

CONCOURS GÉNÉRAL DES LYCÉES

—

SESSION 2021

—

SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES EN LABORATOIRE

(Classes de terminale série STL)

EPREUVE D'ADMISSIBILITE

Durée : 5 heures

—

*L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
L'usage de la calculatrice sans mémoire « type collègue » est autorisé.*

Consignes aux candidats

- Ne pas utiliser d'encre claire
- N'utiliser ni colle, ni agrafe
- Numéroté chaque page en bas à droite (numéro de page / nombre total de pages)
- Sur chaque copie, renseigner l'en-tête + l'identification du concours :

Concours / Examen : CGL

Epreuve : 101

Matière : SPCL

Session : 2021

CONCOURS GÉNÉRAL DES LYCÉES

SESSION 2021

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LABORATOIRE SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES EN LABORATOIRE

Durée : 5 heures

Si au cours de l'épreuve un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale dans sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre pour cela.

Le sujet comporte trois parties présentées sur 22 pages, y compris celle-ci. **Les candidats doivent rédiger chacune de ces trois parties sur des feuilles différentes.**

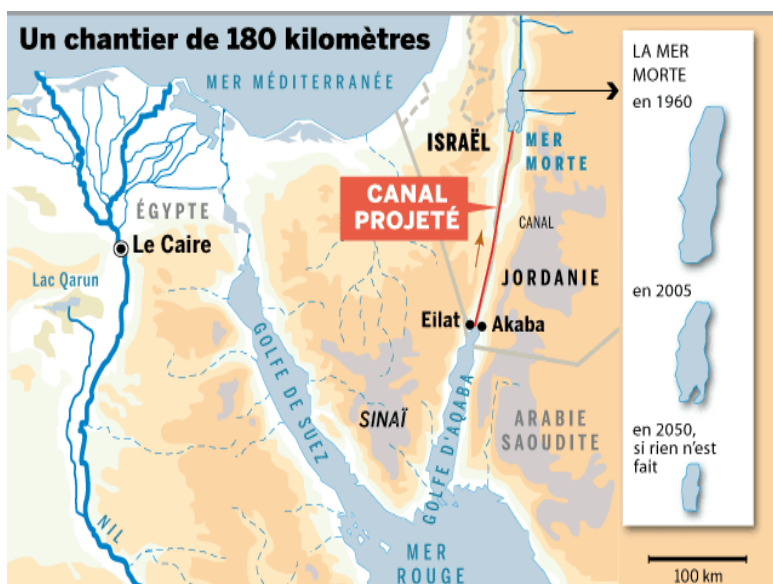
Il est souhaitable qu'un futur lauréat du concours général montre sa maîtrise dans les différents domaines de la chimie et de la physique. Il lui est donc fortement conseillé d'aborder toutes les parties.

Thème général : Mer Morte en danger

Aux confins d'Israël, de la Jordanie et de la Cisjordanie, la Mer Morte voit son niveau baisser dangereusement. En cause, les exploitations intensives de chlorure de potassium, qui accélèrent son évaporation, mais surtout la diminution du débit du fleuve Jourdain.

Si rien n'est fait, la mer la plus salée au monde disparaîtra d'ici à 2050.

Pour sauver la mer Morte de son assèchement, la Jordanie et Israël se sont entendues sur un projet consistant à pomper l'eau de la mer Rouge pour la reverser dans la mer Morte, via un pipeline ainsi surnommé « le canal de la paix ».



A.	Caractéristiques physiques de la mer Morte	3
B.	Exploitation des eaux de la mer Morte	8
	B.1. Sels minéraux de la mer Morte	8
	B.2. Industrie du brome	9
	B.3. Industrie du potassium	14
C.	Le canal de la paix	17
	C.1. Analyse du projet	17
	C.2. Installation d'une centrale hydroélectrique	19

A. Caractéristiques physiques de la mer Morte

Située au Proche-Orient, la mer Morte est un lac d'eau salée alimenté par le fleuve Jourdain. Sa teneur en sels minéraux est particulièrement élevée, elle contient en moyenne 275 grammes de sels dissous dans un litre d'eau contre 35 grammes pour la mer méditerranée. Le chlorure de magnésium et le chlorure de sodium sont les principales espèces chimiques composant cette solution, ce qui lui confère de grandes propriétés thérapeutiques en plus de celle liée à la flottabilité des corps, attirant ainsi chaque année des milliers de visiteurs.



Élève se baignant dans les eaux de la mer morte

Données :

- Valeur du champ de pesanteur : $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$
- Volume d'une sphère de rayon r : $V_S = \frac{4}{3}\pi r^3$
- Volume d'un cylindre de hauteur h de rayon r : $V_C = \pi r^2 h$

De retour de ses vacances du Moyen-Orient, un élève de terminale a ramené un échantillon d'eau de la mer Morte et souhaite vérifier les caractéristiques de celle-ci.

Il dispose pour cela sur sa paillasse :

- d'une balance de précision affichant une valeur à 0,1 g ;
- d'une éprouvette de 100 mL graduée à 1 mL ;
- d'un bécher.

1. Proposer un protocole expérimental simple lui permettant de déterminer la masse volumique ρ_M de l'échantillon d'eau de la mer Morte.

2. Parmi les résultats obtenus suivants, indiquer celui que l'élève doit conserver :

$\rho_M = 1,211 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$	$\rho_M = 1,21 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$	$\rho_M = 1,2 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$	$\rho_M = 1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$
---	--	---	---

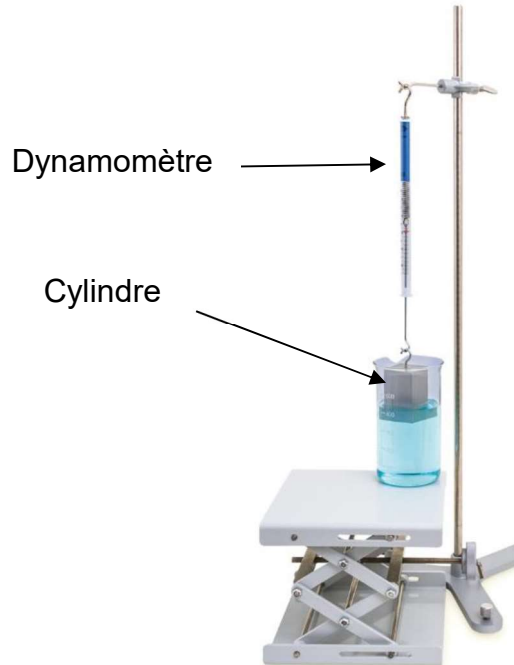
L'élève souhaite maintenant comprendre la raison de la flottaison sur les eaux de la mer Morte sans avoir le moindre effort à faire.

Il dispose pour cela des éléments suivants :

- un poids ayant la forme d'un cylindre plein, de densité supérieure à celle de l'eau et de volume inconnu ;
- un pied à coulisse permettant la mesure précise de longueurs ;
- un dynamomètre gradué à 10^{-2} N ainsi que sa potence ;
- une éprouvette de 100 mL qui peut contenir le cylindre précédent ;
- une balance affichant une valeur à 0,1 g ;
- de l'eau de la mer Morte.

3. Proposer deux protocoles différents permettant de mesurer avec précision le volume du cylindre à l'aide du matériel présent. Soit $V_C = 10 \text{ mL}$ le volume du cylindre ainsi obtenu.

Afin de déterminer la valeur de la poussée d'Archimède qui s'exerce sur lui lors des baignades, l'élève propose de réaliser le montage ci-dessous :



Montage de mesure de la poussée d'Archimède

Source : Physique chimie académie de Créteil

4. Expliquer comment un tel montage permet de mesurer la valeur de la poussée d'Archimède s'exerçant sur le cylindre. Préciser notamment le protocole expérimental correspondant et représenter sur un schéma les forces exercées sur le cylindre.

Le dynamomètre affiche alors les valeurs suivantes :

- 0,67 N si le cylindre est hors de l'eau ;
- 0,55 N lorsque le cylindre est totalement immergé dans l'eau.

5. En déduire la valeur de la norme P_A de la poussée d'Archimède s'exerçant sur le cylindre lorsque le cylindre est totalement immergé dans l'eau de la mer Morte.

Une seconde mesure est réalisée pour le cylindre à moitié immergé.

6. Parmi les formules suivantes, indiquer, en justifiant votre réponse, l'expression correspondant à la poussée d'Archimède exercée sur un corps de volume immergé V_i dans un fluide de masse volumique ρ :

$\rho V_i g$	$2 \frac{\rho}{V_i} g$	$\frac{1}{2} \frac{V_i^2}{\rho} g$	$\rho \left(\frac{V_i}{2} \right)^2 g$
--------------	------------------------	------------------------------------	---

7. Déterminer la valeur lue sur le dynamomètre pour le cylindre à moitié immergé dans l'eau de la mer morte.

8. En modélisant le corps de l'élève par un cylindre dont vous estimerez un ordre de grandeur du rayon et de la hauteur, évaluer d'après la **photo 1** le volume immergé de l'élève dans les eaux de la mer Morte.
9. En déduire la valeur de la poussée d'Archimède qui s'exerçait sur lui lors de ses baignades (on pourra prendre la valeur de ρ_M de la **question 2**).
10. Comparer au poids estimé de l'élève et commenter.

Afin de mesurer plus précisément la masse volumique de son échantillon d'eau de la mer Morte, l'élève se propose d'exploiter la chute d'une bille lâchée sans vitesse initiale dans une éprouvette graduée remplie de cette eau.

Avant de réaliser l'expérience avec l'eau de la mer Morte, afin de valider son modèle, il décide d'étudier le modèle sur la chute d'une bille métallique dans de la glycérine à partir d'une vidéo disponible sur internet. Les données de cette expérience sont les suivantes :

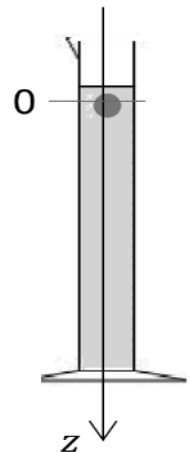
- Rayon de la bille 5,0 mm.
- Masse volumique de la bille $7560 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.
- Éprouvette de 500 mL, ou l'on peut lire la graduation 242 mm entre 50 mL et 500 mL.
- Période entre deux images : $1/50 \text{ s}$.

La position du centre de gravité de la bille est repérée par son abscisse $z(t)$ sur l'axe (Oz) vertical descendant (voir schéma ci-contre). La chute de la bille sera supposée suffisamment lente pour que l'action de l'eau sur la bille soit modélisée par une force de frottement visqueux $\vec{F} = -6\pi r\eta\vec{v}$ avec :

- \vec{v} la vitesse de la bille ;
- r le rayon de la bille ;
- η la viscosité dynamique du fluide dans lequel se déplace la bille.

On notera :

- ρ_B la masse volumique de la bille ;
- ρ_0 la masse volumique de la glycérine.



11. Faire un bilan des forces extérieures exercées sur la bille. L'expression vectorielle de chaque force sera donnée.
12. Montrer que l'équation différentielle vérifiée par la vitesse de la bille au cours de sa chute s'écrit :

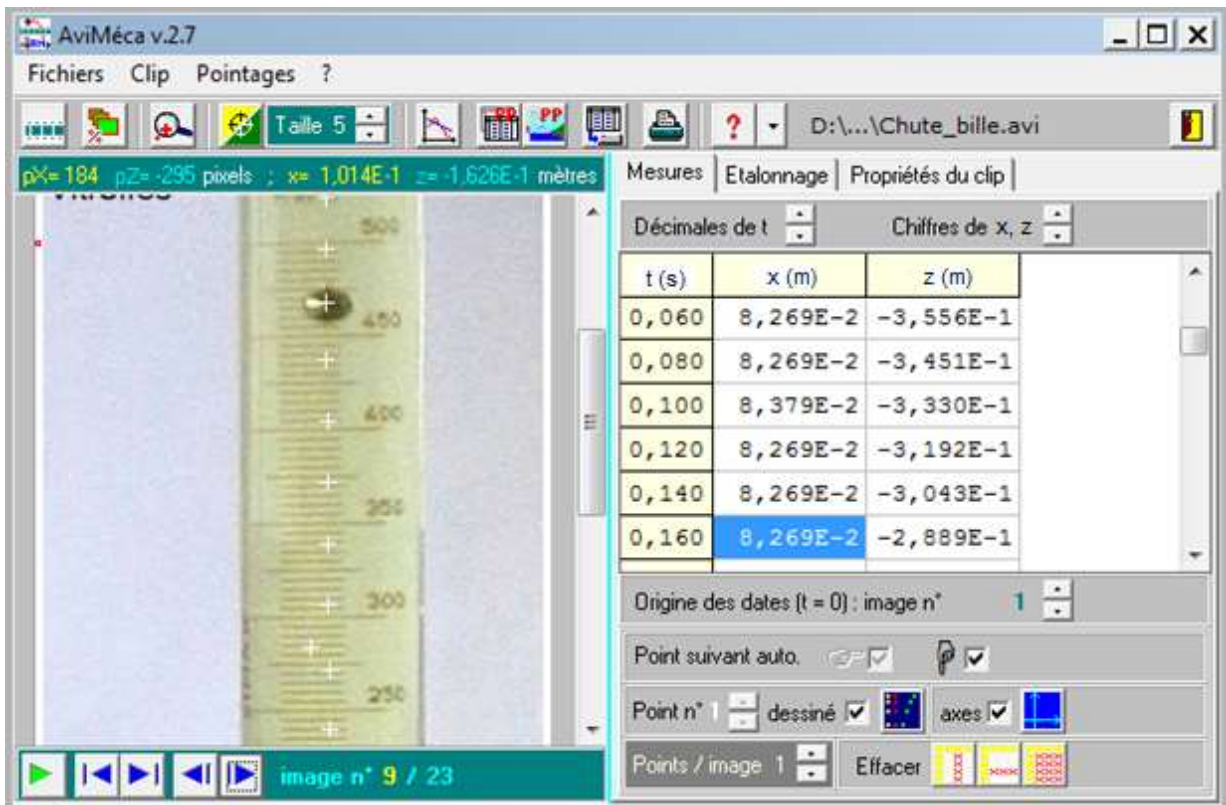
$$\frac{dv}{dt} + \frac{v}{\tau} = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho_B}\right)g$$

où on donnera l'expression de τ en fonction de ρ_B , r et η .

13. Donner l'unité de τ et sa signification physique.
14. Déterminer l'expression de la vitesse en régime permanent v_{perm} en fonction de ρ_B , ρ_0 , g et τ .

Le pointage du centre de la bille avec un logiciel de traitement de chronophotographie permet d'obtenir un fichier texte dans lequel, pour chaque ligne, est noté : le temps (en s), la coordonnée de l'abscisse horizontale et verticale (en m).

Une copie d'écran du logiciel de pointage de la chute libre de la bille dans la glycérine est donnée ci-dessous.



Un programme en langage Python permet d'exploiter ce fichier afin de calculer la vitesse de la bille et de tracer la courbe de la vitesse en fonction du temps (programme complet et description de quelques instructions en annexe 1).

Dans le programme utilisé :

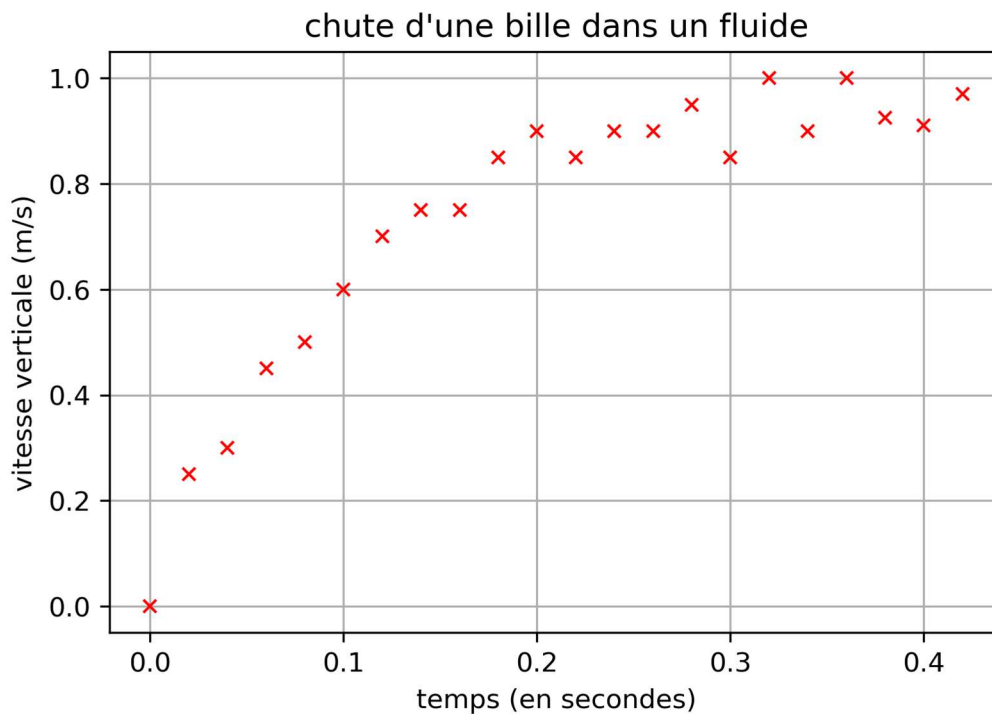
- la variable t est une liste contenant l'ensemble des valeurs de temps ;
- la variable z est une liste contenant l'ensemble des valeurs de position selon l'axe vertical.

```

40 # calculer la vitesse:
41
42 vitesse = [(vitesse[i-1]+z[i])*(t[i] - t[i-1]) for i in range(1,L)]
43 vitesse = [(z[i])/t[i] for i in range(L-1)]
44 vitesse = [(z[i] - z[i-1])/(t[i] - t[i-1]) for i in range(1,L)]
45 vitesse = [(z[i + 1] - z[i])/(t[i+1] - t[i]) for i in range(L-1)]
  
```

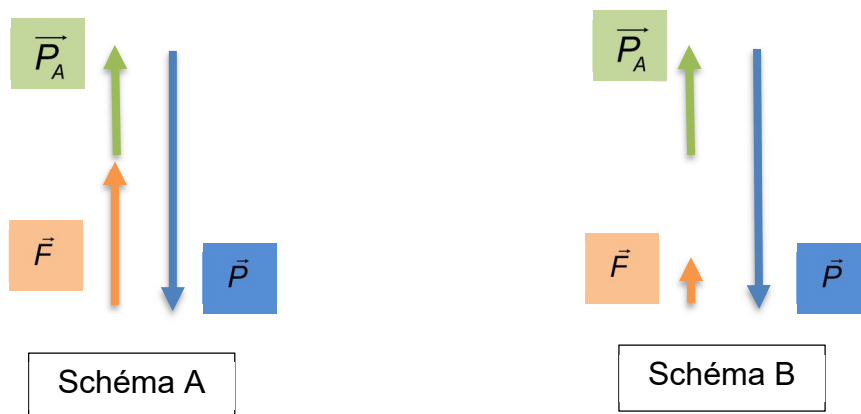
15. Parmi ces quatre lignes de calcul (42 à 45) préciser, en argumentant la réponse, celle(s) qui permet(tent) de calculer la vitesse.

La courbe de la vitesse alors obtenue par le programme est tracée ci-dessous.



Évolution de la vitesse (en m·s⁻¹) en fonction du temps (en s) pour la chute libre de la bille dans la glycérine

16. Ce graphique peut être décomposé en deux phases. Qualifier chacune d'elles.
17. Associer à chacune de ces phases le schéma A ou B sur lesquels sont représentés les vecteurs des forces mises en jeu (les points d'application ne sont pas représentés).



18. Déterminer graphiquement la valeur de v_{perm} et de τ .
19. Déterminer la valeur numérique de la masse volumique de la glycérine obtenue par cette méthode.
20. Sachant que la valeur de la masse volumique de la glycérine, trouvée dans des tables de données, vaut $1,26 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ à 25°C , conclure sur la pertinence de cette méthode.

B. Exploitation des eaux de la mer Morte

B.1. Sels minéraux de la mer Morte

L'eau de la mer Morte a une salinité environ 8 fois supérieure à celles des autres mers ce qui conduit à son exploitation intensive par l'industrie chimique comme matière première de sels dissous. L'industrie produit notamment du chlorure de potassium, du dibrome ou du magnésium.

Données

- Masses molaires atomiques en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$:
 $M(\text{Br}) = 79,9$; $M(\text{K}) = 39,1$; $M(\text{I}) = 126,9$;
- Potentiels standard d'oxydo-réduction (V/ESH) à 25°C :
 $E^\circ(\text{I}_2(\text{aq})/\text{I}^-(\text{aq})) = 0,54 \text{ V}$; $E^\circ(\text{S}_4\text{O}_6^{2-}(\text{aq})/\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})) = 0,09 \text{ V}$;
- constante des gaz parfaits : $R = 8,314 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- constante de Faraday : $F = 96500 \text{ C}\cdot\text{mol}^{-1}$

Les concentrations en masse moyennes, en $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, de différents ions présents en surface dans différentes eaux de mer sont données dans le tableau ci-dessous.

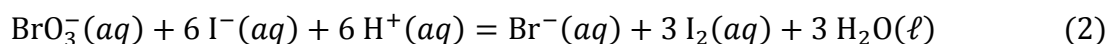
	mer Morte	autres mers
Na⁺	39	10,7
Mg²⁺	39,2	1,27
Ca²⁺	17	0,42
K⁺	7	0,4
Cl⁻	208	20
Br⁻	5	0,07

d'après *Bromine and bromine compounds from the Dead Sea*, Miri Kesner,
<http://www.weizmann.ac.il/sci-tea/Brombook/index.html>

21. Indiquer la raison qui a porté les ingénieurs à produire des matières premières telles que le chlorure de potassium, le dibrome ou le magnésium à partir des eaux de la mer Morte. Justifier la réponse.

Il est possible de déterminer la teneur en ion bromure d'une eau en présence d'un excès d'ion chlorure selon la méthode proposée par Kolthoff et Yutzy (I. M. Kolthoff and H. Yutzy *Industrial & Engineering Chemistry Analytical Edition* **1937** 9 (2), 75-76) :

- les ions bromure sont oxydés en ion bromate par un ajout d'hypochlorite de sodium, transformation modélisée par la réaction (1) représentée par l'équation (1), dont l'excès est éliminé par ajout de formiate de sodium:
$$3 \text{ClO}^-(\text{aq}) + \text{Br}^-(\text{aq}) = \text{BrO}_3^-(\text{aq}) + 3 \text{Cl}^-(\text{aq}) \quad (1)$$
- par acidification et ajout d'un excès d'iodure de potassium, les ions bromates sont réduits en bromure avec formation de diiode, modélisée par la réaction (2) représentée par l'équation (2) :



- le titrage du diiode formé par une solution de thiosulfate de sodium ($2\text{Na}^+(\text{aq}), \text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$), selon la réaction (3) support du titrage, permet de déterminer la concentration initiale en ion bromure.

22. Écrire l'équation de la réaction (3) support du titrage et justifier qu'il s'agit d'une réaction d'oxydoréduction.

23. Déterminer la constante d'équilibre à 25 °C de la réaction (3) et commenter.

24. Indiquer la méthode de détection de l'équivalence de ce titrage.

On dispose d'une eau de mer dont on cherche à déterminer la provenance. Pour cela nous allons déterminer la teneur en ion bromure selon la méthode proposée par Kolthoff et Yutzy. Le protocole opératoire mis en place est le suivant :

- Un échantillon de volume $V_0 = 25,0$ mL d'eau de mer est mélangé avec 1 g de dihydrogénophosphate de sodium NaH_2PO_4 (pour se placer en milieu tampon) et $V_1 = 5$ mL d'une solution d'hypochlorite de sodium de concentration $C_{\text{hypo}} = 1$ mol·L⁻¹.
- Le mélange est porté à ébullition et après ajout de formiate de sodium, on laisse bouillir pendant 15 minutes.
- Après refroidissement, on ajoute environ 150 mL d'eau distillée, une masse de 1,0 g d'iodure de potassium, 25 mL d'acide sulfurique à 3,0 mol·L⁻¹ et une goutte de molybdate d'ammonium (catalyseur).
- On titre alors par une solution de thiosulfate de sodium de concentration $C_{\text{thio}} = 0,010$ mol·L⁻¹. On obtient un volume équivalent $V_{\text{éq}} = 10,70 \pm 0,05$ mL.

25. Déterminer le type de verrerie à utiliser pour prélever le volume V_0 et le volume V_1 .

On note n_{Br} la quantité d'ions bromure contenue dans l'échantillon de volume V_0 d'eau de mer.

26. Montrer que : $n_{\text{Br}} = \frac{1}{6} \times C_{\text{thio}} \times V_{\text{éq}}$ et calculer sa valeur numérique.

27. Vérifier que les ions hypochlorite et les ions iodure ont été introduits en excès.

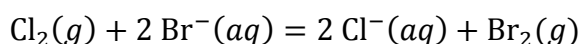
28. En déduire la concentration en masse en ion bromure de l'échantillon. Vous exprimerez ce résultat de mesure en tenant compte d'une incertitude-type associée à la concentration en masse mesurée de 0,003 g·L⁻¹. Conclure sur la probable provenance de cette eau.

B.2. Industrie du brome

La forte teneur en ion bromure de la mer Morte permet l'approvisionnement de l'Europe en produit bromé. Les usines de la mer Morte produisent 330 000 tonnes de dibrome par an et 70% de cette production est transformée sur place.

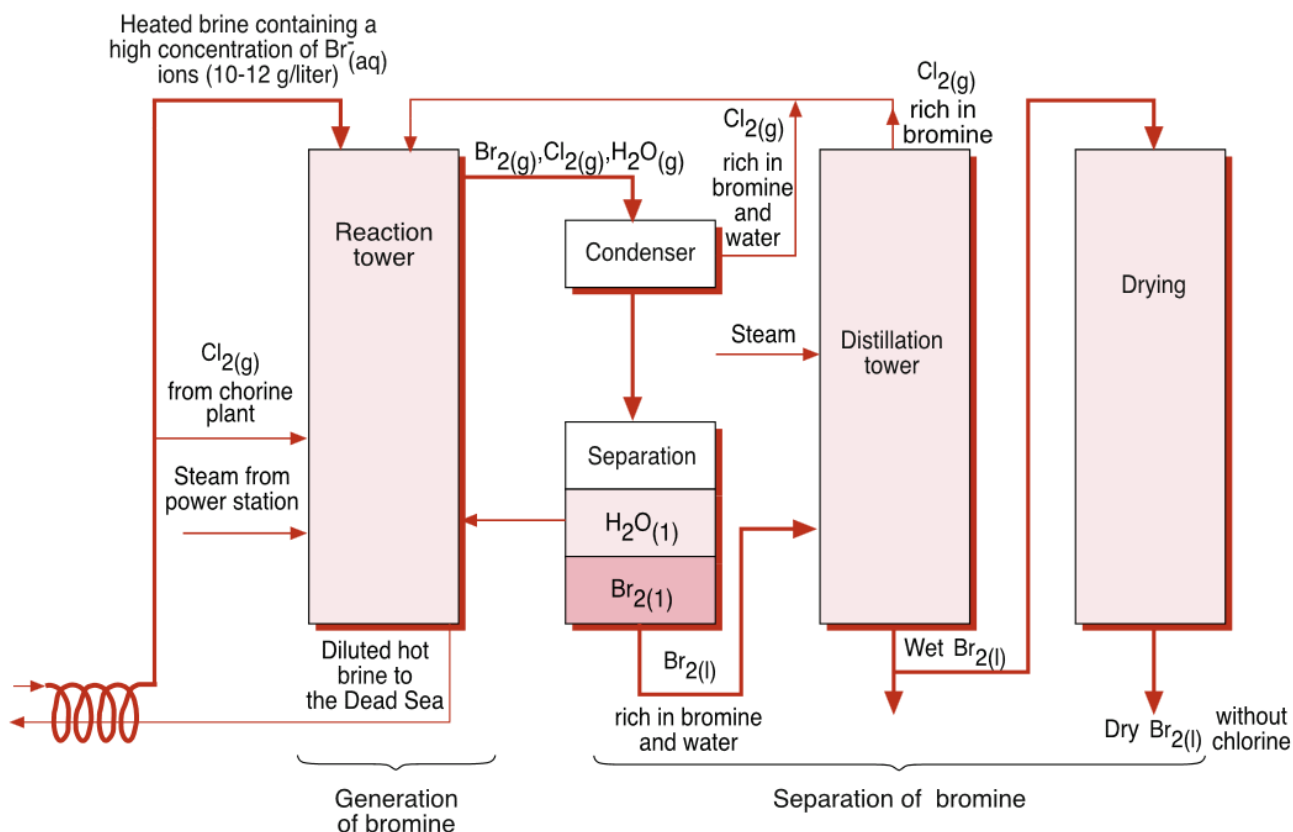
B.2.a. Synthèse du dibrome

Pour former du dibrome, la saumure (eau salée issue de la mer Morte) est chauffée à 100°C et on ajoute du dichlore gazeux pour oxyder les ions bromure selon l'équation :



La vapeur obtenue contenant du dibrome, du dichlore et de l'eau est refroidie dans un condenseur permettant d'obtenir du dibrome liquide. Ensuite, le mélange dibrome et eau est séparé par décantation. Le dibrome liquide, sortant du décanteur, contient des traces de dichlore et d'eau. Il est donc ensuite purifié par distillation puis séché dans une colonne de séchage.

Le schéma du procédé pour la synthèse du dibrome est le suivant :



Source : Bromine and bromine compounds from the Dead Sea, Miri Kesner

Données:

- Différentes températures d'ébullition sous 1 bar en °C :

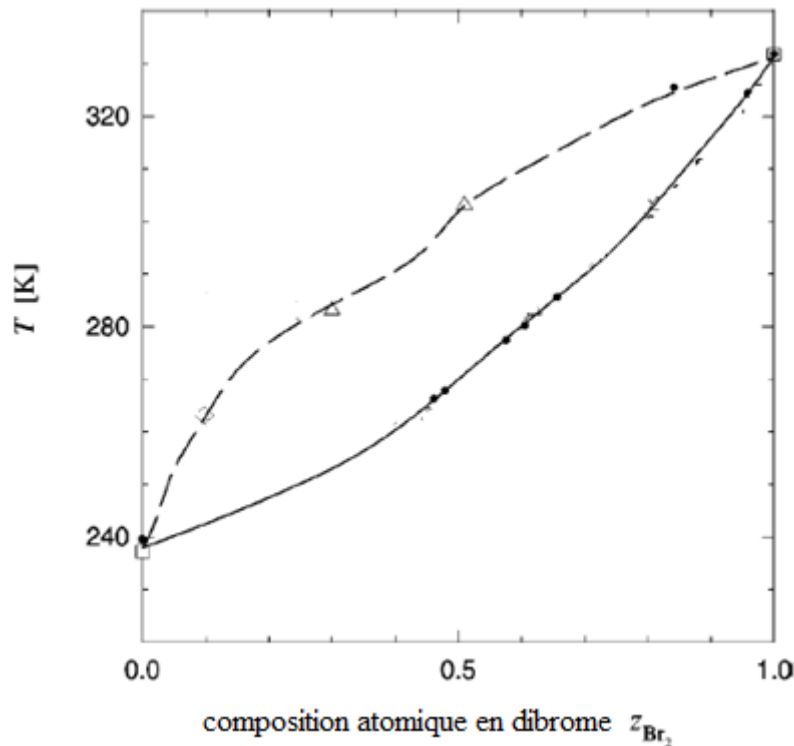
	Cl ₂	Br ₂	H ₂ O
T _{éb} / °C	- 34,6	58,8	100

29. Justifier qu'il est possible et simple de séparer le dichlore de l'eau et du dibrome dans ce condenseur.

30. Justifier que l'eau et le dibrome liquide sont peu miscibles ce qui permettra une bonne séparation dans le décanteur.

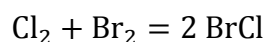
Le dibrome liquide sortant du décanteur, contient des traces de dichlore et d'eau. Il est dans un premier temps purifié par distillation pour éliminer le dichlore puis séché pour éliminer l'eau.

Le diagramme d'équilibre liquide-vapeur du mélange $\text{Cl}_2\text{-Br}_2$ à la pression atmosphérique est donné ci-dessous :



Source : Lísal, M., Nezbeda, I. et Smith, W. (1999). The reaction ensemble method for the computer simulation of chemical and phase equilibria. II. The $\text{Br}_2+\text{Cl}_2+\text{BrCl}$ system. *The Journal of Chemical Physics*. 110. 8597-8604.)

Lors du mélange du dichlore et du dibrome, il s'établit un équilibre représenté par l'équation de réaction suivante :



Pour tenir compte de la présence des trois espèces, Cl_2 , Br_2 et BrCl , l'abscisse du diagramme d'équilibre liquide-vapeur du mélange $\text{Cl}_2\text{-Br}_2$ correspond à la composition atomique en dibrome définie par $z_{\text{Br}_2} = x_{\text{Br}_2} + \frac{1}{2} x_{\text{BrCl}}$ où x_i désigne la fraction molaire de l'espèce i . On définit de même $z_{\text{Cl}_2} = x_{\text{Cl}_2} + \frac{1}{2} x_{\text{BrCl}}$

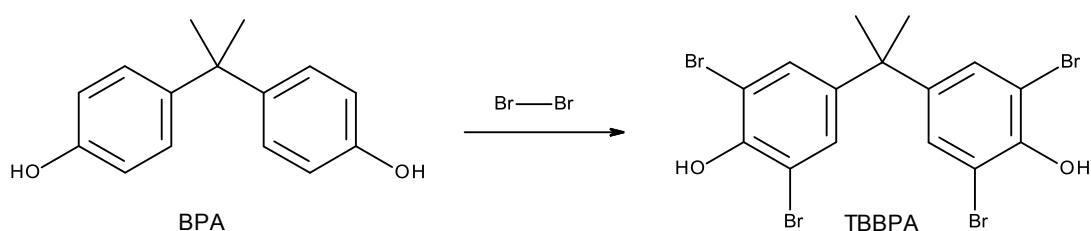
31. Montrer que $z_{\text{Cl}_2} = 1 - z_{\text{Br}_2}$.
32. Justifier que si la fraction molaire en dibrome tend vers 1, alors la composition atomique en dibrome tend vers 1.
33. Justifier que les compositions atomiques z_{Cl_2} et z_{Br_2} sont indépendantes de l'avancement de la réaction de formation de BrCl . Conclure sur l'intérêt d'utiliser la composition atomique plutôt que la fraction molaire.
34. Déterminer la température pour laquelle les fractions molaires en dichlore et dibrome en phase vapeur sont égales.

Pour la suite, on considère que le diagramme peut être utilisé de la même façon que si l'abscisse était la fraction molaire.

35. Nommer les deux courbes apparaissant sur ce diagramme et identifier les phases en présence dans chaque domaine délimité par ces courbes.
36. Expliquer, sur l'exemple du mélange dichlore-dibrome, le principe d'une distillation fractionnée. Indiquer la température en tête de colonne si on souhaite récupérer le dichlore pur. Justifier alors que l'on obtient plutôt du dichlore « riche en dibrome ».
37. Représenter le schéma du montage permettant de réaliser une distillation fractionnée au laboratoire.

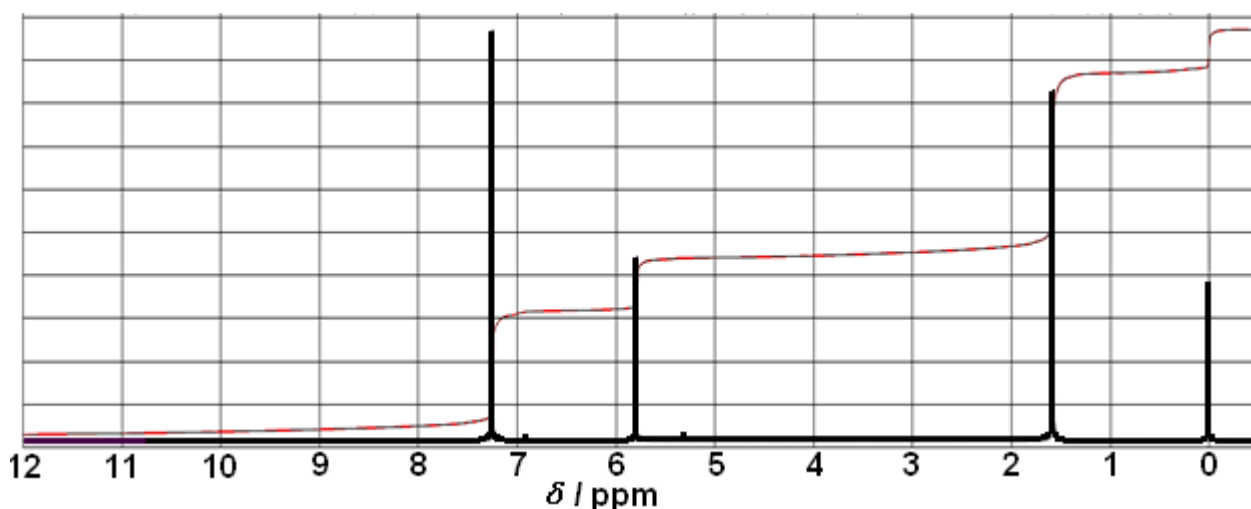
B.2.b. Synthèse d'un retardateur de flamme.

Les composés bromés comme le tétrabromobisphénol A (TBBPA) sont utilisés comme retardateur de flamme. La synthèse du TBBPA à partir de bisphénol A (BPA) consiste en une bromation aromatique.



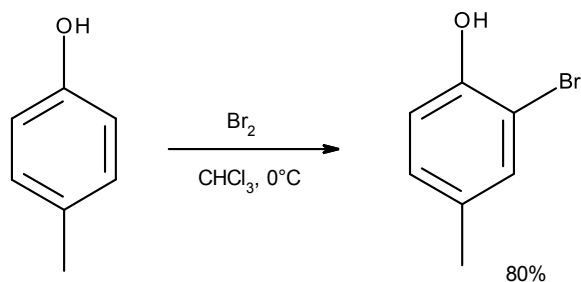
38. Indiquer, en justifiant la réponse, si la molécule de bisphénol A est chirale.
39. Après avoir recopié la formule chimique de la molécule de bisphénol A sur la copie, entourer et nommer les fonctions chimiques présentes.

Lors de cette transformation, un produit dibromé peut être formé. Pour vérifier que le produit synthétisé est tétrabromé, on réalise une étude par spectroscopie RMN ^1H .



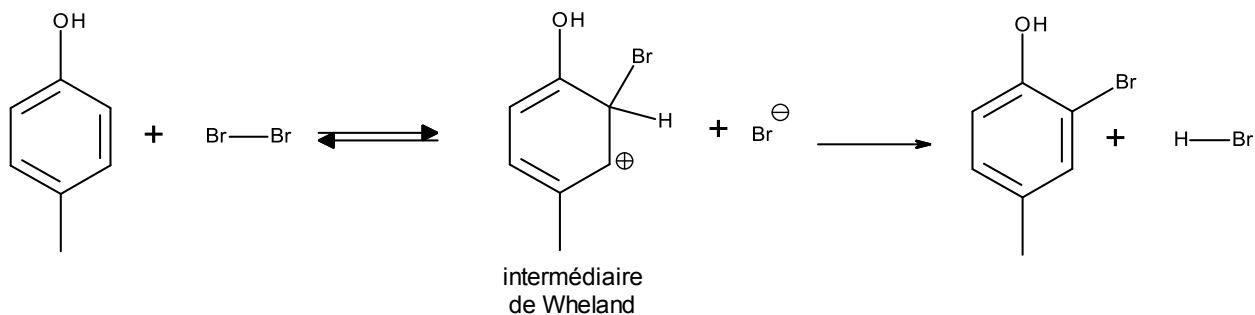
40. Déterminer si ce spectre correspond à un produit dibromé ou tétrabromé.

Afin d'étudier la régiosélectivité observée lors de la formation du TBBPA, on étudie la transformation suivante :



41. Justifier le choix de trichlorométhane comme solvant de cette synthèse.

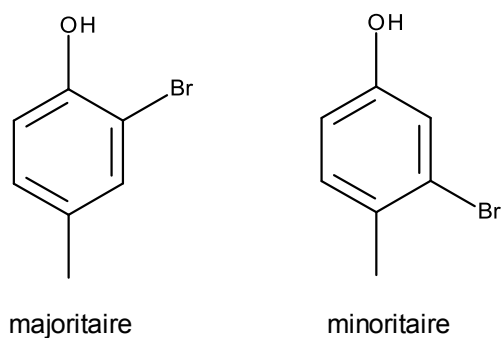
Le mécanisme admis est le suivant.



42. Reproduire sur la copie ce mécanisme en y ajoutant les flèches courbes, les doublets non-liants et les lacunes électroniques.

43. Nommer les deux étapes de ce mécanisme.

On cherche à interpréter la formation sélective du composé majoritaire à partir des intermédiaires de Wheland conduisant à chaque composé :



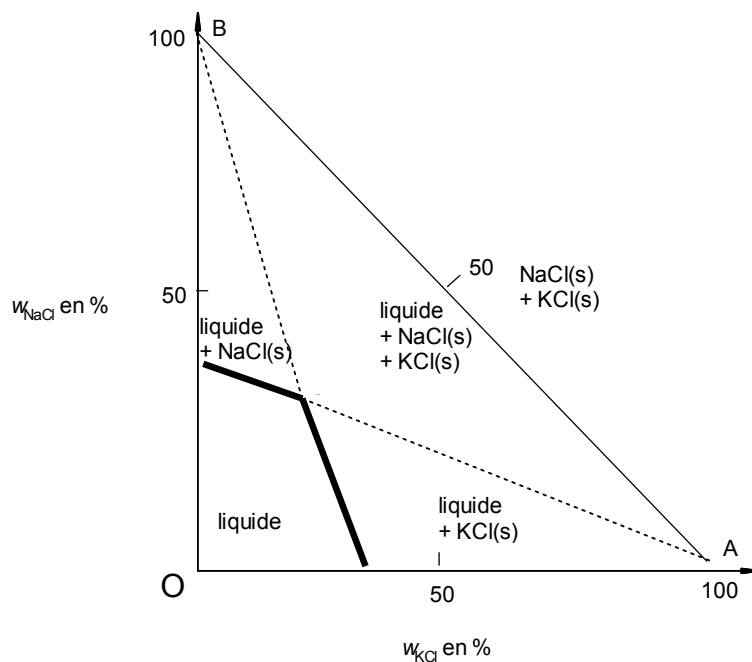
44. Représenter les schémas de Lewis et les formes mésomères correspondant à chaque intermédiaire. Conclure sur la stabilité de ces deux intermédiaires et commenter la formation sélective du composé majoritaire.

B.3. Industrie du potassium

Il est possible de récupérer le chlorure de potassium de la mer Morte à l'aide de différents procédés. Nous allons étudier le procédé thermique.

Les solubilités de KCl et NaCl ne sont pas indépendantes. Pour envisager la séparation, il est nécessaire d'étudier un diagramme ternaire du mélange NaCl-KCl-H₂O sur lequel sont indiquées les phases présentes en fonction de la fraction massique en KCl en abscisse et de la fraction massique en NaCl en ordonnée.

Diagramme de phase solide-liquide du mélange ternaire NaCl-KCl-H₂O à 25 °C.



D'après Matsuoka, M., Yamamoto, K., Uchida, H., & Takiyama, H. (2002). *Crystallization phenomena in ternary systems: nucleation of KCl during dissolution of NaCl*. *Journal of Crystal Growth*, 244(1), 95–101.

Sur le segment [AB], KCl et NaCl sont sous forme solide, il n'y a plus d'eau, alors

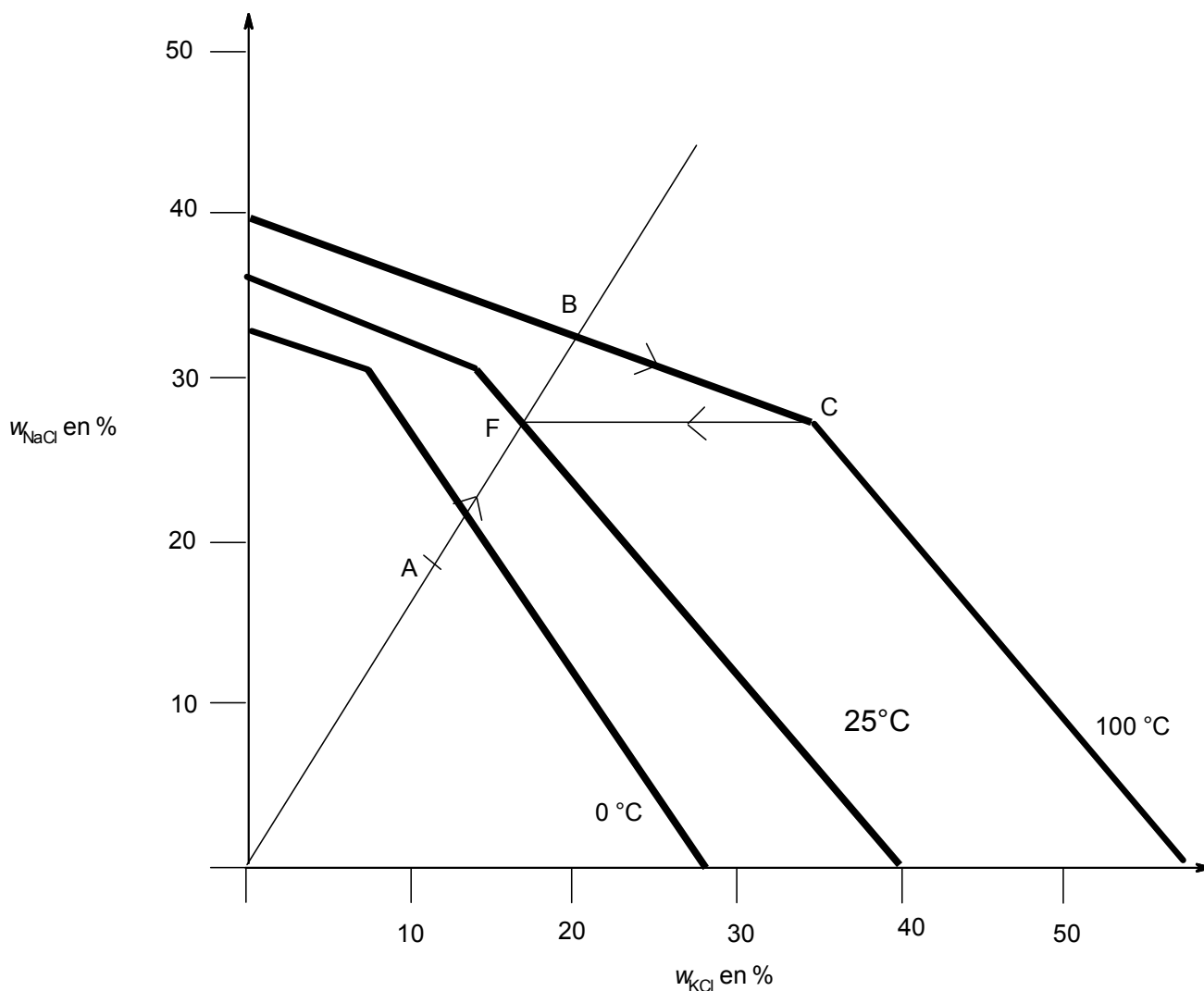
$$w_{\text{KCl}} + w_{\text{NaCl}} = 100 \%$$

Pour tout autre point à l'intérieur du triangle OAB, les trois espèces physico-chimiques, KCl(s), NaCl(s) et H₂O(l), sont présentes, alors $w_{\text{KCl}} + w_{\text{NaCl}} + w_{\text{H}_2\text{O}} = 100 \%$

La température a un effet sur la séparation, un jeu de courbes en gras est obtenu pour chaque valeur de température.

Seules les courbes en gras présentées sur le diagramme de phase précédent sont représentées à différentes températures : 0°C, 25°C et 100°C.

Effet de la température sur le diagramme ternaire eau-KCl-NaCl



D'après le cours de Guy Collin, Université du Québec,
http://www.uqac.ca/chimie_ens/Thermochimie/Chap_htm/CHAP_12.html

Le début du cycle de séparation étudié est représenté par les points A, B, C, et F sur le diagramme ternaire précédent.

On considère une solution initiale, de masse 1000 g, contenant du chlorure de potassium et du chlorure de sodium dissouts, représentée par le point A.

45. Relever les fractions massiques de KCl et NaCl de la solution initiale. En déduire la fraction massique de l'eau et le rapport des deux fractions massiques $\frac{w_{\text{NaCl}}}{w_{\text{KCl}}}$.

La solution est chauffée à 100°C avant de commencer l'évaporation.

46. En argumentant la réponse sur la valeur des fractions massiques des trois espèces, préciser la position du point correspondant à cette étape dans le diagramme ternaire.

L'apport d'énergie thermique fait que l'évaporation commence en restant à la température de 100°C.

47. Justifier qu'une évaporation conduise à un déplacement du point A vers le point B selon la droite (AB). Préciser la valeur de la fraction massique de l'eau restante au point B.

48. Pour une masse de 1000 g de solution initiale au point A, déterminer la masse d'eau évaporée au point B.

49. Préciser la transformation physique qui s'opère sur le système chimique au point B.

Tout en continuant l'évaporation, une filtration du mélange en continu permet d'extraire le solide formé au court du cycle.

50. Préciser quelle est la nature du sel récupéré par filtration entre B et C.

51. Déterminer la masse de ce sel récupéré par filtration en C.

La solution est ensuite refroidie à 25°C. Les courbes de séparation de phases se déplacent vers la gauche. Le point C se situe alors dans la zone de cristallisation du KCl(s), qui précipite à son tour. Au fur et à mesure du refroidissement et de la filtration, de l'eau de mer est réintroduite en quantité maîtrisée. Le point C se déplace jusqu'au point F. Après, le cycle FBCF recommence.

Entre C et F, la quantité de NaCl provenant de la solution présente au point C reste constante. L'apport d'eau de mer permet de maintenir la fraction massique de NaCl également constante.

52. Déterminer la masse de KCl(s) filtré lorsque la solution arrive au point F.

Cette question demande des prises d'initiative du candidat. On pourra s'aider du tableau suivant pour répondre à la question mais il n'est pas nécessaire de compléter toutes les cases du tableau.

	Point A		Point B		Point C		Point F	
	w (en %)	m (en g)	w (en %)	m (en g)	w (en %)	m (en g)	w (en %)	m (en g)
KCl								
NaCl							Égale à celle du point C	Égale à celle du point C
H ₂ O								
Total	100	1000						

C. Le canal de la paix

C.1. Analyse du projet

Pour contrer la baisse de niveau de la mer Morte due à son évaporation et à la surexploitation du Jourdain, il est envisagé la construction d'un pipeline reliant la Mer Rouge à la Mer Morte.

L'eau prélevée dans le golfe d'Aqaba ira d'abord dans une usine de désalinisation pour obtenir une eau potable qui fait cruellement défaut dans la région. Puis les saumures (eaux salées) issues de cette usine seront transférées dans le pipeline, en passant par une centrale hydroélectrique afin de fournir de l'électricité.

Source : www.solidariteetprogres.fr



Données :

- Masse volumique des saumures issues de la mer Rouge : $\rho = 1,1 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- Caractéristiques du pipeline :
 - Longueur $L = 200 \text{ km}$,
 - Section uniforme de diamètre $d = 3,0 \text{ m}$,
 - Pipeline réalisé en matériau de rugosité $\varepsilon = 1,0 \text{ mm}$.

À l'heure actuelle, la surface libre de la mer Morte est située à -430 m en dessous du niveau moyen des mers du globe (et donc de la Mer Rouge).

La pluviométrie, c'est-à-dire la mesure de la quantité d'eau tombée autour de la mer Morte, est estimée à $h_p = 60 \text{ mm}$ d'eau par an (moins du dixième de la valeur à Paris).

Le principal fleuve alimentant la mer Morte est le Jourdain dont le débit volumique moyen est estimé à $D_v = 16 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Source : Encyclopedia Universalis



La mer Morte a actuellement une surface $S = 810 \text{ km}^2$ et la baisse de son niveau est estimée à 70 cm par an.

La variation du niveau de la mer Morte est essentiellement contrôlée par le phénomène d'évaporation, la pluviométrie et l'apport en eau dû au Jourdain.

Soit h_e la hauteur d'eau évaporée par an et Δz_T la variation algébrique de l'altitude de la surface libre de la mer Morte.

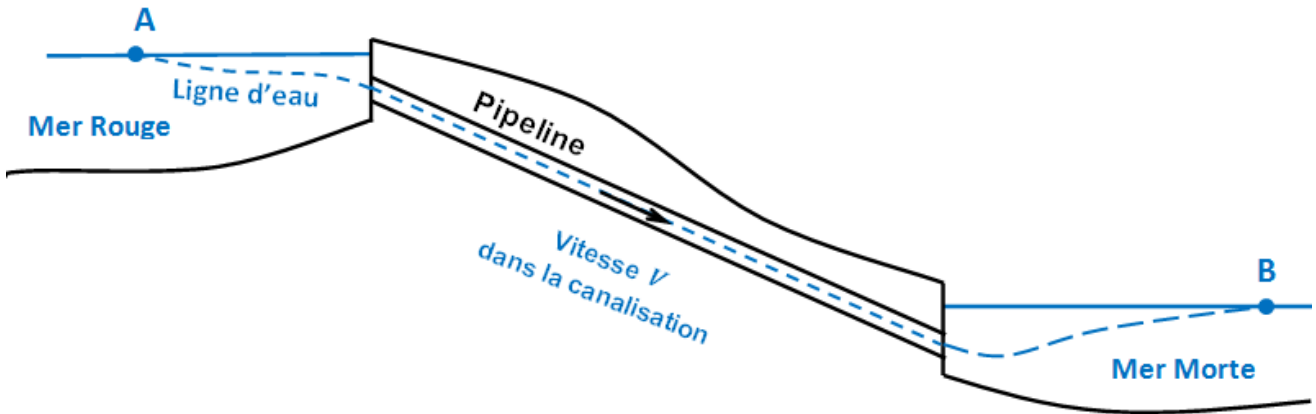
53. Montrer par un bilan volumique que $\Delta z_T = h_p - h_e + \frac{D_v \cdot \Delta t}{S}$.

54. Commenter le signe de Δz_T à l'heure actuelle et déterminer la valeur de la hauteur d'eau évaporée, h_e , en une année.

55. Estimer la baisse annuelle du niveau de l'eau de la mer Morte, Δz_T , dans le cas où le Jourdain serait totalement exploité et donc qu'il n'alimenterait plus la mer Morte.

Dans cette partie, on s'intéresse tout d'abord à un écoulement libre entre les deux mers, sans turbine sur la canalisation. Cet écoulement est pris entre deux points A et B à la surface des deux mers, relativement loin des extrémités du pipeline.

Dans ces conditions, les vitesses des particules d'eau aux points A et B sont négligeables. La pression aux deux points est égale à la pression atmosphérique. On note z_A l'altitude de la surface libre de la mer Rouge et z_B celle de la mer Morte.



On supposera l'eau de la mer Rouge incompressible et l'écoulement permanent.

Le modèle qui décrit l'écoulement permet d'utiliser le théorème de Bernoulli :

$$\left(p_A + \frac{1}{2} \rho v_A^2 + \rho g z_A \right) - \left(p_B + \frac{1}{2} \rho v_B^2 + \rho g z_B \right) = \Delta p$$

avec Δp les pertes de charges dans la canalisation en Pa.

L'écoulement est pris entre deux points A et B à la surface des deux mers, relativement loin des extrémités du pipeline, de sorte que les vitesses des particules d'eau aux points A et B sont négligeables. La pression aux deux points est toujours égale à la pression atmosphérique.

56. Donner les unités usuelles pour chacune des grandeurs du théorème de Bernoulli et donner son expression simplifiée entre les points A et B dans le cas étudié dans cette partie.

La perte de charge est essentiellement due à la rugosité du matériau ε constituant la canalisation et à la vitesse v du fluide. Elle peut s'exprimer selon la relation :

$$\Delta p = \frac{1}{2} \frac{\xi L}{d} \rho v^2$$

dans laquelle

- d est le diamètre intérieur de la canalisation,
- L est la longueur de la canalisation,
- ξ représente le coefficient de perte de charge de l'installation.

57. Montrer alors que le débit volumique dans le pipeline est donné par la relation :

$$Q_V = \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2dg(z_A - z_B)}{\xi L}}$$

Les dimensions du canal de la paix étant connues, l'estimation du débit passe par la détermination du coefficient de perte de charge. Elle peut être faite avec l'abaque donné en annexe 2.

La lecture du coefficient de perte de charge ξ sur l'axe vertical de gauche, se fait en fonction de la rugosité relative $\frac{\varepsilon}{d}$ de la canalisation et du nombre de Reynolds, Re , caractérisant la turbulence de l'écoulement (laminaire, transitoire ou turbulent).

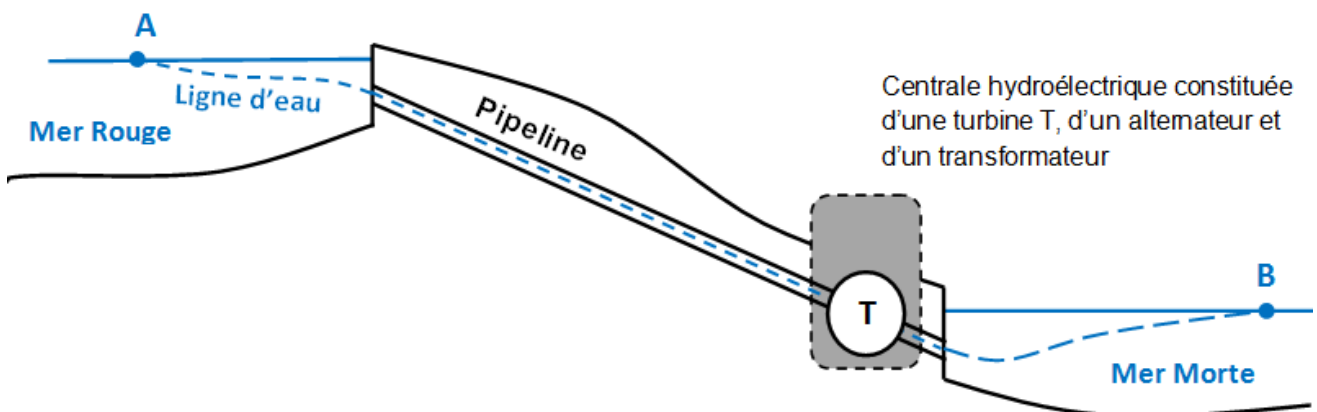
58. En supposant l'écoulement très turbulent, c'est-à-dire que le point de fonctionnement se situe dans la zone de « Turbulence complète », montrer à l'aide de l'abaque que la valeur du coefficient de perte de charge du pipeline vaut environ $\xi = 0,015$.

59. Déterminer alors la valeur du débit volumique dans le pipeline, Q_V , dans le cas de cet écoulement libre.

60. Déterminer alors quelle serait la variation algébrique annuelle de hauteur Δz_T de la mer Morte si le projet se réalise. Commenter.

C.2. Installation d'une centrale hydroélectrique

Le projet prévoit aussi l'installation d'une centrale hydroélectrique sur les bords de la mer Morte exploitant le dénivelé entre les deux mers pour produire de l'électricité.



Installation d'une centrale hydroélectrique dans l'écoulement

Dans la centrale hydroélectrique, l'eau de la canalisation met en mouvement une turbine T qui entraîne un alternateur. L'énergie électrique produite par celui-ci sera directement distribuée sur le réseau électrique après élévation de tension grâce à un transformateur.

61. Réaliser un schéma de la chaîne énergétique faisant apparaître :

- les différents réservoirs d'énergie et convertisseurs de la chaîne : mer Rouge, mer Morte, turbine, alternateur, transformateurs, réseau,
- les énergies échangées par les différents organes,
- les pertes énergétiques éventuelles.

On suppose que les pertes de charges dans la centrale hydroélectrique sont négligeables devant celles engendrées par les 200 km de canalisation, si bien que le théorème de Bernoulli s'écrit maintenant :

$$\left(p_A + \frac{1}{2}\rho v_A^2 + \rho g z_A\right) - \left(p_B + \frac{1}{2}\rho v_B^2 + \rho g z_B\right) = \frac{P_{abs}}{Q_V} + \Delta p$$

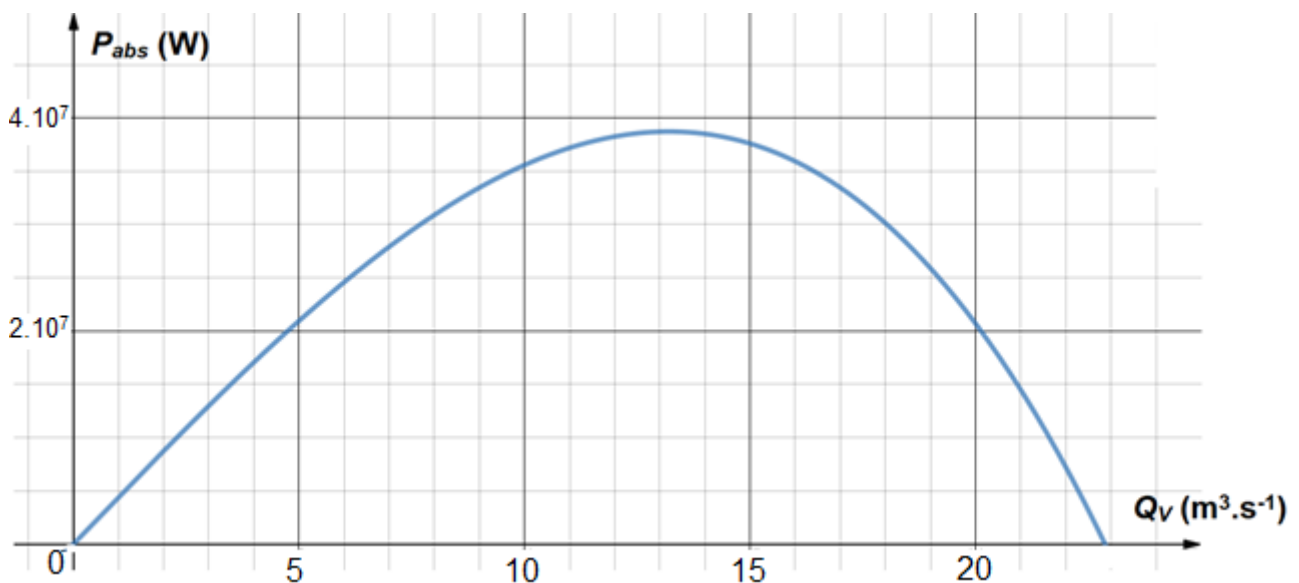
avec P_{abs} la puissance cédée par le fluide à la turbine et Δp la perte de charges, toujours donnée par la relation $\Delta p = \frac{1}{2} \frac{\xi L}{d} \rho v^2$

L'écoulement est pris entre deux points A et B à la surface des deux mers, relativement loin des extrémités du pipeline, de sorte que les vitesses des particules d'eau aux points A et B sont négligeables. La pression aux deux points est toujours égale à la pression atmosphérique.

62. Montrer alors que la puissance absorbée par la turbine est donnée par :

$$P_{abs} = Q_V \left(\rho g (z_A - z_B) - 8 \frac{\rho}{\pi^2 d^4} \left(\frac{\xi L}{d} \right) Q_V^2 \right)$$

Avec les données dimensionnelles du projet de canal de la paix, la représentation de la fonction $P_{abs} = f(Q_V)$ est la suivante :



Evolution de la puissance absorbée par la turbine en fonction du débit volumique des saumures dans la canalisation

63. Relever la valeur du débit Q_V à utiliser pour que la turbine soit exploitée de façon optimale.

64. Déterminer alors la variation algébrique annuelle ΔZ_T du niveau de la mer Morte dans ces conditions. Commenter.

ANNEXE 1

Bibliothèque et Instructions Python

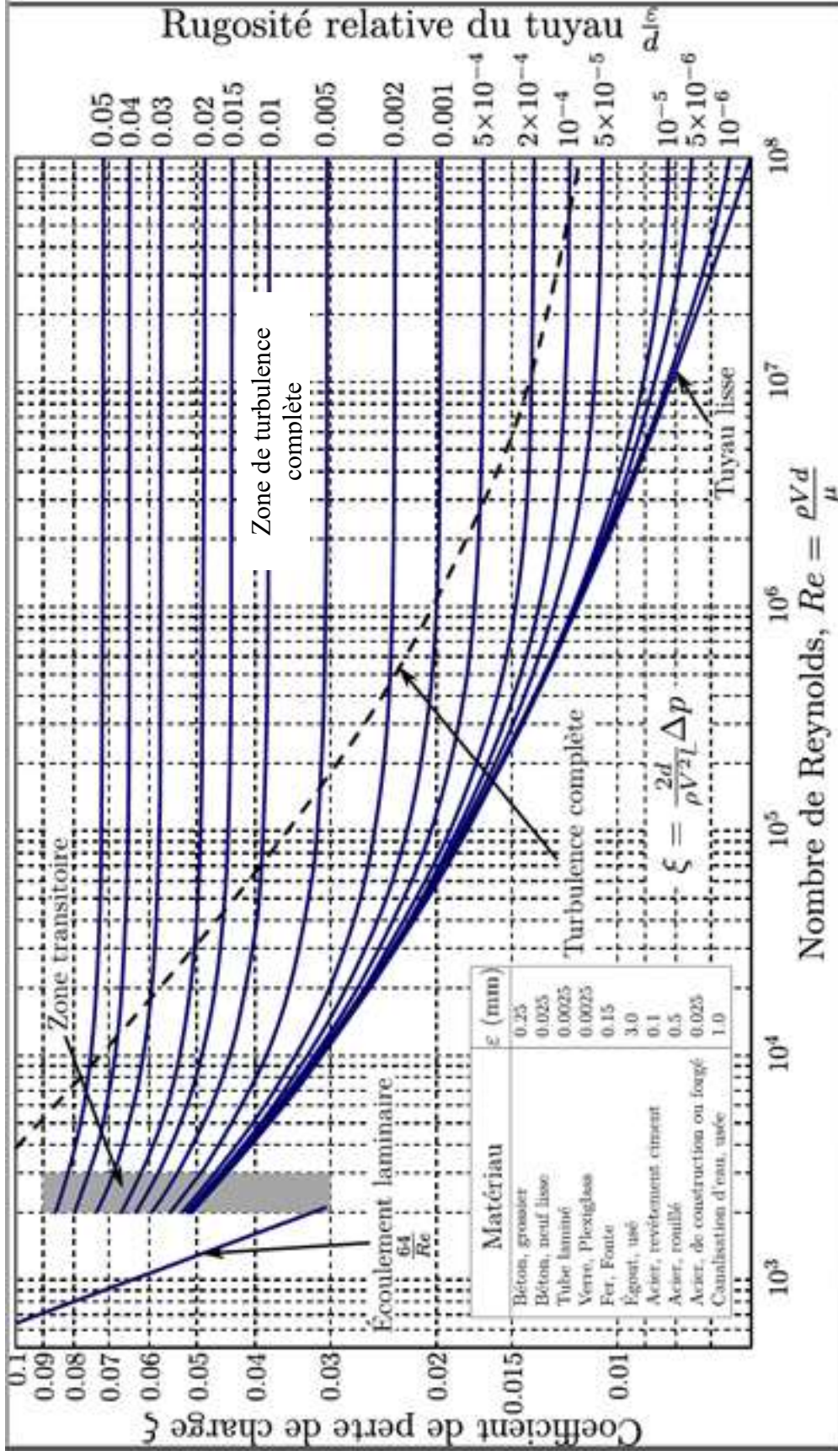
- La bibliothèque **matplotlib** permet le tracé de graphique. Les instructions liées à cette bibliothèque commencent par *plt*.
- L'instruction **for** est une boucle bornée qui permet de répéter plusieurs fois l'exécution d'une partie du programme. Elle réalise les itérations sur chaque élément d'une séquence (qui peut être une liste, une chaîne de caractères...).
- L'instruction **range()** génère une suite arithmétique :
 - *range(10)* génère une liste de 10 valeurs, de 0 à 9 ;
 - *range(4,10)* génère une liste de 6 valeurs, de 4 à 9 ;
- L'instruction **len()** renvoie le nombre d'éléments d'un objet.

Programme Python utilisé

```
1  #!/usr/bin/env python3
2  # -*- coding: utf-8 -*-
3
4  import matplotlib.pyplot as plt
5  from csv import reader
6
7  # définir la fonction de lecture des données:
8
9  def lecture(chemin):
10
11     """ Fonction de récupération de données tabulées en colonnes
12     sous la forme [temps] [x] [valeur y] avec des
13     espaces comme délimiteurs.
14     Paramètre : chemin pour atteindre le fichier texte
15     Retour : tuple de deux listes de même taille contenant respectivement
16     les temps et les valeurs.
17     """
18
19     # initialiser les listes à renvoyer
20     temps = []
21     valeurs = []
22
23     # lire le fichiers de données
24     with open(chemin) as fichier:
25         donneesCSV = reader(fichier, delimiter=" ")
26         for row in donneesCSV:
27             print(row)
28             temps.append(float(row[0]))
29             valeurs.append(float(row[2]))
30     return (temps, valeurs)
31
32 # récupérer les données :
33
34 t, z = lecture("serie chrono.txt")
35
36 # définir le nombre d'entrées:
37
38 L = len(t)
39
40 # calculer la vitesse:
41
42 vitesse = |
43
44
45 # tracer la courbe vitesse:
46 plt.figure(dpi=300)
47 plt.plot(t[:L], vitesse, linestyle='none', marker='x', c='red', markersize=5)
48 plt.xlabel("temps (en secondes)")
49 plt.ylabel("vitesse verticale (m/s)")
50 plt.title("chute d'une bille dans un fluide")
51 plt.grid()
```

Annexe 2

Coefficient de perte de charges en fonction du nombre de Reynolds pour plusieurs valeurs de rugosité



Source : fr.wikipedia.org/wiki/Diagramme_de_Moody