

**ÉCOLE POLYTECHNIQUE**  
**ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHYSIQUE ET CHIMIE INDUSTRIELLES**

CONCOURS D'ADMISSION 2001

FILIÈRE **PC**

**PREMIÈRE COMPOSITION DE PHYSIQUE**

(Durée : 4 heures)

L'utilisation des calculatrices **est autorisée** pour cette épreuve.

\* \* \*

**Comment la sève monte-t-elle dans les arbres ?**

L'objet de ce problème est l'analyse de divers mécanismes physico-chimiques susceptibles d'expliquer la montée de la sève brute dans les arbres. La sève brute est le grand courant ascendant qui conduit aux feuilles, bourgeons et fleurs, l'eau et les sels minéraux. Dans une première partie, on étudie différentes causes possibles de l'ascension de la sève : pression hydrostatique, capillarité, osmose... Cependant, une évaluation des ordres de grandeur montre qu'aucun de ces mécanismes ne peut rendre compte d'une ascension très élevée, comme dans le cas du pin Douglas où elle atteint 60 mètres. Le mécanisme principal est en fait la *transpiration* dont la description et le lien avec la thermodynamique de l'eau liquide font l'objet de la seconde partie.

Toutes les sous-parties sont très largement indépendantes les unes des autres. Dans tout le problème, on admettra que la sève brute est une solution si diluée que ses propriétés physiques (masse volumique, tension superficielle, équation d'état...) sont celles de l'eau pure. Sauf cas contraire, la température  $T$  sera prise à égale 20°C.

**Données numériques**

Accélération de la pesanteur	$g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$
Constante des gaz parfaits	$R = 8,3145 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
Pression atmosphérique normale	$1,01325 \text{ bar} = 0,101325 \text{ MPa} \simeq 760 \text{ mm Hg}$
Masse volumique de l'eau à 20°C	$\rho = 0,99821 \text{ g cm}^{-3}$
Tension superficielle de l'eau à 20°C	$\sigma = 72,75 \times 10^{-3} \text{ N m}^{-1}$
Viscosité dynamique de l'eau à 20°C	$\eta = 1,002 \times 10^{-3} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$
Rayon des canaux de xylème (bois)	$R \simeq 25 \mu\text{m}$ (conifères) à $200 \mu\text{m}$ (chêne)
Température de fusion de la glace sous pression normale	$T_F = 273,15 \text{ K}$

### Propriétés de l'eau au point critique

Masse volumique	Pression	Température
$\rho_C = 0,322 \text{ g cm}^{-3}$	$p_C = 22,064 \text{ MPa}$	$T_C = 373,99^\circ\text{C}$

### Paramètres de l'équation d'état de Speedy à 20°C

$B$	$p_s$	$v_s$
17,8297	-208 MPa	22,3029 cm <sup>3</sup> mol <sup>-1</sup>

### Masses molaires

Élément	C	Cl	H	O	K	Na	S
Masse molaire en g	12	35,5	1	16	39,1	23	32,1

### Formulaire

- A température constante, pour un corps pur de potentiel chimique  $\mu$ , de volume molaire  $v$  et à la pression  $P$ , on a :

$$d\mu = v dP.$$

- Potentiel chimique d'une mole de composant  $i$  dans un *mélange idéal* à la température  $T$  et à la pression  $p$  :

$$\mu_i(T, P) = \mu_i^0(T, P) + RT \ln x_i .$$

où  $\mu_i^0(T, P)$  est le potentiel chimique du composant  $i$  pur et  $x_i$  sa fraction molaire dans le mélange.

- Loi de Poiseuille :

$$Q = \frac{\pi R^4}{8\eta} \frac{\Delta P}{h} .$$

## Première partie L'impossible montée

### A. La poussée atmosphérique.

1. En supposant que l'eau est incompressible, quelle est la pression  $P(h)$  au sommet d'une colonne d'eau de hauteur  $h$  et dont la base est à la pression atmosphérique  $P_0$  ?

2. *Application numérique* : Quelle hauteur maximale  $h_A$  peut atteindre l'eau soumise à une aspiration sous vide ?

## B. La capillarité.

A l'interface entre une phase liquide et une phase gazeuse, un accroissement réversible  $dA$  de la surface de contact, à température constante, nécessite un apport énergétique par travail donné par  $\sigma dA$  où  $\sigma$  ( $\sigma > 0$ ) est la constante de tension superficielle entre les deux phases. Les forces de tension superficielle tendent donc à réduire la surface de contact et elles créent du côté concave une surpression par rapport au côté convexe, donnée, pour un interface sphérique de rayon  $r$ , par  $\frac{2\sigma}{r}$ .

1. On considère une goutte de liquide, sphérique, de rayon  $r$ , à l'équilibre avec l'air environnant de pression uniforme  $P_0$ ; soit  $P_i$  la pression au sein de la goutte.

a) Donner l'expression de  $P_i$  en fonction de  $P_0$ ,  $\sigma$  et  $r$ .

b) *Application numérique* : A partir de quel rayon la pression au sein d'une goutte d'eau est-elle supérieure de 1‰ à la pression atmosphérique ?

2. Lorsque l'on plonge un tube de verre très propre, cylindrique et de faible rayon  $R$ , dans un liquide, on constate que le liquide s'élève dans le tube d'une hauteur  $h$ . Le ménisque a la forme d'une calotte sphérique qui se raccorde aux parois avec un angle  $\psi$  (voir figure 1).

a) En calculant la pression du liquide sous le ménisque de deux façons différentes, relier  $h$  à  $R$ ,  $\cos \psi$  et à la grandeur  $\lambda_C = \sqrt{\frac{\sigma}{\rho g}}$ , dont on donnera la dimension et que l'on interprétera.

b) Que se passe-t-il si  $\psi > \frac{\pi}{2}$  ?

c) *Application numérique* : Calculer  $\lambda_C$  pour l'eau. De quelle hauteur  $h_C$  la sève brute peut-elle s'élever par capillarité dans les canaux de xylème qui la transportent ?

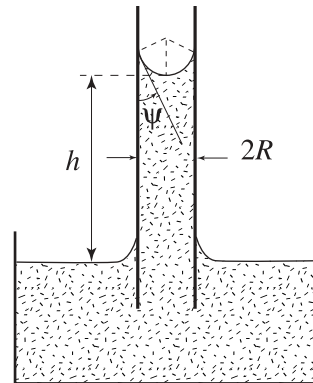


Figure 1

## C. L'osmose.

1. On considère un récipient, formé de deux compartiments, de même volume  $V$  et à la même température  $T$ , séparés par une membrane semi-perméable, perméable au solvant  $A$  mais non aux solutés  $B_i$ . Le compartiment de gauche  $G$  contient une solution supposée *idéale*, celui de droite  $D$  le solvant pur (voir figure 2). On note  $\mu_A^0(T, P)$  le potentiel chimique d'une mole de  $A$  pur.

a) Quelle condition est satisfaite lorsque ce système est à l'équilibre ? En déduire que les deux compartiments ne peuvent être alors à la même pression.

b) En supposant que la solution est très diluée et que le solvant est incompressible, montrer que la surpression  $\Pi$  qui s'exerce dans le compartiment  $G$ , appelée *pression osmotique*, est de la forme :  $\Pi = RT(\sum_i n_i)/V$  où  $n_i$  est le nombre de moles du soluté  $B_i$ .

c) Commenter cette loi. Où intervient la nature du ou des solutés ? En quoi cette loi est-elle remarquable ?

2. La sève brute contient en général moins d'un gramme par litre de minéraux divers (ions  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ...) et parfois des substances organiques.

a) Estimer la pression osmotique de la sève brute par rapport à l'eau pure en ne tenant compte que des sels minéraux.

b) Certains arbres, comme l'érable, ont au début du printemps, une sève riche en sucres : la concentration de disaccharides (formule brute :  $\text{C}_{12}(\text{H}_2\text{O})_{11}$ ) peut alors atteindre 20 à 30 grammes par litre. Quelle est alors la pression osmotique de la sève brute par rapport à l'eau pure ?

c) Expérimentalement, on constate qu'à la base des végétaux, la sève brute est bien émise sous pression : on trouve des pressions de l'ordre de 1 bar et plus, en excès par rapport à la pression atmosphérique. Est-il raisonnable de considérer cette *poussée radiculaire* comme étant pour une large part de nature osmotique ?

d) *Application numérique* : De quelle hauteur  $h_O$  la sève brute peut-elle s'élever sous l'effet de la poussée radiculaire ?

#### D. La perte de charge.

L'eau est un fluide visqueux et son écoulement s'accompagne nécessairement d'une perte de pression. Pour un écoulement stationnaire dans un conduit cylindrique *vertical*, de longueur  $h$  et de section circulaire de rayon  $R$ , la perte de charge  $\Delta p$  qui se produit *en sus* de la variation hydrostatique étudiée à la question **I.A.1**, est relié au débit volumique  $Q$  par la loi de Poiseuille.

1. Les canaux de xylène, approximativement cylindriques, présentent une dispersion en taille. Quels sont ceux qui transportent principalement la sève brute ?

2. Des mesures donnent des vitesses moyennes d'ascension de l'ordre de  $0,5 \text{ m h}^{-1}$  pour les conifères et jusqu'à  $50 \text{ m h}^{-1}$  pour des arbres à gros canaux comme le chêne.

a) En déduire la perte de charge théorique par unité de longueur pour ces deux types d'arbres. Que constate-t-on ?

b) Les mesures expérimentales sont dans un facteur d'environ 2 par rapport aux prévisions

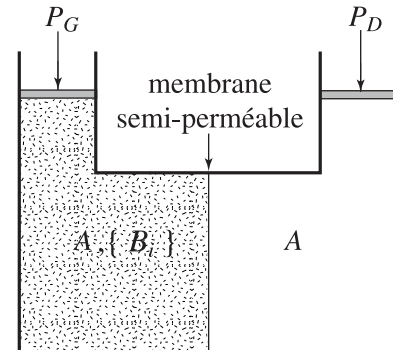


Figure 2

théoriques. Dans quel sens ce facteur joue-t-il? Justifier.

c) La perte de charge est-elle significative par rapport à la poussée radriculaire?

**E.** Quels sont, parmi les mécanismes précités, ceux qui vous semblent les plus à même d'expliquer la montée de la sève? Montrer que la montée de la sève dans les très grands conifères demeure inexplicable à ce stade.

## Deuxième partie La transpiration

En fait, l'essentiel de la sève s'évapore dans l'atmosphère au niveau des feuilles. Par ailleurs, on sait par traçage radioactif qu'il y a continuité de la colonne d'eau depuis les racines jusqu'aux feuilles.

**A.** Un analogue saisissant de ce mode de transport de la sève est donné par l'expérience de J. Böhm (1893). Un récipient, en argile poreuse, est plongé dans un bain d'eau bouillante. L'eau du récipient est siphonnée, par l'intermédiaire d'un tube capillaire, au travers d'une bouteille contenant du mercure. Lorsque l'on retire le bain bouillant, on constate que l'eau reflue dans le tube en tirant à elle une colonne de mercure qui peut atteindre 1m de hauteur (voir figure 3).

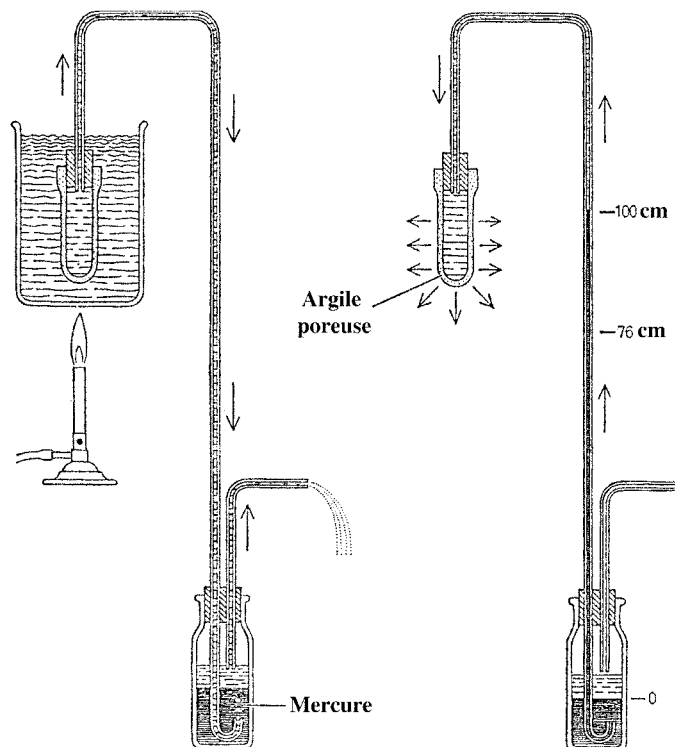


Figure 3

1. Quelle est la pression dans le tube au niveau de l'interface eau/mercure? En quoi est-ce remarquable?

2. Expliquer en quelques lignes en quoi cette expérience éclaire le mécanisme de la montée de la sève par transpiration.

3. L'argile poreuse est un entrelacs de pores de tailles et de formes variées dans lesquels existent des ménisques entre l'air et l'eau liquide. Quelle doit-être la largeur approximative de ces pores pour provoquer une telle dépression? (on se référera à **I.B**).

4. Qu'advierait-il si jamais une bulle apparaissait dans l'eau?

**B.** L'expérience de Böhm montre que l'eau liquide peut être stable sous traction. Dans tout ce qui suit, on cherche à évaluer quelle tension (force de traction par unité de surface) l'eau liquide peut supporter sans se rompre.

Un cylindre de section  $S$ , parfaitement étanche et fermé par un piston sur lequel on tire avec une force  $F$  (figure 4a), contient un liquide maintenu à température constante. À partir d'une certaine force, le liquide se rompt.

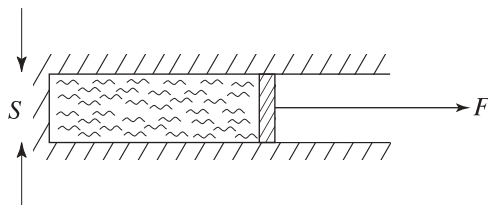


Figure 4a

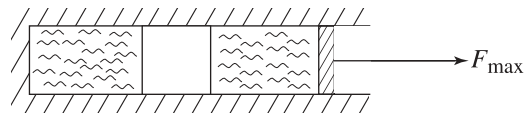


Figure 4b

1. On admet que la colonne de liquide se rompt en deux, tout en conservant son volume, et que la surface de séparation créée est plane et bien nette (voir figure 4b). Exprimer à l'aide de la tension superficielle  $\sigma$  du liquide le travail  $W$  qu'il a fallu fournir pour créer cette séparation.

2.  $W$  est l'opposé du travail des forces attractives à très courte portée  $\delta$  (moins de 10 nm) qui s'exercent entre les molécules de part et d'autre de la surface de séparation. Quelle est l'origine microscopique de ces forces attractives?

3. *Application numérique* : En supposant que  $W$  soit fourni par une force constante  $F_{\max}$  sur la distance adéquate  $\delta$ , calculer  $F_{\max}$  pour l'eau à 20°C puis la tension correspondante  $\frac{F_{\max}}{S}$ , que l'on exprimera en bar. On prendra  $S = 10 \text{ cm}^2$ .

4. Que vaut la pression de l'eau juste avant la rupture? Ce résultat est-il compatible avec l'expérience de Böhm?

**C.** On considère un fluide de volume molaire  $v$ , à la pression  $P$  et à la température  $T$ , dont l'équation d'état est, dans un domaine de température et de pression, correctement décrite par

l'équation de Van der Waals :

$$\left(P + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT$$

où  $a$  et  $b$  sont des constantes. On appelle compressibilité isotherme  $\chi_T$  la quantité :

$$\chi_T = -\frac{1}{v} \left( \frac{\partial v}{\partial P} \right)_T .$$

1. Calculer  $\chi_T$  pour le fluide de Van der Waals.
2. Quel doit-être, selon vous, le signe de  $\chi_T$  pour que le fluide soit mécaniquement stable ?

On appelle spinodale le lieu des points, dans le diagramme  $(v, P)$ , pour lesquels la compressibilité diverge, soit  $\chi_T^{-1} = 0$ .

**3.** Montrer que l'équation de la spinodale du fluide de Van der Waals en coordonnées  $(v, T)$  est donnée par :

$$\frac{(v - b)^2}{v^3} = \frac{RT}{2a} .$$

4. En déduire l'équation de la spinodale  $P = f(v)$  en coordonnées  $(v, P)$ .
5. Tracer l'allure de la spinodale dans le diagramme  $(v, P)$  en indiquant les zones où le fluide n'est pas stable mécaniquement.
6. Calculer les coordonnées  $(v_C, P_C)$  du sommet  $C$  de la spinodale, puis la température correspondante  $T_C$ .
7. Tracer, dans le plan  $(v, P)$ , l'allure des isothermes du fluide de Van der Waals. Justifier physiquement pourquoi  $C$  est confondu avec le point critique du fluide, point dont on rappellera la définition.
8. Dans les conditions expérimentales courantes, pour une température  $T$  donnée inférieure à  $T_C$ , certaines parties de l'isotherme ne sont pas observées expérimentalement ; une portion est remplacée par un « palier » à  $P$  constante, d'extrémités  $A$  et  $B$  (avec  $v_A < v_B$ ). Quelle est la condition d'équilibre thermodynamique que doit satisfaire le fluide en  $A$  et en  $B$  et qui détermine la position de ce palier.
9. Indiquer sur le graphe de cette isotherme de Van der Waals les parties correspondant au fluide stable, instable, métastable.

**D.** On introduit les coordonnées réduites  $\theta = T/T_C$ ,  $\phi = v/v_C$  et  $\pi = P/P_C$ .

1. Montrer que, pour un fluide de Van der Waals, le rapport  $\frac{P_C v_C}{RT_C}$  est universel (indépendant de  $a$  et  $b$ ). *Application numérique* : Est-ce bien vérifié dans le cas de l'eau ?

2. Donner dans le diagramme  $(\phi, \pi)$  l'équation de la spinodale. A quel volume réduit la pression s'annule-t-elle sur la spinodale? Quelle est la température réduite correspondante?

3. *Application numérique* : Comparer pour l'eau ces prédictions avec les valeurs expérimentales d'annulation de la pression :  $T = 324^\circ\text{C}$  et un volume massique  $u \simeq 1,8 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ .

4. *Application numérique* : Calculer approximativement, pour l'eau, la pression sur la spinodale côté liquide à  $T = 20^\circ\text{C}$ . Comparer avec la valeur trouvée en **II.B.4**.

5. *Application numérique* : Calculer la pression à  $T = 20^\circ\text{C}$  pour une masse volumique  $\rho = 0,99821 \text{ g cm}^{-3}$ . A quel résultat devrait-on s'attendre? Que constate-t-on?

**E.** Ainsi, à la température ambiante, l'équation d'état de van der Waals ne décrit plus correctement l'eau liquide. Speedy a proposé en 1982 l'équation d'état suivante :

$$1 - \frac{P}{P_s} = B \left( \frac{v_s}{v} - 1 \right)^2$$

où  $P_s$ ,  $B$  et  $v_s$  sont des fonctions de la température, obtenues en ajustant au mieux les mesures d'équation d'état de l'eau liquide sur le domaine  $T = 0 - 100^\circ\text{C}$  et  $P = 0 - 100 \text{ MPa}$ .

1. *Application numérique* : Calculer pour une pression de 1 atm à  $T = 20^\circ\text{C}$  la masse volumique de l'eau. Que pensez-vous de la qualité de l'ajustement?

2. Calculer  $\chi_T^{-1}$  pour l'équation d'état de Speedy. Comment interpréter  $P_s$  et  $v_s$ ?

3. Montrer que l'équation d'état de Speedy s'obtient, à température fixée, en faisant un développement limité de la pression en fonction de  $v^{-1}$  autour de  $v_s^{-1}$ , tronqué au second ordre. En déduire une expression de  $B$ .

4. La valeur de la pression de l'eau liquide à la limite de la métastabilité prédite par Speedy à  $T = 20^\circ\text{C}$  est proche de la valeur expérimentale. Par ailleurs, des mesures donnent une pression de la sève de l'ordre de  $-1 \text{ MPa}$  au sommet des végétaux. Qu'en concluez-vous?

\* \*  
\*

## Rapport de M. Frédéric PINCET et M<sup>me</sup> Sophie REMY, correcteurs.

L'épreuve traite du phénomène de montée de la sève dans les arbres. Le problème est clairement posé dès l'introduction : comment expliquer la hauteur, supérieure à 50 m, de certaines espèces ?

Pour approcher la solution, le sujet passe en revue différents mécanismes susceptibles d'expliquer cette ascension. Même si des notions nouvelles sont introduites dans l'énoncé, **les réponses attendues sont toujours en conformité avec le cadre strict du programme.**

La résolution ne requiert pas de calculs compliqués, mais des capacités d'analyse et de réflexion, et du sens critique face aux résultats obtenus à partir d'un modèle, qualités demandées aux étudiants de la filière PC.

Les différentes parties sont suffisamment indépendantes et des résultats intermédiaires sont régulièrement donnés afin que le candidat puisse avancer. Même si le problème n'a jamais été traité dans son intégralité, toutes les questions ont été résolues.

La répartition des notes des 1279 candidats français est la suivante, avec 29 notes potentiellement éliminatoires (note  $\leq 2$ ), et 4 notes égales à 20/20 :

$0 \leq N < 4$	7%
$4 \leq N < 8$	24%
$8 \leq N < 12$	36%
$12 \leq N \leq 16$	25%
$16 \leq N \leq 20$	8%

La moyenne s'établit à 10,0 et l'écart-type à 4,0.

Comme les années antérieures, nous commençons nos commentaires par des remarques d'ordre général, puis nous passons en revue le détail des questions. Il nous paraît important de conseiller aux élèves et à leurs professeurs de se reporter également aux rapports des années précédentes, dans lesquels nous exprimons aussi nos attentes, et donnons d'autres conseils et mises en garde.

L'épreuve vise à sélectionner des étudiants d'après des compétences scientifiques. Cela nécessite une bonne assimilation du cours, une certaine habileté à mener des calculs de façon rigoureuse, une aptitude à la réflexion et à l'interprétation de résultats, mais aussi des qualités d'expression écrite afin de faire part de façon INTELLIGIBLE des conclusions. « Rédiger » ne signifie pas écrire des phrases pédantes et alambiquées, mais décrire avec clarté et précision le raisonnement que conduit le candidat.

« L'expression du raisonnement », c'est-à-dire le cheminement de l'idée, est aussi importante à nos yeux que le résultat brut. Quelqu'un destiné à une carrière scientifique ou de décisions doit savoir transmettre ses réflexions. Apparemment, ces qualités ne sem-

blent pas importantes aux yeux de nombreux candidats, ou de ceux qui les préparent, alors qu'elles seront fondamentales dans leurs activités futures. Or, une démarche intellectuelle n'est comprise que quand elle peut s'expliquer sans ambiguïté, et c'est ce que nous demandons aux postulants.

Nous rappelons également que seul ce qui est exprimé dans la copie permet une évaluation, et que le doute n'est JAMAIS en faveur du candidat. Aussi nous lui recommandons de rester simple dans la rédaction, de veiller à référencer correctement les questions et à détailler le plus possible les calculs et les applications numériques (sans en oublier les unités!). Ces précautions, qui devraient être une habitude, nous permettent d'évaluer d'éventuelles erreurs au plus juste. Les élèves doivent se persuader que les copies sont LUES dans leur intégralité.

De nombreux candidats ont zéro à une application numérique car ils ne nous donnent que le résultat, et le résultat est faux. D'autres y grappillent néanmoins quelques points car le détail de leur copie nous permet de situer l'erreur, qui est très fréquemment une erreur de conversion d'unité.

Passons à présent en revue les différents aspects du problème. Pour chaque question, nous indiquons entre crochet, le pourcentage des copies ayant obtenu plus de la moitié des points attribués.

### Première partie

#### A

##### 1. [99 %]

La question demande d'établir un résultat d'hydrostatique très connu et n'a quasiment jamais posé de problème.

##### 2. [98 %]

Les seules erreurs ont été des erreurs de conversion d'unités.

#### B

##### 1. [70 %]

a) En se laissant guider par le texte la plupart des candidats ont obtenu la bonne expression. Des erreurs de signes fréquentes sont en grande partie dues à une confusion entre « concave » et « convexe ».

b) L'application numérique concernant une variation relative a posé des problèmes : la majorité des erreurs est venue d'une incompréhension de la signification d'un « pour mille », et du calcul du rapport  $\Delta x/x$ .

Des étourdis ont calculé un « pour cent » au lieu d'un « pour mille ».

Rappelons que le résultat demandé est celui de la question posée!

##### 2. [66 %]

a) Le petit problème de géométrie a été souvent bien abordé mais il semble parfois insurmontable et conduit à des développements très compliqués. Ceux qui lisent attentivement le texte et le comprennent n'ont pas dû éprouver de difficultés.

b) L'interprétation va de la simple constatation sur le signe, à des conclusions pertinentes sur le sens de la courbure et les hauteurs relatives du liquide dans le tube et dans le récipient. L'analogie avec le mercure a souvent été citée. Ce type de connaissance n'est pas exigé, mais nous l'accueillons favorablement lorsque qu'il permet d'illustrer des remarques intéressantes.

c) Ce premier calcul de hauteur potentielle pour la montée de la sève a permis quelques commentaires parfois un peu humoristiques, révélant que leurs auteurs suivaient la démarche proposée.

## C

### 1. [41 %]

a) La question porte sur les potentiels thermodynamiques et la fonction enthalpie libre. L'égalité du potentiel chimique de part et d'autre de la membrane n'échappe à personne, mais la principale confusion, ou ignorance, vient que l'on ne précise pas le système pour lequel on égalise  $\mu$ . D'où les nombreux raisonnements bancals, voire totalement incohérents, auxquels nous assistons.

**Comme souvent lorsque la réponse est suggérée, tous les moyens sont bons pour y aboutir. Au lieu de tromper le correcteur, ce comportement révèle l'incompétence du candidat et le dessert fortement.**

b) Cette question fait suite à la précédente, et son succès lui est lié. Ceux qui ont compris à quoi s'applique l'égalité des potentiels chimiques et qui savent traiter un calcul avec développement limité arrivent à établir l'expression demandée sans équivoque. D'autres préfèrent des méthodes « divinatoires », tant pis . . .

Néanmoins, nous avons pris en considération les remarques de ceux qui, n'ayant pas bien posé le problème, ont quand même tenté une approche rationnelle de la question.

c) Nous avons pris en compte toutes les réponses pertinentes, de la simple comparaison aux analyses les plus fines.

Cette question à la frontière avec le cours de chimie a permis aux candidats d'exprimer leurs connaissances sur les mélanges idéaux.

### 2. [64 %]

a) La difficulté porte ici sur la façon d'intégrer au calcul les quantités de sels minéraux. Cela n'a pas toujours été bien compris. Les ordres de grandeurs calculés sont parfois impressionnants, et les candidats s'en rendent souvent compte, ce qui est positif.

b) La question recèle le même genre de difficulté et a engendré le même type d'erreur. Le succès des deux questions était lié, aux applications numériques près.

c) Les commentaires dépendaient bien sûr des résultats numériques précédents et nous avons pu ainsi tester la cohérence des réponses. Malgré tout, certains répondent n'importe quoi, même en ayant bien traité les questions en amont. Ils n'ont pas compris ce qu'est la poussée radicaire, ils se contentent de faire des calculs sans les comprendre et c'est très dommageable.

d) Si l'application numérique est souvent correcte, il n'est pas toujours certain que le candidat comprenne bien ce qu'il calcule. Dans la plupart des cas, il s'est contenté de reprendre le calcul de la partie A sans aucune explication.

## D

### 1. [59 %]

Nous avons assisté à un éventail très large de réponses étayées d'arguments divers. Nous avons privilégié la rigueur et la cohérence.

### 2. [59 %]

a) Les formules étaient fournies par l'énoncé, il fallait donc se contenter de les appliquer avec un minimum de réflexion. Le problème principal rencontré a été une mauvaise expression du débit. L'interprétation des calculs en a laissé plus d'un perplexe. Encore une fois l'évaluation a été principalement dirigée par la cohérence des arguments évoqués.

b) Les réponses vagues et évasives n'ont aucune valeur. Là encore nous avons trouvé de tout, mais avons tenu compte de la cohérence.

c) Lorsque les valeurs numériques précédentes étaient aberrantes, la question perdait son sens. Les candidats malchanceux nous ont fait part de leur perplexité. Néanmoins, certains sont prêts à n'importe quels arguments pour justifier des énormités !

## E [68 %]

La question résumait et concluait les premières tentatives d'explication du phénomène. Nous avons eu des exposés clairs et très démonstratifs dans lesquels leurs auteurs montraient qu'il avait parfaitement compris le sens des mots « surpression » et « perte ». En effet, dans une très grande majorité de copies, la « perte de charge » a été interprétée comme un mécanisme favorisant la montée de la sève. Ce contresens est d'autant plus étonnant que le terme « perte de charge », déjà significatif en lui même, est fréquent en dynamique des fluides.

## Deuxième partie

### A

#### 1. [17 %]

Il s'agissait d'appliquer le même raisonnement, et donc une formule analogue, qu'en **I-A**, en prenant la précaution de bien compter la dénivellation. Plutôt que d'effectuer un raisonnement calme et méthodique, les candidats nous ont livré un résultat à moitié « deviné », sans justification de signe dans la formule, bref, un résultat obtenu sans réflexion COHERENTE. Quant au « remarquable » du résultat ainsi trouvé, il n'y avait plus rien à dire . . .

D'autres avaient sans doute trouvé ce qu'il fallait, mais ils ont été tellement surpris par le signe du résultat qu'ils l'ont effacé ou barré. Seuls ceux qui ont confiance en une démarche appliquée nous ont fourni des réponses non seulement justes, mais assorties de commentaires prouvant qu'ils avaient bien compris.

#### 2. [8 %]

Même si beaucoup de candidats ont récité leur cours de biologie du lycée, ils ont bien fait le lien entre le phénomène observé et l'expérience suggérée. Cependant, trop souvent, le commentaire s'est limité à de la paraphrase du texte, et donc ne prouvait rien.

#### 3. [20 %]

On ne pouvait répondre que si l'ordre de grandeur trouvé pour la dépression était correct et si l'on ne faisait pas d'erreur d'unité.

#### 4. [3 %]

Le phénomène lié aux pressions négatives ayant été très mal compris, la question a été très rarement résolue.

### B

#### 1. [71 %]

La principale erreur a été liée à l'évaluation de la surface.

#### 2. [53 %]

La question faisait allusion à des notions à la frontière du cours de chimie et a été bien abordée.

#### 3. [67 %]

L'application numérique n'a pas posé de problèmes, si ce n'est, comme toujours, des

erreurs de conversion d'unités.

4. [7 %]

Il fallait se dégager un peu du texte et voir l'articulation des différentes questions. Seuls ceux qui avaient déjà fait preuve de ces qualités ont pu dire des choses intéressantes.

## C

1. [85 %]

Une question de pur calcul qui a été bien traitée.

2. [79 %]

La discussion venait d'elle-même si la notion de stabilité était comprise. Nous n'avons pas tenu compte des réponses ne donnant que le signe du coefficient, sans justification.

3. [84 %]

Les candidats sont souvent arrivés au résultat parfois au prix de calculs très compliqués, mais sans doute mis en confiance par la donnée de la formule. Là encore, un peu de réflexion préalable devrait permettre au candidat de diriger ses calculs de façon plus efficace.

4. [86 %]

Quasiment tous ceux qui ont traité la question sont arrivés à l'équation.

5. [40 %] et 6. [65 %]

Le fait qu'une grande partie des candidats écrive n'importe quoi sans réfléchir apparaît de façon très nette dans les questions qui suivent. Ces questions « calculatoires » sont fréquemment abordées et semblent plaire aux élèves

Ceux qui ont tracé la courbe à partir de leur calculatrice ont souvent mal choisi l'échelle et ont donc tracé une courbe qui leur a paru sans aucun sens. Alors, ne trouvant que des pressions négatives, ils tracent « la valeur absolue » qui prend l'allure d'une branche d'hyperbole décroissante. Il est alors remarquable que ces candidats s'évertuent à calculer – et trouvent ! – les coordonnées du sommet  $C$  d'une courbe sur laquelle il n'en apparaît aucun !

La courbe à tracer avait pourtant une forte ressemblance avec le potentiel efficace de l'interaction newtonienne ... Ceux qui se sont aidé d'un rapide tableau de variations n'ont pas eu de courbe aberrante.

La recherche du domaine de stabilité a aussi été conduite de façon absurde. Il s'agissait de discuter, comme évoqué à la question **2**, du signe de  $X_T$ , donc de la position par rapport à la spinodale, et non pas du signe de sa dérivée ! Cette erreur grossière très fréquente

nous a étonnés, car cela nous semble faire appel à des notions mathématiques de base.

**7.** [15 %], **8.** [11 %] **et 9.** [5 %]

Le tracé des isothermes n'a pas été bien mené, sauf dans de rares cas. Le manque d'explication sur la façon d'obtenir ces courbes un peu complexes est sans doute lié au stockage de résultats dans la calculatrice, ressortis tels quels . . .

La signification du point critique comme limite de distinction des états fluides est bien connue, mais les propriétés mathématiques de l'isotherme en ce point le sont beaucoup moins, d'où le blocage observé.

Les explications relatives au « palier » ont malheureusement été de la pure fantaisie, mais l'égalité des potentiels chimiques traduisant le changement de phase a été mieux comprise.

La discussion portant sur la stabilité a conduit aux mêmes difficultés qu'en **5**.

## **D**

**1.** [22 %]

Le calcul se déduisait des résultats antérieurs et n'a pas posé de problème. La notion de « vérification », et de comparaison de résultats numériques, en revanche, n'a pas l'air très bien acquise. C'est pourtant un exercice fréquent pour un physicien, même débutant.

**2.** [24 %]

Encore une question purement calculatoire bien réussie par ceux qui l'ont abordée.

**3.** [10 %], **4.** [ $<1$  %] **et 5.** [ $<1$  %]

Les applications numériques ont souvent été justes. La discussion et la comparaison des valeurs sont parfois un peu hasardeuses, comme nous l'avions remarqué en **1**.

## **E**

**1.** [20 %]

Les commentaires pour cette question rejoignent les précédents.

**2.** [4 %]

Le calcul a souvent été mené jusqu'au bout, mais  $P_s$  et  $v_s$  n'ont pas eu beaucoup d'interprétation, ce qui confirme le manque de recul des élèves face aux calculs qu'ils effectuent.

**3.** [1 %] **et 4.** [ $<1$  %]

Deux copies seulement ont traité avec succès ces questions. Le développement limité commencé a rapidement été abandonné. Quelques candidats curieux se sont interrogés avec bonheur sur le sens de la valeur  $-1$  MPa, et en ont été récompensés !

L'augmentation du nombre de candidats explique sans doute cette impression de « médiocrité » qui cependant doit être relativisée. En effet, le nombre de « bonnes copies » reste stable, et nous sommes globalement satisfaits de voir que des étudiants savent se dégager de leur cours et de leurs calculs pour arriver à des conclusions mures et pertinentes. Certains semblent même éprouver de la curiosité, voire de l'intérêt pour la problématique, et en tirent un réel bénéfice. Souhaitons que les élèves de classes préparatoires suivent ces exemples et ne se limitent pas à apprendre à « reproduire » ou à « réciter » des méthodes stéréotypées. Les problèmes proposés favorisent cette ouverture d'esprit largement souhaitée dans les directives de programmes, et nous les encourageons à progresser dans ce sens.