

UE LP 105 : Thermodynamique et applications biophysiques

N° 9 – Comment la sève monte-t-elle dans les arbres ?

Année universitaire 2005-2006

Le but de ce problème est de comprendre la montée de la sève dans les arbres, en envisageant successivement plusieurs explications : pression hydrostatique, capillarité, osmose, viscosité et transpiration.

Dans tout le problème, on prendra $R = 8.3 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$, $T = 20^\circ\text{C}$, $P_0 = 1.0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ et on considérera que la sève est une solution diluée possédant les mêmes propriétés que l'eau ($\rho = 1.0 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$, $\sigma = 70 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$, $h = 1.0 \cdot 10^{-3} \text{ kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$).



I- Hydrostatique

1. En supposant que l'eau est incompressible, déterminer 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_1 peut atteindre l'eau soumise à une aspiration sous vide ?

II- Capillarité

3. Rappeler la loi de Jurin donnant l'élévation h d'un liquide (de masse volumique ρ et de coefficient de tension superficielle σ) dans un tube vertical de rayon r . On supposera que le liquide est parfaitement mouillant.
4. *Application numérique* : De quelle hauteur h_2 la sève brute peut-elle s'élever par capillarité dans les canaux de xylène qui la transportent ? On donne : $r_{\text{xylène}} \approx 25 \mu\text{m}$.

III- Osmose

5. Rappeler l'expression de la pression osmotique existant entre deux compartiments A et B à la température T séparés par une membrane semi-perméable (c'est à dire perméable au solvant, mais pas aux solutés). Le compartiment A ne contient que du solvant, et B contient des ions de concentration globale c .
6. *Application numérique* : Sachant que la concentration en sucres non dissociables dans la sève est de l'ordre de 10 g.L^{-1} , de quelle hauteur h_3 la sève peut-elle s'élever sous l'effet de la poussée radiculaire ? On considérera que la paroi des racines est semi-perméable, et que la concentration en sucre de l'eau qui entoure les racines est très inférieure à c .

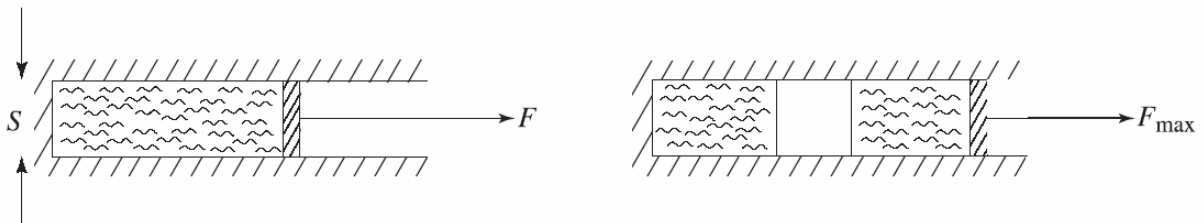
IV- Viscosité

- On rappelle que la perte de charge ΔP dans une conduite cylindrique de rayon r et de longueur L est donnée par la loi de Poiseuille : $\Delta P/L = (8\eta Q)/(\pi r^4)$, où Q est le débit volumique, et η est la viscosité dynamique du liquide s'écoulant dans la conduite.
- Application numérique* : Sachant que la vitesse d'ascension de la sève est de l'ordre de 0.5 m.h^{-1} , évaluer la perte de charge par mètre dans les arbres.
- Comparer les différents ordres de grandeur obtenus. Commenter l'influence de la viscosité. Conclure : peut-on expliquer la montée de la sève dans les arbres à ce stade ?

V- Transpiration

Un autre phénomène n'a pas encore été évoqué : l'évaporation de l'eau au niveau des feuilles. Afin d'en comprendre l'importance, cherchons tout d'abord à évaluer quelle tension (force de traction par unité de surface) l'eau liquide peut supporter sans se rompre.

- Considérons un cylindre de section S , parfaitement étanche et fermé par un piston sur lequel on tire avec une force F . Ce cylindre contient un liquide maintenu à température constante. A partir d'une certaine force que l'on cherche à estimer, le liquide se rompt (voir figure). 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. Exprimer à l'aide de la tension superficielle σ du liquide le travail W qu'il a fallu fournir pour créer cette séparation.



- W est l'opposé du travail des forces attractives à très courte portée δ (de l'ordre de 10nm) appelées forces de Van Der Waals, qui s'exercent entre les molécules de part et d'autre de la surface de séparation. En supposant que W soit fourni par une force constante F_{\max} sur la distance adéquate δ , calculer la tension F_{\max}/S pour l'eau.
- En déduire la pression de l'eau juste avant la rupture ? Ce résultat vous choque-t-il ?
- Evaluer la hauteur h_4 atteinte par la sève sous une telle différence de pression, en considérant que la pression au niveau des racines est de l'ordre de P_0 .
- Donner l'explication de la montée de la sève dans les arbres, en vous appuyant sur l'ensemble des résultats obtenus.