

# BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2017

## PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Durée de l'épreuve : 3 heures 30  
Coefficient : 8

*L'usage de la calculatrice est autorisé*

*Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré*

Le sujet comporte trois exercices présentés sur 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12, y compris celle-ci.

**Documents à rendre avec la copie :**

**Annexe de l'exercice II.....page 12/12.**

Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres.

## EXERCICE I - LE TRÈS GRAND TÉLESCOPE (9 points)

Le VLT (Very Large Telescope) est situé dans le désert d'Atacama au nord du Chili à 2 635 m d'altitude.

Il est constitué d'un ensemble de quatre télescopes nommés Antu, Kueyen, Melipal et Yepun ayant des miroirs de 8,2 mètres de diamètre.

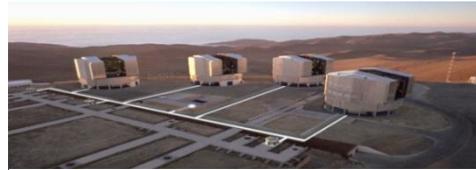


Image source :

[https://en.wikipedia.org/wiki/Very\\_Large\\_Telescope](https://en.wikipedia.org/wiki/Very_Large_Telescope)

L'objectif de cet exercice est de comprendre pourquoi les scientifiques construisent des télescopes ayant des diamètres de plus en plus grands.

Les différentes parties sont indépendantes.

### PARTIE 1 : Un télescope du VLT

Lorsqu'on observe une étoile à travers un télescope, l'image apparaît sous la forme d'une tache, dont la dimension est liée aux défauts que présente l'instrument, tels que :

- la sensibilité aux fluctuations atmosphériques ;
- la diffraction par l'ouverture limitée de l'instrument.

On étudie l'influence du diamètre de l'ouverture circulaire du télescope sur la qualité de l'image formée.

Pour cela, on réalise le montage suivant (figure 1), dans lequel le laser correspond à l'étoile et le miroir du télescope est modélisé par une ouverture circulaire de diamètre  $a$  produisant un phénomène de diffraction.

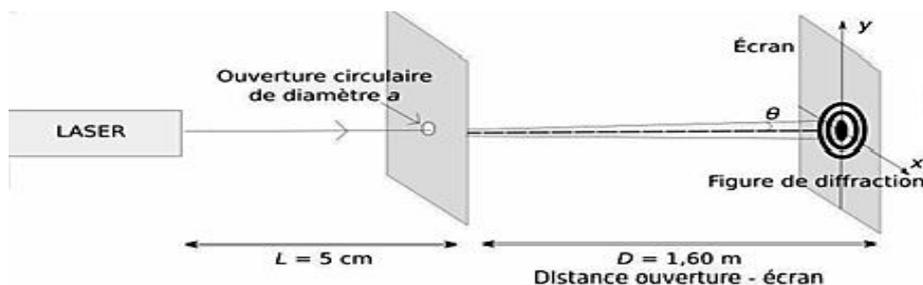
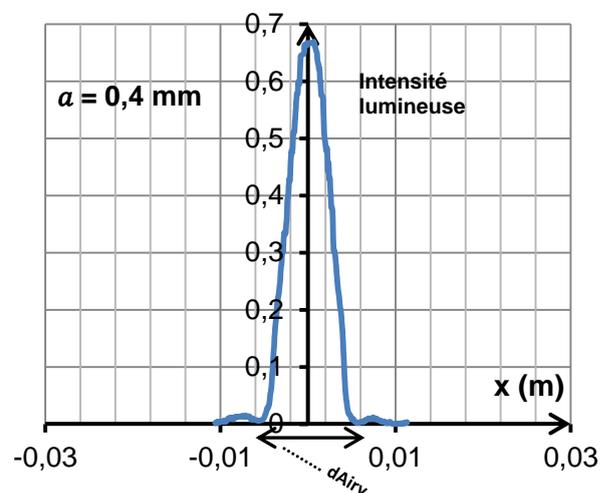
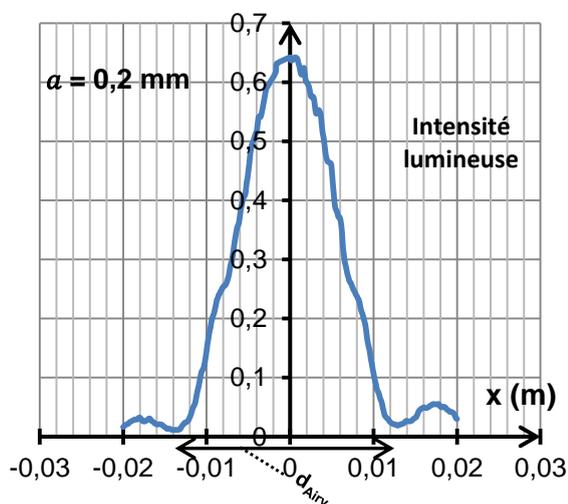


Figure 1 : Expérience de diffraction

**Document 1** : Figures de diffraction : intensité lumineuse obtenue pour des ouvertures circulaires de diamètres 0,2 mm et 0,4 mm.



- 1.1. Décrire le phénomène de diffraction. Dans quelle condition ce phénomène est-il observable ?
- 1.2. Quel caractère de la lumière est mis en évidence par l'apparition d'une figure de diffraction ?
- 1.3. À partir des résultats expérimentaux, déterminer la valeur du diamètre  $d_{Airy}$  de chaque tache observée pour les deux ouvertures. Comment évolue le diamètre de la tache quand l'ouverture du télescope augmente ?

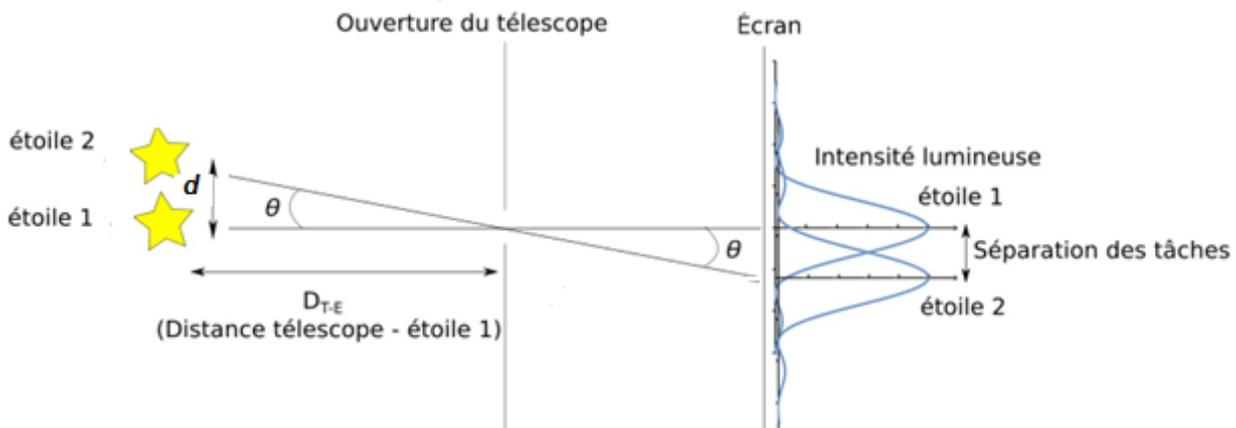
La qualité d'un télescope est caractérisée par son pouvoir de résolution ; c'est-à-dire sa capacité à séparer deux objets très proches comme une étoile double par exemple (images ci-dessous).



Source : <http://www.podcastscience.fm>

L'observation, par un télescope des deux étoiles, d'une étoile double, séparées d'un angle  $\theta$ , donne deux taches circulaires sur l'écran si l'angle  $\theta$  sous lequel elle sont vues, est supérieur à une valeur limite  $\theta_{min} = 1,22 \frac{\lambda}{a}$ .

**Document 2** : Séparation des images des deux étoiles constituant une étoile double



Dans la suite de l'exercice, les objets observés étant très éloignés, l'angle  $\theta$  est petit et on peut écrire :  $\tan \theta \approx \theta$  avec  $\theta$  en radian.

**Données :**

- la distance Terre-Lune est égale à  $D_{T-L} = 3,8 \times 10^8$  m ;
- la vision humaine a une sensibilité maximale, en vision diurne, pour un rayonnement de longueur d'onde voisine de 560 nm.

- 1.4. On considère deux objets placés sur la Lune à une distance  $d$  l'un de l'autre. Déterminer la valeur minimale de la distance  $d$  pour que les deux objets puissent être séparés par :
  - un télescope terrestre de diamètre 4,0 m ;
  - un télescope du VLT?
- 1.5. Au vu des résultats obtenus, justifier les choix des scientifiques en termes de matériel et de leur implantation.

## PARTIE 2 : Entretien des miroirs du VLT

Sean Riley, journaliste pour l'émission Superstructures SOS, suit une équipe internationale d'ingénieurs et astronomes, pour changer le miroir géant d'un des quatre télescopes du VLT. L'ennemi « numéro un » est la poussière et nettoyer la surface du miroir se fait avec une machine spéciale comme un « gros lave-vaisselle ».

Le miroir de 50 m<sup>2</sup> de surface est débarrassé de sa couche d'aluminium de 80 nanomètres d'épaisseur avec de l'eau, de l'acide et du sulfate de cuivre. L'opération consomme environ 3 000 litres d'eau.

Il est ensuite recouvert d'une nouvelle fine couche d'aluminium identique à la précédente.

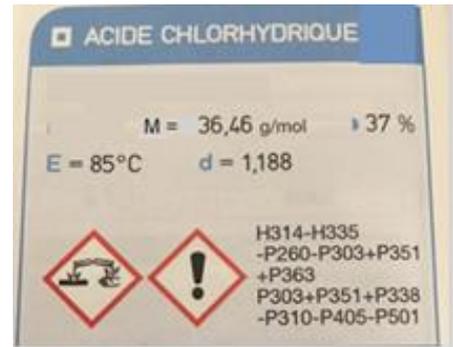
*D'après l'émission France 5 Superstructures SOS - Le miroir des étoiles*

### Données :

- couples oxydant/réducteur :  $\text{H}_3\text{O}_{(\text{aq})}^+/\text{H}_{2(\text{g})}$  et  $\text{Al}_{(\text{aq})}^{3+}/\text{Al}_{(\text{s})}$  ;
- masse volumique de l'aluminium :  $\rho_{\text{Al}} = 2,7 \times 10^6 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$  ;
- masse molaire atomique :  $M(\text{Al}) = 27 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  ;
- acide chlorhydrique ( $\text{H}_3\text{O}_{(\text{aq})}^+ + \text{Cl}_{(\text{aq})}^-$ ).

37 % est le pourcentage massique de l'acide chlorhydrique ; dans 100 g de solution, il y a 37 g d'acide chlorhydrique.

Étiquette du flacon d'acide chlorhydrique utilisé



### 2.1. Première étape : élimination de la couche d'aluminium

La procédure indique que, pour éliminer l'ancienne couche d'aluminium, on traite le miroir avec une solution d'acide chlorhydrique et de sulfate de cuivre. On fait l'hypothèse que seul l'acide chlorhydrique, attaque l'aluminium.

L'action de l'acide chlorhydrique sur l'aluminium peut être modélisée par l'équation suivante :



- 2.1.1 À partir des demi-équations électroniques des couples oxydant/réducteur, retrouver l'équation de la réaction entre l'aluminium et les ions oxonium de la solution d'acide chlorhydrique.
- 2.1.2 De quel type de réaction s'agit-il ? Quel est le rôle de l'aluminium et celui des ions oxonium ? Justifier.
- 2.1.3 Quel est le volume d'aluminium  $V_{\text{Al}}$  déposé sur le miroir ? Vérifier que la quantité de matière d'aluminium présente dans cette couche est égale à  $n_{\text{Al}} = 0,40 \text{ mol}$ .
- 2.1.4 Déterminer la quantité de matière d'ions oxonium  $\text{H}_3\text{O}^+$  nécessaire à l'élimination de la couche d'aluminium.
- 2.1.5 Montrer que la concentration molaire  $C_a$  de la solution d'acide chlorhydrique à 37 % est de l'ordre de  $12 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ .
- 2.1.6 La solution d'acide chlorhydrique précédente étant trop concentrée, on souhaite préparer une solution  $S_1$  cent fois moins concentrée. Proposer un protocole expérimental pour préparer 1,00 L de la solution diluée.
- 2.1.7 Quel volume  $V_1$  de la solution  $S_1$  d'acide chlorhydrique est nécessaire pour éliminer la couche d'aluminium ?

## 2.2. Deuxième étape : Dépôt d'une nouvelle couche d'aluminium

Après l'élimination de l'ancienne couche d'aluminium des miroirs des télescopes du VLT, il est nécessaire d'en déposer une nouvelle. L'objectif de cette partie est d'étudier la technique utilisée : la pulvérisation cathodique.

Principe de la pulvérisation cathodique

L'application d'une tension électrique permet la création d'un plasma d'argon (état de la matière constituée de particules neutres et chargées) : un électron d'une couche externe de l'atome d'Argon Ar peut être arraché lors d'une collision entre un atome d'argon et un électron incident. Ce mécanisme est modélisé par :



Sous l'effet du champ électrique, les ions positifs  $\text{Ar}^+$  du plasma se trouvent attirés par la cathode en aluminium et entrent en collision avec cette dernière, ce qui provoque la pulvérisation des atomes d'aluminium qui vient se déposer sur le miroir.

**Données :**

- 1 eV correspond à  $1,60 \times 10^{-19}$  J ;
- constante de Planck :  $h = 6,63 \times 10^{-34}$  J.s ;
- masse de l'électron :  $m = 9,11 \times 10^{-31}$  kg ;
- énergie d'ionisation de l'atome d'argon :  $E_i = 15,8$  eV.

2.2.1 L'énergie nécessaire à l'ionisation de l'atome d'argon est apportée par l'énergie cinétique de l'électron incident. Déterminer la vitesse de l'électron incident. Commenter l'ordre de grandeur obtenu.

2.2.2 Si l'énergie transférée par l'électron incident, lors de la collision, n'est pas suffisante pour l'ionisation, un électron de la couche externe de l'atome d'argon peut passer à un niveau excité. Dans le cas d'un transfert d'énergie de 11,6 eV, faire un schéma énergétique et indiquer par une flèche la transition se produisant. Quelle est la nature du rayonnement (IR, visible, UV) émis par l'électron quand il revient à son état fondamental ?

### EXERCICE II - MÉCANIQUE AVEC LE PROFESSEUR WALTER H.G.LEWIN (6 points)

Un cours avec Walter H.G. Lewin ressemble à un spectacle vivant. Personne ne sait véritablement à quoi s'attendre. Le professeur met en scène les expériences. Il y a du suspense... et du risque. Ainsi, il lâche une boule très lourde suspendue à une corde, et reste immobile. Par effet de balancier, elle revient à vive allure, se rapproche dangereusement de son visage, et stoppe alors même qu'on était persuadé qu'il se broierait le nez.

*D'après le site THOT CURSUS (Formation et culture numérique)*

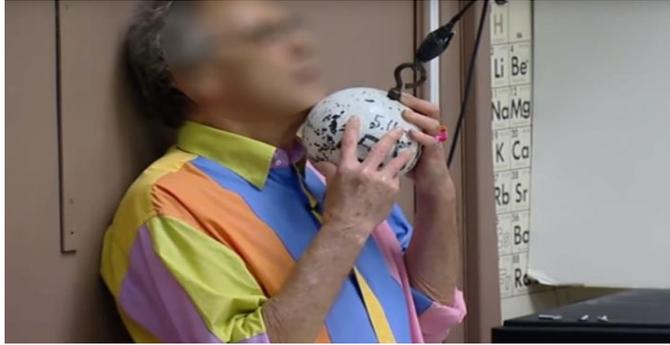
Cet exercice utilise des extraits de vidéos afin d'exploiter les expériences réalisées par le professeur Walter H.G.Lewin.

Le professeur utilise un pendule simple constitué d'un câble inextensible de masse négligeable, auquel est reliée une boule d'acier pleine et homogène de masse 15 kg et de diamètre 13 cm. Le pendule est accroché au plafond de l'amphithéâtre ; la longueur  $L$  entre le plafond et le centre G de la boule est de 5,21 m.

**Donnée** : valeur de l'intensité du champ de pesanteur terrestre  $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$

### 1. Première expérience.

Dans une première expérience, le professeur Walter H.G.Lewin amène la boule contre son menton (photo ci-contre).



Après avoir lâché la boule sans vitesse initiale, à partir d'un angle de  $41^\circ$  par rapport à la verticale, celle-ci fait un aller et retour et s'approche du menton de Walter H.G.Lewin, sans toutefois le toucher.



La capture d'écran a été réalisée au moment où la boule était dans la position la plus haute (avec une vitesse nulle) après avoir fait un aller-retour.

Le cercle en pointillés représente la position de la boule au moment du lâcher.

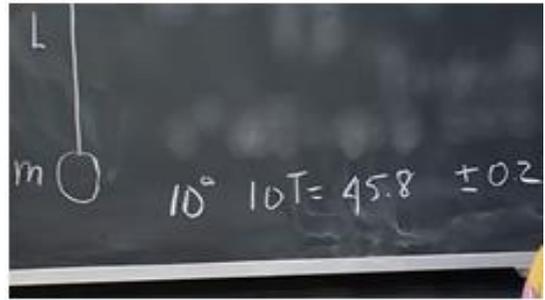
- 1.1. Compléter le schéma, **en annexe à rendre avec la copie**, en y reportant les mesures connues de la situation initiale au moment du lâcher. En déduire, par un calcul, l'altitude initiale du centre G de la boule en prenant comme origine celle proposée sur le schéma (ce schéma n'est pas à l'échelle).
- 1.2. Faire l'inventaire des forces qui s'exercent sur la boule, et les représenter, sans souci d'échelle sur le schéma en **annexe à rendre avec la copie**. On néglige toutes les forces exercées par l'air.
- 1.3. Par convention, on pose que l'énergie potentielle de la boule au point O est nulle. Montrer que l'énergie mécanique initiale de la boule est de  $1,9 \times 10^2 \text{ J}$ .
- 1.4. Quelle est la position du centre G de la boule correspondant à la vitesse maximale de la boule ?
- 1.5. Calculer la vitesse maximale, exprimée en  $\text{km.h}^{-1}$ , atteinte par la boule au cours de cet aller-retour sans frottements.
- 1.6. En quoi la photographie du document 1 contredit-elle l'hypothèse formulée à la question 1.2. ?

### 2. Deuxième expérience.

Dans une deuxième expérience, le professeur Walter H.G. Lewin réalise deux mesures avec ce même pendule.

- 2.1. **Première mesure** : Il écarte le pendule d'un angle de  $10^\circ$  par rapport à la verticale. Il déclenche un chronomètre au moment où il lâche la boule sans vitesse initiale. Il compte avec ses étudiants le nombre de fois où la boule revient quasiment à sa position initiale. À la dixième fois, il arrête le chronomètre qui affiche alors la valeur :  $45,81 \text{ s}$ . Le chronomètre donne un résultat avec une incertitude de  $\pm 0,2 \text{ s}$ .

Puis il note au tableau l'indication :  $10 T = 45,8 \pm 0,2 \text{ s}$ .



2.1.1 En utilisant les résultats inscrits au tableau, donner un encadrement de la valeur de la période de ce pendule simple.

2.1.2 Commenter la méthode de mesure utilisée par le professeur.

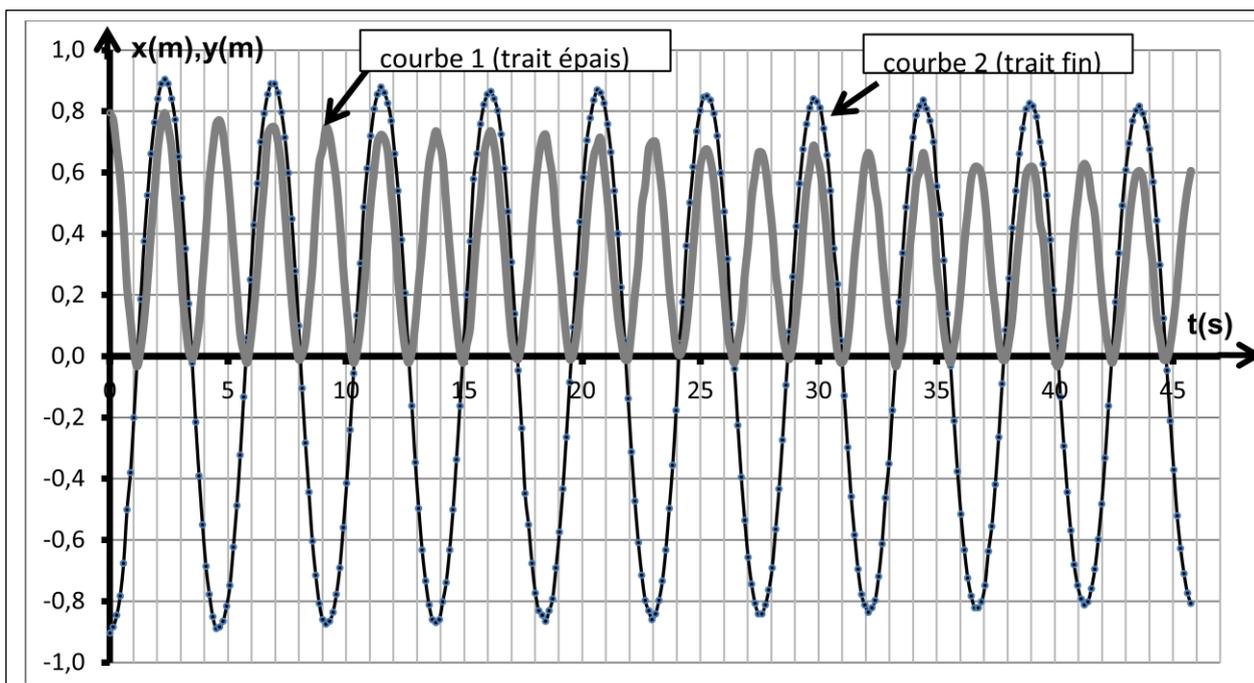
## 2.2. Deuxième mesure :

Le professeur s'assied ensuite sur la boule (photo ci-contre), et précise qu'il doit se mettre en position allongée pour ne pas fausser la démonstration. Puis, de la même manière, il s'écarte afin que le câble fasse un angle de  $10^\circ$  par rapport à la verticale. Il se laisse ensuite balancer avec la boule et il se filme.



La vidéo a ensuite été exploitée pour donner les courbes d'évolution temporelles représentées sur le document 2 ci-dessous.

### Document 2 : Exploitation de la vidéo



- 2.2.1. L'une des courbes représente  $x(t)$  et l'autre  $y(t)$  ; les axes  $Ox$  et  $Oy$  sont ceux définis sur le schéma de l'annexe, identifier les courbes correspondantes en commentant leur allure.
- 2.2.2. Déterminer la valeur de la période de ce pendule constitué du câble, de la boule et du professeur.
- 2.2.3. Par une analyse dimensionnelle, vérifier l'homogénéité de l'expression de la période  $T$  du pendule :  $T = k \sqrt{\frac{L}{g}}$  où  $k$  est une grandeur sans dimension.
- 2.2.4. Expliquer ce que le professeur a voulu démontrer dans cette expérience. Le résultat obtenu est-il concluant ?

### EXERCICE III - ENTRETIEN D'UNE PISCINE (5 POINTS)

À l'approche de l'été, et comme chaque année, la mairie d'une commune fait appel à un technicien chimiste pour analyser l'eau de la piscine municipale et établir un rapport.

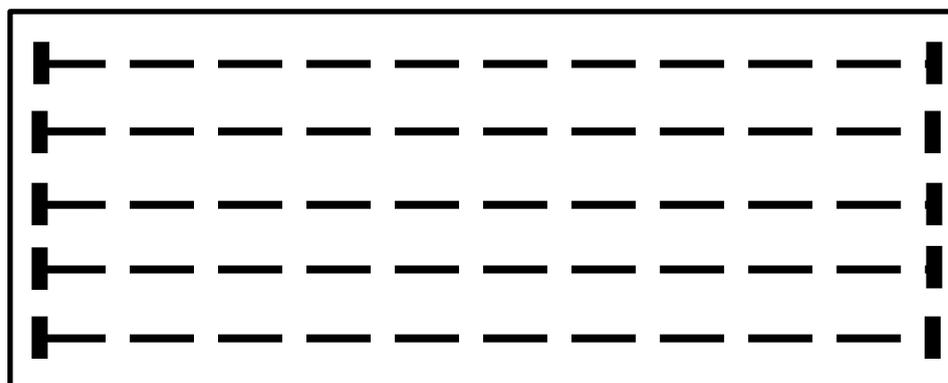


Votre travail consiste à rédiger ce rapport dans lequel vous présenterez le bilan des analyses de l'eau effectuées (pH, TAC, TH) et le traitement quantitatif à conduire pour rendre l'eau adaptée à la baignade.

*L'analyse des données ainsi que la démarche suivie dans votre rapport seront évaluées et nécessitent d'être correctement présentées. Les calculs numériques seront menés à leur terme avec rigueur.*

#### Données :

- description de la piscine : bassin de 25 m de longueur et de 2,5 m de profondeur d'eau ;
- schéma de la piscine à l'échelle 1/200 :



#### **Analyses et résultats de l'eau de la piscine effectués par le technicien chimiste :**

- La mesure du TAC a permis d'établir que, pour l'eau de la piscine, le TAC vaut 6,0°f ;
- 50 mL d'eau de piscine ont été titrés par une solution aqueuse d'EDTA de concentration molaire  $C_{\text{EDTA}} = 2,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ . L'équivalence a été atteinte pour un volume de solution d'EDTA versé de 5,0 mL ;
- le pH mesuré de l'eau de piscine vaut 8,0.

### Document 1 : Mesure du TAC, titre alcalimétrique complet

L'eau est rendue basique principalement par la présence des ions carbonate  $\text{CO}_3^{2-}$  et des ions hydrogencarbonate  $\text{HCO}_3^-$ .

Un synonyme de « basique » est « alcalin » : lorsqu'on détermine la concentration d'une eau en ions à caractère basique, on dit que l'on détermine son alcalinité.

Si on dose seulement les ions carbonate (les plus basiques), on obtient le « titre alcalimétrique » de l'eau, noté TA.

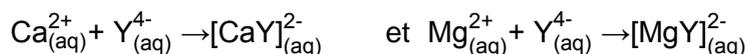
Si on dose les ions hydrogencarbonate et les ions carbonate présents dans l'eau, on obtient le « titre alcalimétrique complet », noté TAC. Le TAC est le volume (exprimé en mL) d'acide chlorhydrique de concentration molaire  $0,020 \text{ mol.L}^{-1}$  nécessaire pour neutraliser 100 mL d'eau analysée en présence de phénolphtaléine. L'unité du TAC est le degré français, noté °f.

### Document 2 : Mesure du titre hydrotimétrique, TH

Le titre hydrotimétrique est lié à la concentration totale en ions calcium  $\text{Ca}^{2+}$  et magnésium  $\text{Mg}^{2+}$ , il est exprimé en degré, par la relation suivante :

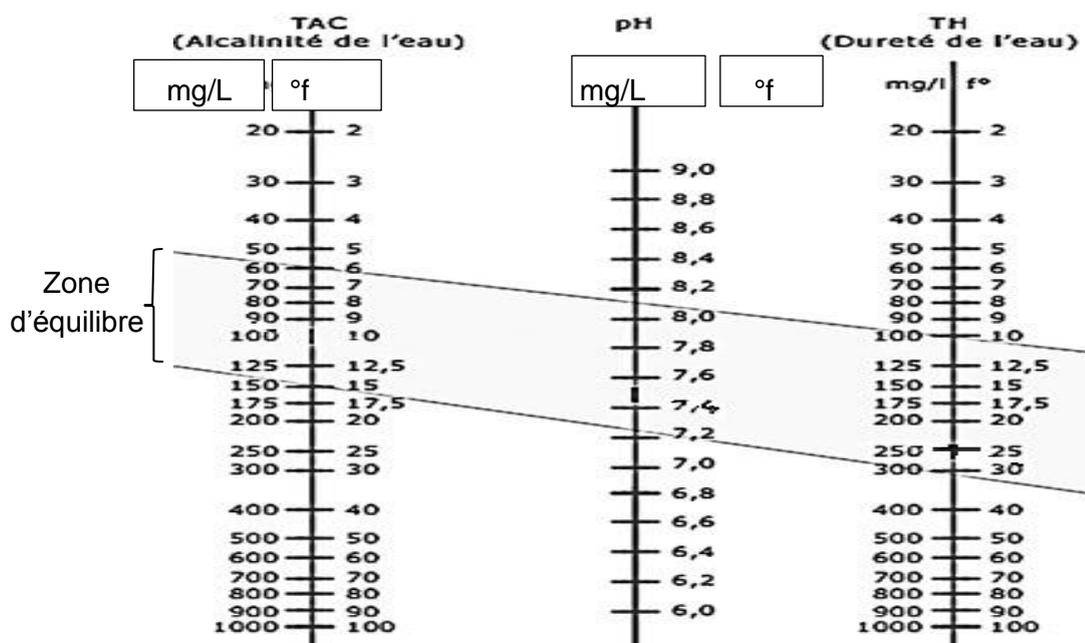
$$\text{TH}(\text{°f}) = \frac{[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]}{10^{-4}} \quad \text{avec les concentrations } [\text{Ca}^{2+}] \text{ et } [\text{Mg}^{2+}] \text{ exprimées en mol.L}^{-1}.$$

L'évaluation de la somme des concentrations est effectuée par titrage des ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  à l'aide de l'éthylène diamine tétracétate (EDTA), noté  $\text{Y}^{4-}$ , selon les équations chimiques :



### Document 3 : Échelle de Taylor

La mesure du TAC et celle du TH permettent d'avoir deux points, un sur chaque échelle. En traçant la droite qui relie ces deux points, on trouve le pH idéal de l'eau de piscine.



<http://www.acheter-piscine.com/entretien-piscine/analyse-piscine/la-balance-de-taylor.html>

#### Document 4 : Mesure du pH et variation du pH

Les correcteurs de pH, « pH plus » et « pH moins », s'utilisent différemment :

- Le « pH moins » (ou réducteur de pH ou pH minus) est introduit à la surface de l'eau, en insistant sur les zones profondes.

- Le « pH plus » (ou rehausseur de pH), après l'avoir dilué dans un seau d'eau, est plutôt introduit dans le skimmer (filtre d'aspiration de l'eau) afin d'éviter de troubler l'eau.

Le pH se rétablit progressivement et non brutalement par apport de doses élevées de correcteurs de pH. Il faut y aller doucement sinon on dérègle le pouvoir tampon de pH (le TAC). C'est pourquoi il est important de contrôler le pH toutes les semaines, voire chaque jour en période chaude. L'ajout doit se faire par doses espacées de 1 à 2 heures.

En cas de pH très élevé (au-dessus de 8,2) ou de pH très bas (en dessous de 6,8), procédez à la correction du pH en plusieurs jours.

#### Méthode d'utilisation : Combien mettre du correcteur « pH moins » ou « pH plus » dans une piscine ?

La quantité de correcteur de pH à mettre dans une piscine est variable en fonction du pH existant.

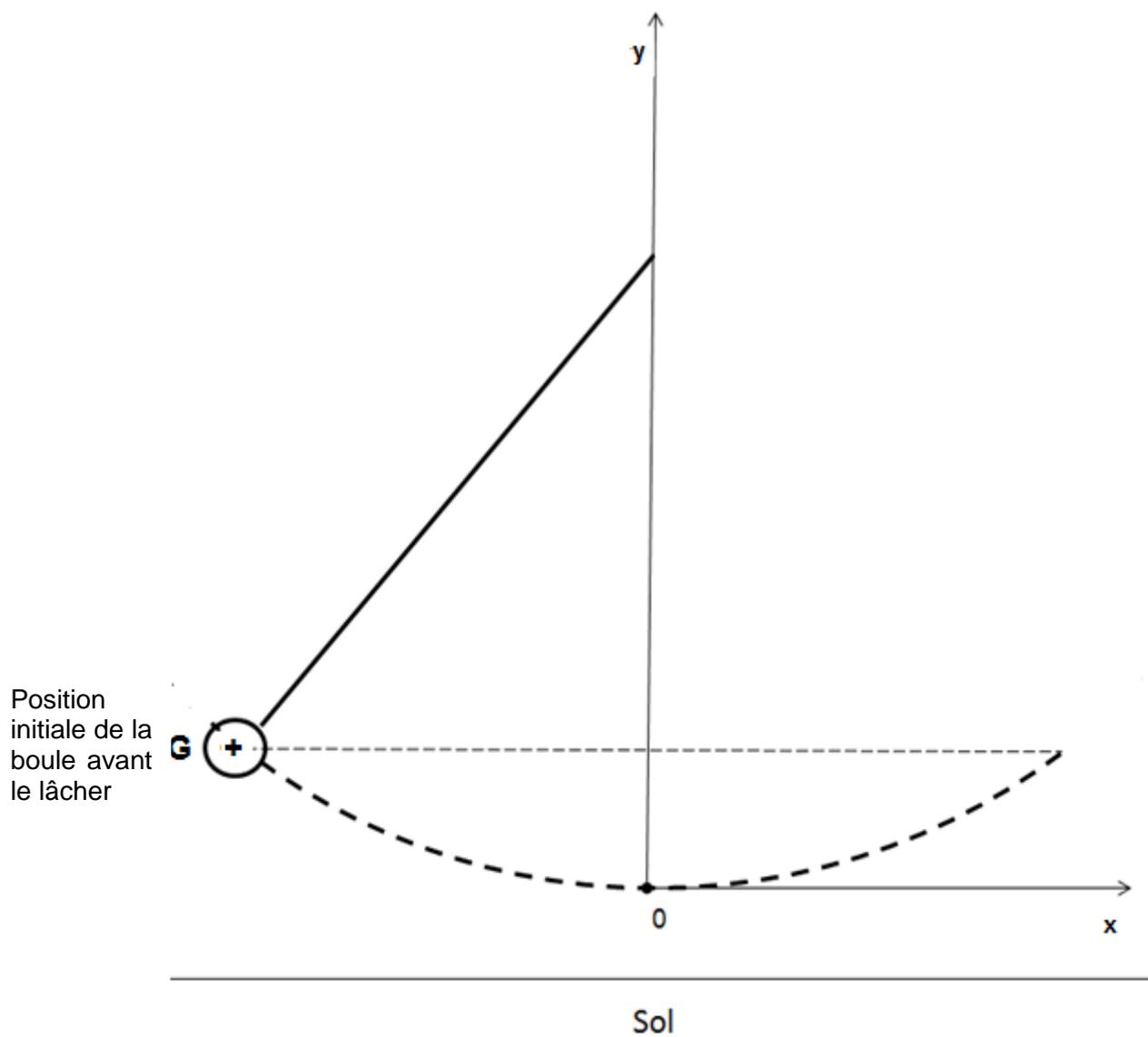
#### Quantité de « pH moins » à verser dans la piscine (en g/m<sup>3</sup>, grammes par mètre cube d'eau) :

pH souhaité (pH idéal)	pH mesuré (Votre pH actuel)										
	8,2	8,1	8,0	7,9	7,8	7,7	7,6	7,5	7,4	7,3	7,2
7,8	9,0	7,0	4,0	2,0							
7,7	11	9,0	6,0	4,0	2,0						
7,6	14	12	9,0	7,0	5,0	3,0					
7,5	17	15	12	10	8,0	6,0	3,0				
7,4	22	20	17	15	13	11	8,0	5,0			
7,3	31	29	26	24	22	20	17	14	9,0		
7,2	45	43	40	38	36	34	31	28	23	14	
7,0	70	67	64	62	60	58	55	52	47	37	30

**Règle pour un produit courant « pH plus » :** 20 grammes de produit « pH-plus » par m<sup>3</sup> pour augmenter le pH de 0,1 unité.

Extrait de <http://www.piscine-clic.com>





Le schéma n'est pas à l'échelle.

