6\,380 \text{ km}$                                                        |
| Masse du Soleil                    | $M_S$                             | $1,98 \cdot 10^{30} \text{ kg}$                                            |
| 1 jour                             | $j$ (ou $d$ )                     | $86\,400 \text{ s}$                                                        |
| 1 Faraday                          | $\mathcal{F}$                     | $96\,500 \text{ C}$                                                        |

# INDEX THÉMATIQUE

Les nombres correspondent aux numéros des exercices

## PHYSIQUE : ENSEIGNEMENT OBLIGATOIRE

Activité 1, 12, 13  
Alunissage 36  
Analyse dimensionnelle 44  
Angle de tir 31  
Attraction lunaire 36  
Branchement d'un oscilloscope 23  
Capteurs d'humidité 44  
Capture neutronique 16  
Caractéristiques de l'orbite d'un satellite 38, 39  
Caractéristiques d'une trajectoire 32  
Champ gravitationnel terrestre 38  
Charge d'un condensateur 17, 20, 21, 25  
Chute libre 31, 32, 33, 35, 40, 42  
Circuit L, C 22, 25, 28  
Circuit R, C 17, 18, 24, 26  
Circuit R, L 21, 22, 24, 27  
Circuit R, L, C 26, 27, 28, 30  
Composition d'un noyau 1  
Constante de temps 1, 17, 19, 20, 25  
Constante radioactive 8, 10, 13  
Courbe d'Aston 15  
Datation par la méthode Argon/Potassium 11  
Décharge d'un condensateur 18, 19, 20  
Décollage d'une fusée 37  
Décroissance radioactive 7, 9, 13  
Défaut de masse 1, 15  
Désintégration du carbone 14 8  
Désintégration successives 9  
Détermination d'un dipôle 20  
Détermination d'une inductance 23  
Énergie de liaison 15  
Énergie cinétique 43  
Énergie mécanique 43, 45, 47  
Énergie potentielle 43, 45  
Énergie emmagasinée par un condensateur 18, 19



Équation différentielle caractéristique 1, 19  
Étude d'un oscillogramme 23  
Évolution des énergies 26, 27, 28  
Fission nucléaire 14  
Force de frottement 33, 34, 43, 45  
Force d'interaction gravitationnelle 40  
Frottement fluide 46  
Fusion nucléaire 14  
Histogramme 12  
Inductance d'une bobine 21, 22  
Isotopes 13, 15, 16  
Isotopie 1  
Lois de la gravitationnelle universelle 37  
Masse d'une planète 41  
Méthode d'Euler 10, 34  
Modélisation d'une pile 1  
Mouvement circulaire uniforme 36, 40, 47  
Niveaux d'énergie 47, 48  
Oscillateur mécanique 44, 45  
Oscillations électriques 24, 25, 46  
Oscillations mécaniques 30, 42, 43, 46  
Pendule élastique vertical 46  
Période propre 28  
Perte de masse 14  
Pile cuivre/argent 30  
Poussée d'Archimède 33, 34  
Pseudo-période 22, 25, 27, 28, 44  
Radioactivité  $\alpha$  1, 9, 10, 11, 13, 15  
Radioactivité  $\beta^-$  1, 9, 11, 12, 13, 15, 16  
Radioactivité  $\beta^+$  11  
Radioactivité  $\gamma$  11  
Raideur d'un ressort 46  
Rapport isotopique 7  
Référentiel galiléen 32  
Résonance en amplitude 46  
Satellisation 35  
Satellite artificiel 37  
Satellite géostationnaire 38, 39  
Sphère de Roche 41  
Temps de demi-vie 1, 8, 9, 10, 11, 12, 13

Théorème de l'énergie cinétique 35, 42  
 Troisième loi de Képler 39, 41  
 Utilisation d'un oscilloscope 27  
 Vecteur accélération 36  
 Vecteur vitesse instantanée 43  
 Vitesse limite 33

## PHYSIQUE : ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

Amplificateur 62  
 Analyse spectrale 59  
 Caractéristiques d'oscillation 60  
 Caractéristiques d'une image 53  
 Célérité du son dans l'air 58  
 Circuit oscillant 62  
 Circuit R, C 62  
 Comment accorder un xylophone 60  
 Conditions de Gauss 52, 54  
 Constante de temps 62  
 Construction graphique d'une image 50, 51, 54, 56, 57  
 Détermination de la taille d'un objet 53  
 Diamètre apparent 57  
 Grandissement 49, 50, 51, 52, 56  
 Grossissement 50, 51, 53, 54, 55, 56, 57  
 Harmoniques 59  
 Lentille mince convergente 49, 56  
 Luminosité 54  
 Lunette astronomique 52  
 Marche d'un rayon lumineux 51, 52, 57  
 Miroir plan 55, 56  
 Miroir sphérique 55, 56, 57  
 Mode fondamental 59  
 Modulation d'amplitude 61, 62  
 Obtention d'une image 49  
 Ondes stationnaires 58, 59  
 Osillogramme 61  
 Paramètres d'acquisition 60  
 Phénomène de résonance 58  
 Position d'une image 52  
 Spectre de fréquences 61

Taux de modulation 61  
 Taille d'une image 53  
 Utilité d'un diaphragme 50

## CHIMIE : ENSEIGNEMENT OBLIGATOIRE

Absorbance 63, 85  
 Acide en solution aqueuse 69, 70  
 Avancement 63, 79, 83, 85  
 Caractéristiques de l'ion carboxylaté 94  
 Carbonatation de la soude 76  
 Caractéristiques d'une saponification 66  
 Choix de verrerie 67  
 Choix d'un protocole 91  
 Chauffage à reflux 89, 95  
 Cinétique d'une réaction 92  
 Classement des métaux 86  
 Comparaison de réactions 90  
 Comprimé d'aspirine 78  
 Concentration molaire 71, 74, 80  
 Conductance d'une solution 64, 73, 77  
 Constante d'acidité  $K_A$  73, 74, 77, 78  
 Constante de réaction  $K$  76, 78, 79, 87, 93, 97  
 Corps gras 96  
 Critère d'évolution spontanée 81  
 Couple acide/base conjugués 69, 78  
 Couple oxydant/réducteur 84, 88  
 Degré chlorométrique 68  
 Décantation 91  
 Déplacement d'équilibre 93  
 Différence entre acides lors de dilutions 71  
 Dilution 69, 70, 71, 72  
 Dissolution 80  
 Distillation 97  
 Domaine de prédominance 72, 76  
 Diagramme de prédominance 79  
 Dosage d'un acide par une base 72  
 Dosage conductimétrique 74  
 Dosage pH métrique 74  
 Électrolyse 83

Électrolyseur 84, 86  
Électrozingage 86  
Équivalence acido basique 66, 69, 70  
Ester 66  
Estérification 77, 90, 91, 93, 96  
Facteurs cinétiques 63, 68  
Fonctionnement d'une pile 81, 82  
Groupements caractéristiques 1, 65, 78, 88  
Indicateur coloré 74  
Influence de la température 66, 92  
Isomérisation 89  
Micelles 94  
Molécule d'ester 64  
Phénomène de trempe 67  
pH d'une solution aqueuse 69, 75  
Pile 86, 87  
Point d'équivalence acido basique 75  
Pôles d'une pile 82, 85  
Précautions d'emploi 60  
Préparation de l'aspirine 88  
Préparation d'une solution 76  
Produit ionique de l'eau 79  
Quotient de réaction 73, 75, 77, 79, 81, 85, 87, 95, 96, 97  
Réactions aux électrodes 87  
Réactions d'oxydo-réduction 85  
Rendement 83, 84, 89, 91, 93  
Saponification 67, 94  
Savon 90  
Sécurité au laboratoire 67  
Schéma d'une pile 82  
Stéréoisomérisation Z/E 90  
Synthèse de l'aspirine 65  
Synthèse vitamine A 89  
Solubilité 72, 95  
Tableau d'avancement 1, 77, 92, 95, 97  
Taux d'avancement 1, 73, 79, 84  
Temps de demi-réaction 63, 64  
Utilisation d'un indicateur coloré 1, 70  
Vitesse de réaction 64, 65, 66, 67, 68, 93, 94

## CHIMIE : ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

Absorbance 103  
 Acide gras 107  
 Acide salicylique 102  
 Catalyseur 100  
 Choix de verrerie 104, 105  
 Chromatographie sur couche mince 98, 99, 101, 102, 104  
 Classes d'alcool 98  
 Comparaison d'acides 109  
 Constante de réaction 109  
 Corps gras 107  
 Décantation 99  
 Degré chlorométrique 105  
 Déplacement d'un état d'équilibre 100  
 Déshydratation 99  
 Dilution 1, 105  
 Dosage d'un acide par une base 107  
 Dosage des ions chlorure 104  
 Dosage redox 108  
 Dosage spectrophotométrique 1  
 Électrolyse 108  
 Estérification 102  
 Formulation de l'aspirine 109  
 Formulation d'une espèce chimique hydratée 1  
 Groupes fonctionnels 101  
 Hydrodistillation 98  
 Indicateur de fin de réaction 108  
 Montage à reflux 100, 101  
 Oxydoréduction 103  
 ? opératoires 100  
 Préparation d'une solution 103  
 Recherche du nombre de double liaison  $C = C$  dans une molécule 107  
 Réaction redox 98  
 Réactif limitant 101  
 Recristallisation 101  
 Rendement 88, 100, 101  
 Saponification 107  
 Titration 107  
 Utilisation de verrerie 106

## NOTES

N° éditeur : 10102495 – Août 2003  
Imprimé en France par Maury-Eurolivres  
45300 Manchecourt





EF Education  
4 rue Duphot  
75001 Paris  
www.ef.com

# Education

Vivez les langues à l'étranger !

...r(e) étudiant(e),  
EF Education, dans le  
...re de son partenariat  
... les éditions Nathan,  
... plaisir de te présenter  
... nouvelles destinations  
... formules de cours pour  
... née à venir - et une  
... rse spéciale pour toi  
... me lecteur Nathan  
... pour un de tes ami(e)s!

...s à l'étranger avec  
EF Education, numéro 1  
...ndial des séjours lin-  
...gtiques ! En plus des  
...rs de langues, vous  
...vez étudier des  
...nières appliquées,  
...parer des examens  
...rnationaux et allier à  
...ce cours un stage en  
...reprise !

A très bientôt !



en partenariat avec

**Nathan**

## Offres Spéciales "Lecteur Nathan"

Valable pour toute inscription  
jusqu'au 30/04/04 !

EF Vacances Linguistiques  
&  
EF Centres Internationaux  
de Langues :

Jusqu'à **250 euros**  
soit 25 euros de réduction par sem.\*

EF Un An d'Etudes à l'Etranger :

**205 euros**  
soit le forfait annulation examen offert\*

EF Une Année Multi-Langues :

**550 euros**  
sur le séjour\*

\*Offres non cumulables avec d'autres offres en cours.



**Pour toi**  
coupon spécial  
remise "Lecteur  
Nathan"

A joindre à ton bordereau  
d'inscription avant le  
30/04/04

**Pour ton  
ami(e)**  
coupon spécial  
remise "Lecteur  
Nathan"

A joindre à ton bordereau  
d'inscription avant le  
30/04/04







# Education

Vivez les langues à l'étranger !

EF Education  
4 rue Duphot  
75001 Paris  
www.ef.com

## EF Centres Internationaux de Langues

- Séjours individuels pour étudiants et adultes dès 16 ans
- Toute l'année, toutes durées, tous niveaux
- Examens internationaux (TOEFL, Cambridge, DELE, GOETHE...)
- Stage professionnel
- 28 écoles dans le monde
- Progrès garantis
- Option Anglais des Affaires

## EF Vacances Linguistiques

- De 14 à 18 ans, séjours linguistiques pendant les vacances scolaires de Noël, février, Pâques et d'été
- Cours "Spécial BAC"
- Cours Junior de 7 à 14 ans
- Séjours en groupe et voyages encadrés
- Grand choix de destinations, cours, activités et sports
- Famille d'accueil, résidence ou campus.

## EF Un An d'Etudes à l'Etranger

- Etudiants de 16 à 28 ans
- 6 ou 9 mois de cours de langue et de matières appliquées
- Examens internationaux
- Préparation universitaire
- Master Business English (MBE)
- Option de stage professionnel
- Centres jumelés ou Une Année Multi-Langues également disponibles

## EF Une Année Scolaire à l'Etranger

- Lycéens de 15 à 18 ans
- Immersion de 6 ou 9 mois dans un lycée étranger
- Hébergement en famille d'accueil
- Camp de préparation et excursions
- Correspondants locaux
- 7 pays destinations dont les USA
- Départ en août et janvier

Oui, je souhaite recevoir votre documentation gratuite :

Offres spéciales  
lecteurs Nathan sur la  
page précédente !

- ☐ EF Vacances Linguistiques
- ☐ EF Une Année Scolaire à l'Etranger
- ☐ EF Centres Internationaux de Langues
- ☐ EF Un An d'Etudes à l'Etranger
- ☐ EF Une Année Multi-Langues

Nom..... Prénom : .....

Date de Naissance (jj/mm/aa) : .....

Adresse : .....

Code Postal : ..... Ville : .....

Tél : ..... Portable : ..... ☐ Accepte les SMS EF

Email : .....

Ecole.....

Coupon à retourner sous enveloppe affranchie au tarif en vigueur à : EF Education - 4 rue Duphot - 75001 PARIS

Conformément à la loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification des données personnelles vous concernant. Notre société est destinataire des informations que vous communiquez.





# Education

## vivez les langues à l'étranger !

Partenaire de Nathan et numéro 1 mondial des séjours linguistiques,  
EF Education propose des programmes adaptés à tous les âges et tous les  
niveaux - de 2 semaines à 1 an d'études.

Angleterre  
Autriche  
Belgique  
Canada  
Espagne  
France  
Grèce  
Irlande  
Italie  
Japon  
Malaisie  
Mexique  
Népal  
Pays-Bas  
Portugal  
Royaume-Uni  
Suède  
Suisse  
Taïwan  
Thaïlande  
Turquie  
USA  
Vietnam

Pour recevoir notre documentation,  
appelez-nous gratuitement !

**0 800 33 12 98**

Programmes pour Scolaires

**0 800 02 69 71**

Programmes Etudiants et Adultes



"Mon séjour à Londres a été  
une expérience magnifique :  
de nouveaux amis du  
monde entier, des progrès  
rapides et tellement de  
superbes souvenirs !"

Mathieu, 18 ans

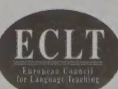
EF Education  
4 rue Duphot  
75001 Paris

**www.ef.com**

Les Centres Internationaux de Langues sont accrédités par :



ACCREDITED BY  
The British Council





# Les Sujets non corrigés



## Physique-Chimie S Obligatoire et Spécialité

- 50 exercices des sessions de juin 2003 et septembre 2002, et 60 exercices inédits ou repris des sessions antérieures, classés par thèmes, avec un barème détaillé pour chaque sujet.
- 7 sujets d'écoles d'ingénieurs.
- Un index thématique et un formulaire de Physique-Chimie.
- En début d'ouvrage, le dossier infos-bac : toutes les infos sur les coulisses du bac et le déroulement des épreuves, tous les conseils pratiques et méthodologiques pour bien aborder l'écrit et préparer l'oral de rattrapage.

Réussir son année  
Les Guides ABC  
Cours, méthodes  
exercices corrigés

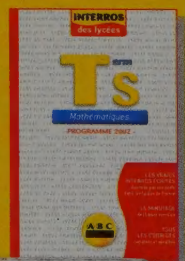


**KO-552-189**

détachables

...er le sans-faute  
...erros des Lycées  
De vraies interrog  
De vraies copies d'élèves

ISBN : 2 09 483 218-9  
9 782091 832180



Des milliers de cours e



Toute une gamme

Le  
www

20083 01216185

**PRIX ÉDITEUR**  
**4,95 €**  
32,47 FRF

9 782091 832180

PHYSIQUE CHIMIE S/