

Préambule

Ce document est une proposition de correction d'épreuve du CAPES externe de physique-chimie. Il ne doit pas être considéré comme un modèle de copie à rendre mais plutôt comme une aide à la correction.

Il est possible que quelques erreurs se soient glissées dans cette version. Si vous pensez en avoir trouvé une, merci de me contacter via l'adresse phy-chim@laposte.net ou en flashant le QR-code suivant ;



Si vous appréciez la qualité de ce document vous pouvez me soutenir en effectuant un don en cliquant [ICI](#) ou en flashant le QR-code ci-dessous :



Ce document est mis à disposition gratuitement selon les termes de la Licence Creative Commons : Attribution – Pas d'utilisation commerciale – Partage dans les mêmes conditions 4.0 International.



Table des matières

2022 – SUJET ZÉRO – ÉPREUVE ÉCRITE DISCIPLINAIRE APPLIQUÉE

Partie 1 – L’analogie en physique-chimie.....	3
Partie 2 – Étude d’un chute libre avec un smartphone.....	8
Partie 3 – Étude de la solubilité du dioxyde de carbone dans l’eau.....	11
Partie 4 – Étude de l’acidité comparée d’un jus de citron vert et d’un jus de citron jaune.....	16
Partie 5 – Détermination de la masse de Jupiter.....	18

Partie 1 – L'analogie en physique-chimie

1. a. On peut utiliser une analogie entre la loi d'additivité des intensités (loi des nœuds) et celle d'additivité des débits pour un fluide incompressible : « À la jonction de plusieurs canalisations, la somme des débits entrants est égale à la somme des débits sortants ».

Domaine cible : loi d'additivité des intensités

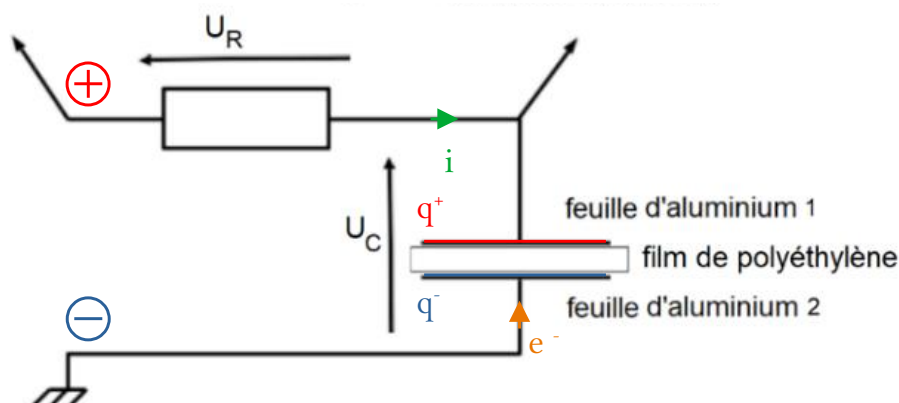
Domaine de référence : conservation du débit global

Mise en correspondance : les fils correspondent aux canalisations, les intensités aux débits et les nœuds aux jonctions de canalisations.

- b. La notion de débit peut être difficile à comprendre en cycle 4. Cette analogie peut également faire penser aux élèves que plus la section d'un fil est grande et plus l'intensité électrique est grande. Ce qui est erroné.

2. Proposition de correction :

1.1. L'entrée n°2 du microcontrôleur constitue la borne positive du circuit (5V). Le courant se déplace de la borne positive vers la borne négative et les électrons, de charge négative, vont dans le sens inverse du courant. Ainsi les électrons s'accumulent sur la feuille d'aluminium n°2 qui se charge négativement. La feuille n°1 perd des électrons et se charge positivement.



1.2. La loi des d'additivité des tensions dans une maille donne :

$$E = U_C + U_R \text{ avec } U_R = R \times i \text{ et } i = C \frac{dU_C}{dt} \text{ soit : } U_C + R \cdot C \times \frac{dU_C}{dt} = E$$

1.3. Les solutions de l'équation homogène $U_C + R \cdot C \times \frac{dU_C}{dt} = 0$ ont pour forme :

$$U_C = A \cdot e^{-t/(RC)}$$

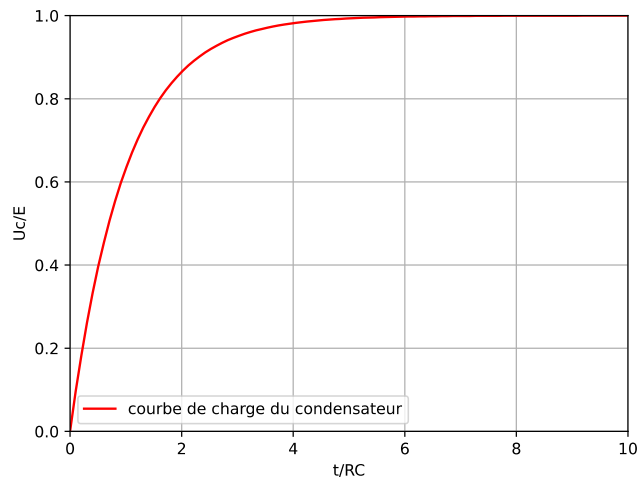
On cherche une solution particulière B constante. Elle vaut : $B = E$

Les solutions sont donc de la forme : $U_C = A \cdot e^{-t/(RC)} + E$

Il semble que l'énoncé comporte une erreur. Lors de la charge, la condition initiale est plutôt $U_C(0) = 0 \text{ V}$. Dans ce cas, en prenant $t=0\text{s}$ on obtient la condition $A = -E$.

En factorisant par E on obtient : $U_C = E \cdot (1 - e^{-t/(RC)})$

Remarque : on donne ci-dessous l'allure de la tension $U_C(t)$



1.4. Le temps caractéristique du circuit vaut $\tau = RC$. Lorsque $t \gg \tau$ on obtient $U_C(\infty) = E$

1.5. $U_C(5\tau) = E \cdot (1 - e^{-5\tau/(RC)}) = E \cdot (1 - e^{-5}) = 0,99 \times E$. Au bout de 5 temps caractéristiques le condensateur peut être considéré comme totalement chargé.

2.1. La courbe de charge a bien l'allure d'une fonction $A \times (1 - e^{-t/\tau})$. De plus sa valeur limite est bien de $E = 5\text{V}$. Le choix du modèle du circuit RC idéal est conforté.

2.2. 1^{ère} méthode : lecture graphique classique

On note t_0 le temps de début de charge. Au bout de $t=t_0+\tau$ la tension aux bornes du condensateur vaut :

$$U_C(t_0 + \tau) = E \cdot (1 - e^{-1}) = 0,63 \times E = 0,63 \times 5 = 3,15 \text{ V}$$

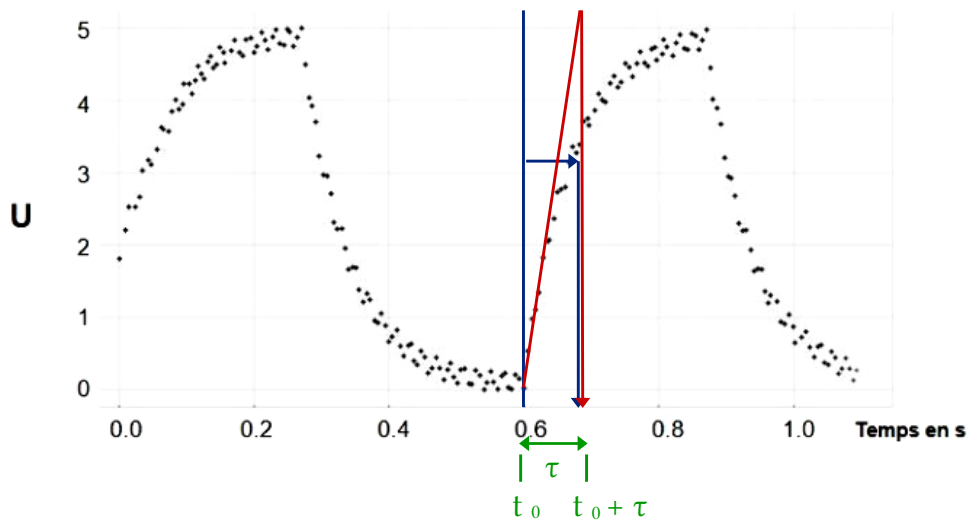
Graphiquement, on lit que cette tension est atteinte pour $t - t_0 = \tau = 0,08 \text{ s}$

Cela correspond à une capacité de : $C = \frac{\tau}{R} = \frac{0,08}{20 \cdot 10^6} = 4 \cdot 10^{-9} \text{ F} = 4 \text{ nF}$

2^{ème} méthode : méthode de la tangente à l'origine

L'intersection entre la tangente à l'origine de la courbe de charge et la droite horizontale d'ordonnée E se fait à $t=t_0+\tau$ avec t_0 le temps de début de charge. Graphiquement on lit $\tau = 0,08 \text{ s}$ et on retrouve $C = 4 \text{ nF}$.

Cette valeur est extrêmement faible. Le condensateur fabriqué est peu performant car beaucoup trop grand au vu de sa faible capacité.



Remarque 1 : Tout ceci devient plus simple si l'instant initial correspond au début de la charge. Dans ce cas $t_0=0$ s

Remarque 2 : Justification de la méthode de la tangente à l'origine.

La tangente à l'origine de la charge a pour coefficient directeur $U_c'(t_0)$

La dérivée de la tension aux bornes du condensateur vaut : $U_c' = \frac{E}{\tau} \times e^{(t-t_0)/\tau}$

À l'instant t_0 elle vaut : $U_c'(t_0) = E/\tau$

L'équation de la tangente à l'origine est donc : $y_1 = \frac{E}{\tau} \times (t - t_0)$.

L'intersection avec la courbe $y_2 = E$ se fait lorsque $y_1 = y_2$ en $t = t_0 + \tau$

Proposition de synthèse : Un condensateur est un composant électrique bipolaire capable d'accumuler des charges électriques négatives et positives sur ses armatures. La charge d'un condensateur est donnée par la relation $Q = C \cdot U_c$ avec :

- Q la charge électrique accumulée sur l'armature positive du condensateur exprimée en Coulomb C
- C la capacité du condensateur. C'est une constante exprimée en Farad F.
- U_c la tension aux bornes du condensateur exprimée en volt V.

La capacité d'un condensateur lui est propre, sa valeur peut aller de quelques nF (10^{-9} F) pour les plus petits à quelques centaines de mF (10^{-3} F) pour les plus gros.

L'intensité i , en ampère A, qui traverse le condensateur est donnée par :

$$i = \frac{dQ}{dt} = C \cdot \frac{dU_c}{dt}$$

La tension $U_c(t)$ aux bornes d'un condensateur lors de sa charge ou sa décharge lorsqu'il est intégré dans un circuit RC série est solution d'une équation différentielle linéaire du premier ordre de la forme $\frac{1}{R.C} \times U_c + \frac{dU_c}{dt} = E$.

La solution est du type $U_c = E \cdot (1 - e^{-t/(RC)})$ pour la charge et $U_c = E \cdot e^{-t/(RC)}$ pour la décharge.

Les condensateurs sont utilisés dans de nombreux capteurs comme certains accéléromètres ou les capteurs de niveau d'eau.

3. Dans cet isomorphisme la concentration en réactif qui disparaît joue le rôle de la charge Q du condensateur (proportionnelle à sa tension). Ces deux grandeurs sont régies par des équations différentielles d'ordre 1 et les solutions sont de type exponentielle décroissante.

4. **a. Proposition de document pour construire l'analogie :**

Lors de la décharge d'un condensateur en série avec une résistance la tension U_c aux bornes du condensateur répond à une équation différentielle du type $\frac{1}{R.C} \times U_c + \frac{dU_c}{dt} = 0$. La

solution de cette équation est du type : $U_c(t) = U_{c0} \times e^{-t/(RC)}$

Lors de la disparition du réactif E127 selon une cinétique d'ordre 1, sa vitesse de disparition donnée par $v_{E127} = -\frac{d[E127]}{dt}$ est proportionnelle à sa concentration $[E127]$. Cette

concentration répond alors à une équation différentielle du type $\frac{d[E127]}{dt} + k \times [E127] = 0$

ou k est une constante. La solution de cette équation est du type $[E127] = [E127]_0 \times e^{-k \cdot t}$

b. Le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ est défini par : $[E127]_{t_{1/2}} = \frac{[E127]_0}{2}$

Soit $[E127]_0 \times e^{-k \cdot t_{1/2}} = \frac{[E127]_0}{2}$ et $e^{-k \cdot t_{1/2}} = \frac{1}{2}$ c'est à dire : $t_{1/2} = \frac{\ln(1/2)}{-k} = \frac{\ln(2)}{k}$

Or, d'après les équations différentielles ci-dessus, k joue le rôle de $1/RC = 1/\tau$ donc :

$$\tau_{cinétique} = \frac{1}{k} = \frac{t_{1/2}}{\ln(2)}$$

c. Dans les 2 cas le phénomène étudié peut être considéré comme terminé au bout de 5τ . Au bout de 5 temps caractéristiques il ne subsiste que 1 % du réactif E127 et 1 % de la charge totale du condensateur (voir question 2 (1.5)).

d. Aide n°1 (très partielle) :

On rappelle que l'absorbance A d'une solution colorée est proportionnelle à la concentration de l'espèce chimique colorée qu'elle contient (dans la limite de $A < 1$). Sa concentration varie dans les mêmes proportions que l'absorbance.

Aide n°2 (plus complète) :

Pour prélever des volumes précis de solutions il faut utiliser des pipettes jaugées.

Avant d'utiliser un spectrophotomètre il faut penser à le régler en effectuant le blanc (voir notice)

Le temps de demi-réaction correspond au temps au bout duquel la concentration en réactif a été divisée par 2 (de même pour son absorbance).

e. Tout comme la décharge d'un condensateur dans un circuit RC série, la réaction de l'eau de Javel sur le E127 peut être considérée comme totale au bout de 5 temps caractéristiques.

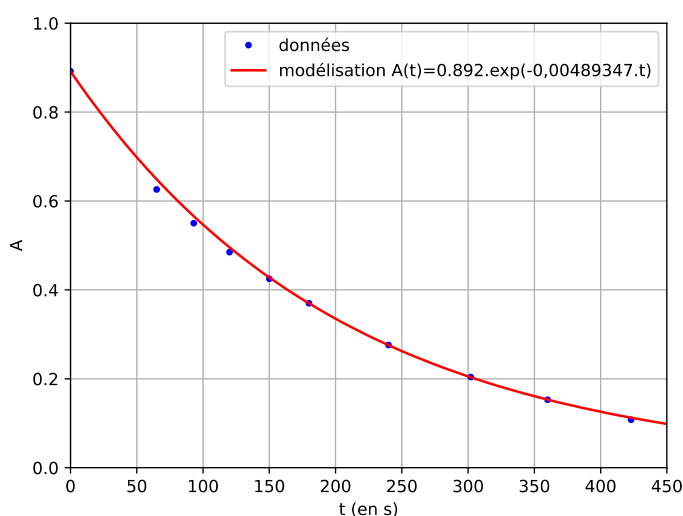
D'après les résultats d'expérience on obtient un temps de demi-réaction compris entre 120 et 150 secondes, mettons 135 s.

$$\text{On obtient donc } t_{\text{total}} = 5 \times \tau_{\text{cinétique}} = 5 \times \frac{t_{1/2}}{\ln 2} = 5 \times \frac{135}{\ln 2} = 974 \text{ s} = 16 \text{ min}$$

Le temps de décoloration total évalué à l'œil nu est sous estimée car la sensibilité de l'œil ne permet pas de déceler les dernières traces de colorant subsistants dans la solution en fin de réaction.

Remarque 1 : un ajustement des résultats expérimentaux par une exponentielle décroissante permettent d'évaluer plus précisément le temps de demi-réaction. Cela nécessite un ordinateur. Par exemple avec la modélisation ci-dessous on obtient $k = 0,00489347 \text{ s}^{-1}$ puis

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{0,00489347} = 142 \text{ s} \text{ ce qui est proche des } 135 \text{ s estimés précédemment.}$$

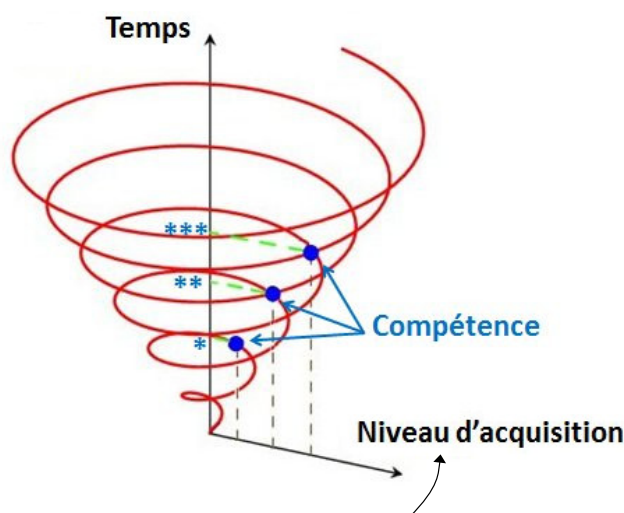


Remarque 2 : on peut aussi faire une régression linéaire de $\ln(A/A_0)=f(t)$ à la calculatrice pour évaluer le temps de demi-réaction (pour les élèves les plus à l'aise). Il faut au préalable saisir les valeurs de t dans la liste L_1 , celles de A dans la liste L_2 et faire calculer puis stocker celles de $\ln(A/A_0)$ dans L_3 . On utilise ensuite la fonction $\text{RegLin}(ax+b)$ sur L_1 ($=x$) et L_3 ($=y$). Le coefficient directeur « a » est égal à l'opposé de la constante de cinétique k . On obtient

$$-a=k=0,0049. \text{ Finalement } t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} = \frac{\ln 2}{0,0049} = 141 \text{ s}$$

Partie 2 – Étude d'un chute libre avec un smartphone

5. a. Une progression spiralaire consiste à revenir plusieurs fois sur la même notion/compétence pour la construire de manière progressive. Cela permet de reprendre les notions/compétences déjà vues avant de les aborder dans des dimensions plus complexes tout en variant les contextes.



- b. Les peignes ont une longueur en regard de $l=69 \mu\text{m}$, la distance entre 2 armatures est de $e=2,5 \mu\text{m}$ et l'épaisseur du dispositif est de $d=1 \mu\text{m}$. Deux tiges ont une surface en vis-à-vis de :

$$S = d \times l = 1.10^{-6} \times 69.10^{-6} = 69.10^{-12} \text{ m}^2$$

Pour une capacité élémentaire de :

$$C = \frac{\epsilon \times S}{e} = \frac{8,9.10^{-12} \times 69.10^{-12}}{2,5.10^{-6}} = 2,5.10^{-16} \text{ F} \text{ ce qui est extrêmement faible}$$

Lorsque le capteur subit une accélération vers la droite les tiges mobiles s'éloignent des tiges fixes, la distance e augmente et la capacité C diminue. À l'inverse sur le capteur subit une accélération vers la gauche, les tiges se rapprochent et la capacité augmente.

6. Cet élève commet l'erreur très répandue d'expliquer un mouvement par la présence d'une résultante des forces non nulle. En réalité aucune force n'est nécessaire pour entretenir un mouvement.

On peut répondre à cet élève que la raquette n'exerce plus aucune force sur la balle dès lors qu'elles ne sont plus en contact. La balle n'est donc soumise qu'à son propre poids vertical

vers le bas, ce qui n'empêche pas la balle de monter lors de la première phase de son mouvement.

On peut ajouter qu'il existe bien un lien entre force et mouvement : c'est la deuxième loi de Newton. Elle nous dit que c'est l'accélération de la balle, et non sa vitesse, qui est proportionnelle à la résultante des forces qu'elle subit.

Finalement on peut corriger l'analyse de l'élève comme suit : « À mesure que la balle s'élève, sa vitesse, positive, le long de l'axe vertical (orienté vers le haut) diminue car son accélération est négative (vers le bas) égale au champ de pesanteur. À l'altitude maximale la vitesse de la balle devient nulle puis elle devient négative : la balle redescend. »

7. Le système étudié est le smartphone. L'étude se fait dans le référentiel terrestre supposé galiléen. On suppose que le smartphone n'est soumis qu'à son propre poids et on néglige toute autre force.

La 2^e loi de Newton donne : $\vec{P} = m \cdot \vec{a}$ avec $\vec{P} = m \cdot \vec{g}$. Donc $\vec{a} = \vec{g}$ (chute libre)

En projection sur l'axe z vertical orienté vers le haut on obtient $a_z = -g$.

Par primitive on en déduit la vitesse verticale :

$$v_z = -g \cdot t + v_0 \text{ avec } v_0 = 0 \text{ m/s car le smartphone est lâché sans vitesse initiale.}$$

Puis la position verticale :

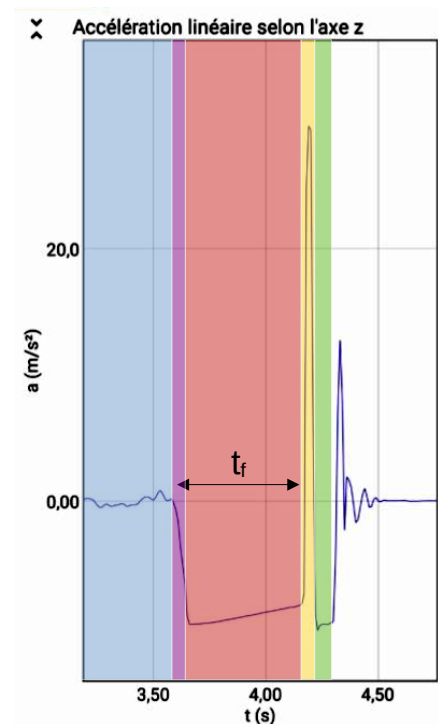
$$z = -\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 + h_0 \text{ avec } h_0 = 1,40 \text{ m}$$

Le smartphone touche le sol d'altitude $z_f = 0$ m à l'instant t_f . On en déduit que :

$$-\frac{1}{2} \cdot g \cdot t_f^2 + h_0 = 0 \text{ puis } g = \frac{2 \cdot h_0}{t_f^2}$$

8. Sur le graphique de l'accélération on distingue :

- Une phase d'accélération nulle, le smartphone est maintenu en l'air immobile.
- Une phase où l'accélération diminue, c'est la durée transitoire due au capteur.
- Une phase d'accélération négative constante (proche de -10 m/s^2), le smartphone est en chute libre.
- Une phase d'accélération fortement positive, le smartphone est freiné par le coussin.
- Une phase d'accélération négative, le smartphone rebondi (montée et descente)



• ...

9. Il faut choisir l'enregistrement n°1 obtenu sans morceau de carton attaché au smartphone pour se rapprocher au plus près du modèle de la chute libre (minimisation des frottements de l'air). Sur cet enregistrement on lit un temps de chute libre de $t_f = 0,57 \text{ s}$.

L'application numérique donne : $g = \frac{2 \times 1,40}{0,57^2} = 8,6 \text{ m/s}^2$.

Cette accélération légèrement inférieure à la valeur de référence de $9,81 \text{ m/s}^2$ s'explique par les frottements de l'air exercés sur le smartphone. On le perçoit sur la phase n°3 où l'accélération du smartphone diminue (en valeur absolue) du fait de ces frottements qui sont de plus en plus importants à mesure que le smartphone prend de la vitesse.

10. Proposition de consignes :

On souhaite étudier le mouvement de chute du smartphone.

Question 1 : Réalise l'expérience de lâché du smartphone. Sur l'enregistrement obtenu, identifie la portion correspondant à la chute du smartphone et mesure le temps de chute.

→ *Analyser un résultat d'expérience pour en extraire une valeur.*

Question 2 : À quelle condition peut-on dire que le smartphone est en chute libre ? Dans la suite on supposera que le smartphone est en chute libre.

→ *Connaître la définition d'une chute libre abordée en classe de 1^{ère}.*

Question 3 : Dans le référentiel le plus adapté, dresse le bilan des forces appliquées au smartphone et détermine l'expression de l'accélération $\vec{a}$ du smartphone.

→ *Mener une étude mécanique avec méthode et utiliser la 2^e loi de Newton*

Question 4 : Démontre que l'équation horaire de l'altitude $z(t)$ du smartphone vaut :

$$z(t) = -\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 + h_0 \text{ ou } h_0 \text{ est l'altitude initiale du smartphone à l'instant } t=0\text{s}.$$

→ *Utiliser des outils mathématiques comme la primitive*

Question 5 : À partir de l'équation précédente et de l'enregistrement de la question 1, calcule l'intensité de la pesanteur g .

→ *Effectuer un calcul littéral et numérique*

Question 6 : Après avoir mis ton résultat en commun avec ceux de tes camarades, calcule la valeur retenue pour l'intensité de la pesanteur et évalue l'incertitude de type A associée (voir fiche méthode).

→ *Exprimer un résultat avec son incertitude et avec le bon nombre de chiffres significatifs.*

Question 7 : Évalue le z-score du résultat obtenu (voir fiche méthode). Peut-on dire que le modèle de la chute libre décrit bien le mouvement de chute smartphone ?

Partie 3 – Étude de la solubilité du dioxyde de carbone dans l'eau

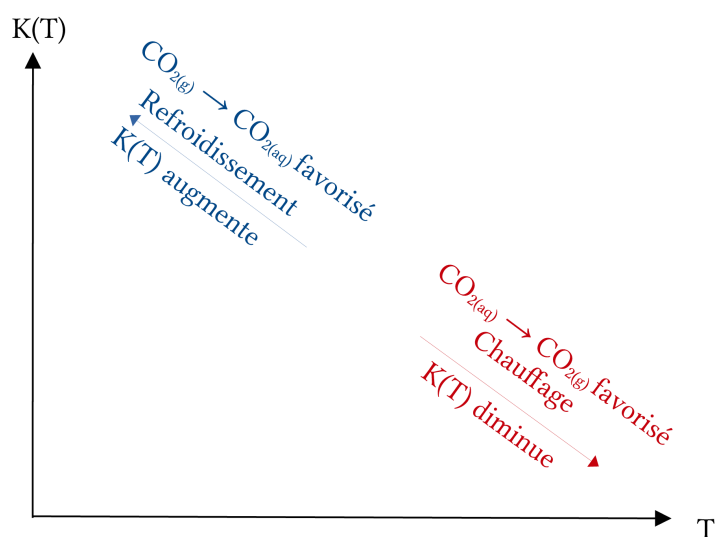
11. En solution aqueuse, le dioxyde de carbone CO_2 se comporte comme un acide associé au couple acide-base $\text{CO}_2/\text{HCO}_3^-$. En se solubilisant dans l'eau distillée, initialement de pH=7, on obtient une solution acide, l'indicateur vire au jaune (pH=6). Lorsqu'on chauffe cette eau distillée l'indicateur vire au vert (pH=7). Cela signifie que le chauffage de l'eau distillée déplace l'équilibre de la réaction $\text{CO}_{2(\text{g})} = \text{CO}_{2(\text{aq})}$ dans le sens indirect (vers la gauche).

La loi de Van't Hoff s'écrit de la manière mathématique suivante : $\frac{d \ln K(T)}{dT} = \frac{\Delta_r H^0}{R \cdot T^2}$

Si la réaction est exothermique (dans le sens direct) alors son enthalpie standard de réaction est négative $\Delta_r H^0 < 0 \text{ J/mol}$

Dans ce cas, d'après la loi de Van't Hoff la dérivée du logarithme de sa constante d'équilibre $K(T)$ par rapport à la température est négative ce qui signifie que (le logarithme de) la constante d'équilibre diminue lorsque la température augmente.

Cette diminution de la constante d'équilibre se traduit par une évolution du système dans le sens indirect. C'est bien ce que l'on observe ici donc la réaction de dissolution du dioxyde de carbone dans l'eau est exothermique, celle de passage à l'état gazeux est endothermique.



Ceci est un schéma, $K(T)$ N'est PAS une fonction affine de T

Remarque : le principe de modération de Le Chatelier aboutit à la même conclusion. Il stipule que lorsqu'un système physico-chimique en équilibre est soumis à une perturbation, ce dernier évolue de manière à s'opposer à la perturbation. Dans notre cas, on chauffe le

milieu réactionnel donc l'équilibre se déplace de manière à refroidir ce milieu réactionnel c'est-à-dire dans le sens endothermique (sens indirect ici).

12. Question 1 : On peut considérer que les 2 premiers types de réponse comptant pour 28 % et 24 % du total sont fausses. Il n'y a pas de relation simple entre les quantités de matière à l'équilibre et les nombres stœchiométriques et un équilibre chimique n'est pas statique.

On peut aussi considérer que les 9 % d'élèves qui considèrent que les réactifs et les produits sont présents à l'équilibre se trompent en partie. Certains produits ou réactifs peuvent être totalement absents à l'équilibre.

13. Question 2 : La constante d'équilibre s'exprime comme suit :

$$K = Ka = \frac{[H_3O^+] \times [A^-]}{[AH]} = \frac{x_f^2}{c_0 - x_f} \text{ avec } x_f \text{ l'avancement final de la réaction (en mol/L)}$$

$$\text{On en déduit : } x_f^2 + x_f \cdot Ka - c_0 \cdot Ka = 0$$

Il faut résoudre ce polynôme du second degré pour obtenir la valeur de l'avancement final.

$$\text{Le discriminant vaut : } \Delta = Ka^2 + 4 \times c_0 \times Ka = (10^{-4})^2 + 4 \times 1,00 \cdot 10^{-5} \times 10^{-4} = 1,4 \cdot 10^{-8}$$

On obtient 2 racines :

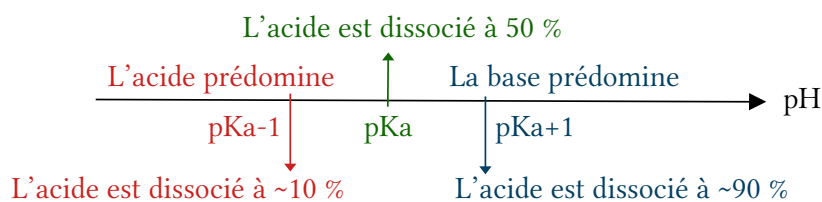
- $x_f^- = \frac{-Ka - \sqrt{\Delta}}{2} = -\frac{10^{-4} + \sqrt{1,4 \cdot 10^{-8}}}{2} = -1,1 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$ impossible car négatif
- $x_f^+ = \frac{-Ka + \sqrt{\Delta}}{2} = \frac{-10^{-4} + \sqrt{1,4 \cdot 10^{-8}}}{2} = 9,2 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L}$

$$\text{Le taux de dissociation de l'acide vaut : } \frac{[A^-]}{c_0} = \frac{x_f^+}{c_0} = \frac{9,2 \cdot 10^{-6}}{1,00 \cdot 10^{-5}} = 0,92 = 92 \%$$

Ici près de 63 % des élèves se trompent car la constante d'acidité Ka est faible ce qui suggère que les quantités de produits sont bien inférieures à celles de réactifs donc que l'acide est peu dissocié.

Remarque : un raisonnement sur le pKa aurait également permis de conclure. Si l'acide avait été totalement dissocié on aurait atteint un pH de $pH_{min} = -\log c_0 = -\log(1,00 \cdot 10^{-5}) = 5$

En réalité comme la réaction de l'acide sur l'eau n'est pas totale on a $pH > 5$ donc $pH > pKa + 1$ ce qui signifie que l'acide est dissocié à plus de 90 %.



En effet on peut écrire $pH = pKa + \log\left(\frac{[Base]}{[Acide]}\right)$ et lorsque $pH = pKa + 1$ alors

$\log\left(\frac{[Base]}{[Acide]}\right) = 1$ soit $[Base] = 10 \times [Acide]$ il y a 10 fois plus de base que d'acide ce qui

signifie que ce dernier est dissocié à $\frac{10}{10+1} = 0,91 \approx 90\%$

Question 3 : Le quotient de réaction initial vaut : $Q = \frac{[Fe^{3+}]}{[Fe^{2+}] \cdot [Ag^+]} = \frac{0,1}{0,1 \times 0,1} = 10$.

On a $Q > K$ donc la réaction devrait se faire dans le sens indirect qui consommerait l'argent solide (ce qui est impossible car l'argent solide est absent du milieu réactionnel).

Ici 46 % des élèves se trompent. Ils considèrent certainement qu'une constante de réaction égale à 3,2 suggère qu'il doit y avoir 3,2 fois plus de produits que de réactifs. Cela nécessiterait que la réaction se fasse dans le sens direct.

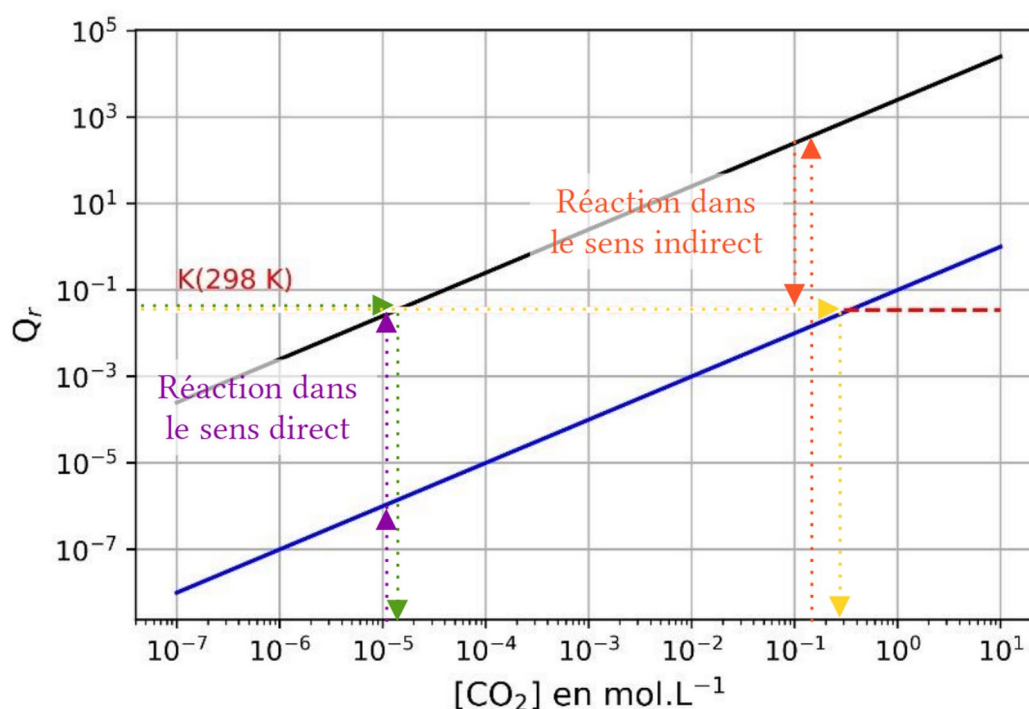
14. Proposition de correction de l'activité 3.D

Question 1 : Dans la bouteille $[CO_{2(aq)}] = 0,13 \text{ mol/L} \approx 10^{-1} \text{ mol/L}$. D'après la figure 3D-1 le quotient de la réaction de dissolution du CO_2 gazeux vaut environ $Qr = 3 \cdot 10^2$ soit bien plus que la constante d'équilibre de $K = 3,4 \cdot 10^{-2}$. La réaction se fait donc dans le sens indirect : le CO_2 aqueux passe à l'état gazeux et forme des bulles dans le liquide.

Question 2 : Au bout d'une semaine on peut considérer que l'état d'équilibre est atteint. On a donc $Qr = K$ et d'après la figure 3D-1 la concentration en CO_2 dissout est d'environ $1,4 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L} \rightarrow$ réponse i.

Question 3 : Dans l'eau plate on a $[CO_{2(aq)}] = 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$. À l'air libre, pour cette concentration de CO_2 on a $Qr = K$. En revanche sous une pression de 10 bar de CO_2 , avec la même concentration de CO_2 on a $Qr < K$. Par conséquent la réaction de dissolution du CO_2 se fait dans le sens direct : le CO_2 passe à l'état aqueux.

Question 4 : Dans la machine de gazéification l'équilibre est atteint lorsque $Qr = K$ c'est-à-dire à une concentration de $[CO_{2(aq)}] = 2 \cdot 10^{-1} \text{ mol/L}$



15. Cette activité montre que même sans calcul (ceci peuvent rebuter certains élèves) la comparaison graphique entre le quotient de réaction et la constante d'équilibre permet de déterminer le sens d'évolution spontanée d'une réaction dans différentes conditions. Elle laisse entrevoir que cette partie du programme sur les équilibres chimiques, en général appliquée à des solutions aqueuses, peut en réalité être appliquée à des systèmes plus variés comme ceux impliquant une espèce chimique gazeuse. Elle montre également que la constante d'équilibre dépend seulement de la température (et pas de la pression).

En ce qui concerne les conceptions erronées, cette activité permet de montrer aux élèves que l'analyse des seuls nombres stœchiométriques de la réaction étudiée ne permet pas de prédire le sens d'évolution spontané d'un système chimique.

16. En revanche, cette activité ne permet de contrecarrer ni la pensée selon laquelle l'équilibre chimique est statique ni celle selon laquelle tous les produits et réactifs sont présents à l'équilibre.
17. a) Correction de la copie de l'élève

Sur le document 2, identifie l'origine des émissions des dioxyde de carbone.

Le dioxyde de carbone vient activités humaine.
des

Sur le document 2, identifie les "puits de carbone", c'est-à-dire les réservoirs qui absorbent le dioxyde de carbone.

Les puits de carbone sont les plantes et les océans

Explique brièvement les processus d'absorption qui sont en jeu pour ces puits de carbone

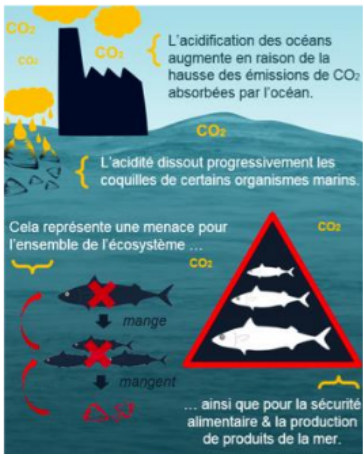
Dissolution : c'est lorsque l'on met un solide dans l'eau, comme du sel et qu'il fond.

Photosynthèse: c'est ce qui permet aux plantes de pousser.

En t'appuyant sur les documents, explique en quoi le rôle des océans est essentiel pour limiter le réchauffement climatique.

Les océans absorbent la moitié du dioxyde de carbone, qui est un gaz à effet de serre, donc c'est bon pour l'environnement et pour la planète. Les océans aident les plantes à dépolluer la planète.

Pour aller plus loin



Source : lemonde.fr

À l'aide de l'infographie ci-contre, explique l'impact des émissions de dioxyde de carbone dans l'atmosphère sur l'écosystème marin.

Des océans deviennent de l'eau gazeuse, ce qui n'est pas bon pour les poissons car l'eau gazeuse n'est pas bonne pour leur santé. Le dioxyde de carbone pèse l'air et les océans, il faut arrêter d'en fabriquer.

Non la formation de bulles de CO_2 traduirait le passage de CO_2 de l'eau de mer (forme dissoute) vers l'atmosphère (forme gazeuse). Or le schéma montre l'inverse.

Appréciation globale : bon ensemble mais attention à la précision des termes employés. Par exemple le terme « fond » n'est pas approprié lorsqu'on parle de dissolution. De même le terme « pollue » est trop imprécis.

b) Les deux conceptions erronées de l'élève sont :

- la confusion entre dissolution et fusion
- la mauvaise compréhension du phénomène de passage l'état gazeux d'un gaz dissout (formation de bulles).

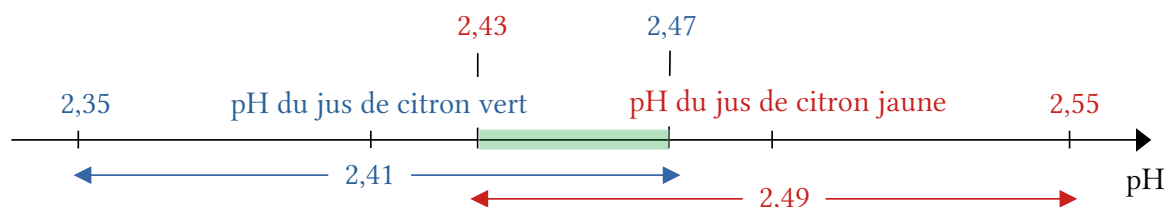
c) L'illustration des émissions de CO_2 par des usines (et un aéroréfrigérant !?) avec des nuages de fumées laisse penser que le dioxyde de carbone est un polluant aux même titre que les oxydes d'azote par exemple et qu'il est lui-même nocif pour la santé des organismes. En réalité ce sont les phénomènes physiques (effet de serre) et chimiques (dissolution et acidification) qu'il engendre qui sont problématiques.

De plus le corpus et l'introduction portent plus sur la problématique de l'effet de serre que sur l'acidification des océans. Ainsi la partie « contexte » serait plus adaptée pour une activité sur la composition de l'air.

Pour que les élèves comprennent bien que le CO_2 de l'atmosphère subit une transformation chimique de type dissolution il aurait fallu indiquer les états physiques du dioxyde de carbone dans la dernière infographie. Il aurait aussi fallu éviter d'employer le verbe « absorber » dans les questions car il laisse supposer que le CO_2 est simplement capté sans subir aucune transformation.

Partie 4 – Étude de l'acidité comparée d'un jus de citron vert et d'un jus de citron jaune

18. Un élève pourrait penser que comme l'écart entre les 2 résultats ($2,49 - 2,41 = 0,08$) est supérieur à l'incertitude type (0,06) alors la mesure au pH-mètre permet de conclure. En réalité l'incertitude type entache les deux mesures et les 2 plages d'incertitudes se chevauchent. Il est impossible de conclure de manière certaine.



Il faut donc indiquer à l'élève que chacune des mesures réalisées est entachée d'une incertitude.

19. Proposition de questions pour l'exploitation de la manipulation n°3 :

Question 2 : Exprime la concentration en acide citrique de la solution diluée notée $c_{A,f}$ en fonction des grandeurs c_0 , V_{eq} et V_0 puis calcule la pour chacun des deux jus dilués.

→ *Capacité exigible : Exploiter un titrage pour déterminer une concentration*

Question 3 : Déduis en la concentration en acide citrique notée $c_{A,m}$ de chacun des jus non dilués.

→ *Utilisation de la formule de la dilution vue en 2nd et 1^{ère}*

Question 4 : Calcule les incertitudes types sur les concentrations des jus dilués puis celles sur les jus non dilués.

→ *Capacité exigible : Évaluer, à l'aide d'une formule fournie, l'incertitude-type d'une grandeur s'exprimant en fonction d'autres grandeurs dont les incertitudes type sont connues*

Question 5 : Représente sur un même axe gradué les concentrations en acide citrique des deux jus non dilués avec leurs plages d'incertitude.

→ *Construction d'éléments visuels pour faciliter la comparaison de grandeurs expérimentales accompagnées de leurs incertitudes.*

Documents complémentaires à fournir à l'élève (voir les notes préparatoires du professeur) :

- fiche méthode pour calculer une incertitude composée
- incertitudes type des éléments de verrerie.

20. Question 1 : On prend les valeurs des notes préparatoires du professeur :

- Pour le jus de citron vert dilué : $V_{\text{éq}} = (8,2 \pm 0,2) \text{ mL}$
- Pour le jus de citron jaune dilué : $V_{\text{éq}} = (7,4 \pm 0,2) \text{ mL}$

Question 2 : L'équation de la réaction support de titrage $1 \text{ AH}_{3(aq)} + 3 \text{ HO}^-_{(aq)} = \text{A}^{3-}_{(aq)} + 3 \text{ H}_2\text{O}_{(l)}$

nous indique que, à l'équivalence : $\frac{n(\text{HO}^-)_{\text{versé}}}{3} = \frac{n(\text{AH}_3)_{\text{initial}}}{1}$

De plus on sait que $n(\text{HO}^-)_{\text{versé}} = c_0 \times V_{\text{éq}}$ et $n(\text{AH}_3)_{\text{initial}} = c_{A,f} \times V_0$

On en déduit donc que :

$$c_{A,f} = \frac{c_0 \times V_{\text{éq}}}{3 \times V_0} \text{ avec une incertitude type } u(c_{A,f}) = c_{A,f} \times \sqrt{\left(\frac{u(c_0)}{c_0}\right)^2 \times \left(\frac{u(V_{\text{éq}})}{V_{\text{éq}}}\right)^2 \times \left(\frac{u(V_0)}{V_0}\right)^2}$$

- Pour le jus de citron vert dilué : $c_{A,f} = \frac{0,1005 \times 8,2 \cdot 10^{-3}}{3 \times 10 \cdot 10^{-3}} = 0,02747 \text{ mol/L}$

$$u(c_{A,f}) = 0,02747 \times \sqrt{\left(\frac{0,0004}{0,1005}\right)^2 \times \left(\frac{0,2}{8,2}\right)^2 \times \left(\frac{0,04}{10}\right)^2} = 0,0007 \text{ mol/L}$$

- Pour le jus de citron jaune dilué : $c_{A,f} = \frac{0,1005 \times 7,4 \cdot 10^{-3}}{3 \times 10 \cdot 10^{-3}} = 0,02479 \text{ mol/L}$

$$u(c_{A,f}) = 0,02479 \times \sqrt{\left(\frac{0,0004}{0,1005}\right)^2 \times \left(\frac{0,2}{7,4}\right)^2 \times \left(\frac{0,04}{10}\right)^2} = 0,0007 \text{ mol/L}$$

Question 3 : La formule de la dilution donne $c_{A,f} \times V_f = c_{A,m} \times V_m$

La concentration en acide citrique de la solution mère vaut : $c_{A,m} = c_{A,f} \times \frac{V_f}{V_m}$

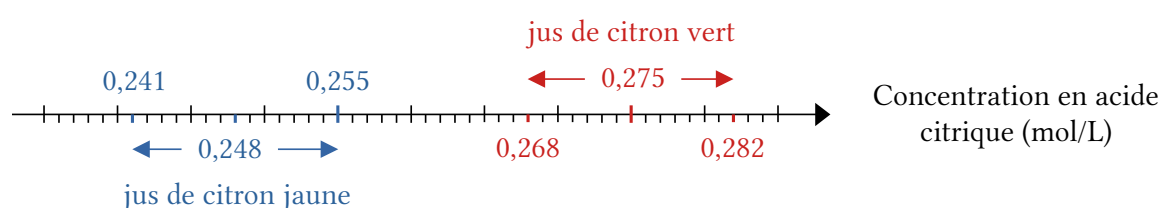
- Pour le jus de citron vert : $c_{A,m} = 0,0275 \times \frac{100}{10} = 0,275 \text{ mol/L}$

$$u(c_{A,m}) = 0,275 \times \sqrt{\left(\frac{0,0007}{0,0275}\right)^2 \times \left(\frac{0,2}{100}\right)^2 \times \left(\frac{0,04}{10}\right)^2} = 0,007 \text{ mol/L}$$

- Pour le jus de citron jaune : $c_{A,m} = 0,0248 \times \frac{100}{10} = 0,248 \text{ mol/L}$

$$u(c_{A,m}) = 0,248 \times \sqrt{\left(\frac{0,0007}{0,0248}\right)^2 \times \left(\frac{0,2}{100}\right)^2 \times \left(\frac{0,04}{10}\right)^2} = 0,007 \text{ mol/L}$$

Question 4 :



Question 5 : Les résultats permettent de répondre avec certitude puisque les deux plages d'incertitudes sont distinctes : le jus de citron vert est légèrement plus acide que le jus de citron jaune.

Partie 5 – Détermination de la masse de Jupiter

21. 1^{re} loi de Kepler : les planètes décrivent une trajectoire en forme d'ellipse dont le Soleil S occupe l'un des deux foyers.

2^e loi de Kepler : le segment [PS] (où P est la planète) balaye des aires égales dans des temps égaux.

3^e loi de Kepler : le carré de la période « T » de révolution d'une planète est proportionnel au cube du demi-grand axe « a » de son ellipse : $T^2/a^3 = k$

22. Remarque : Le programme fourni contient de nombreuses erreurs.

- Aux lignes 14, 19, 24 il faut substituer le mot « rayon » par « période »
- Lignes 35-36 il faut corriger par « rayon de l'orbite au cube » et « période de révolution au carré ».
- Ligne 46 il faut remplacer la variable « pente » par « rapport »

a) La fonction `plt.plot()` prend comme argument 2 listes de 4 éléments qui sont « acube » et « Tcarre ». Le tracé (`plt.show()`) doit fournir une droite traduisant la proportionnalité attendue entre T^2 et a^3 conformément à la 3^e loi de Kepler.

b) Exprimons la constante k de la 3^e loi de Kepler en fonction d'autres paramètres.

Soit une planète de masse m, d'orbite supposée circulaire de rayon r de vitesse v et d'accélération a. En coordonnées cylindriques, le vecteur position de la planète s'écrit :

$$\vec{r} = r \cdot \vec{u}_r$$

Sa vitesse (orthoradiale) s'écrit : $\vec{v} = v \cdot \vec{u}_\theta = r \cdot \omega \cdot \vec{u}_\theta + \underbrace{\frac{dr}{dt} \cdot \vec{u}_r}_{=0 \text{ car } r=\text{cste}} \quad (A)$

Son accélération (radiale) s'écrit : $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = a \cdot \vec{u}_r = -r \cdot \omega^2 \vec{u}_r \quad (B)$

De plus la vitesse linéaire de la planète vaut : $v = r \cdot \omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{T} \quad (C)$

La force de gravitation exercée par le Soleil sur la planète a pour expression :

$$\vec{F}_g = -G \cdot \frac{M_s \cdot m}{r^2} \cdot \vec{u}_r \quad (D)$$

Dans le référentiel géocentrique, la 2^e loi de Newton combinée à la loi de la gravitation universelle (de Newton !) donne : $m \times \vec{a} = \vec{F}_G$.

Et peut se réécrire : $G \cdot \frac{M_{\text{Soleil}}}{r^2} = r \cdot \omega^2$ en utilisant (B) et (D)

Soit $G \cdot \frac{M_s}{r^2} = \frac{v^2}{r}$ puis $G \cdot \frac{M_s}{r^2} = \frac{(2\pi r/T)^2}{r}$ en utilisant (C).

Finalement on obtient la 3^e de Kepler : $k = \frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{M_s \cdot G} \quad (E)$

Finalement la formule $4\pi^2/G.k$ de la ligne 46 du programme fournit bien la valeur de la masse du Soleil.

Remarque : rappel sur les coordonnées cylindriques

Le repère cartésien $(O, \vec{u}_x, \vec{u}_y)$ est fixe et le repère cylindrique $(O, \vec{u}_r, \vec{u}_\theta)$ est en rotation à

la vitesse angulaire $\omega = \frac{d\theta}{dt}$ autour de O.

En 2D, un point M peut être repéré par :

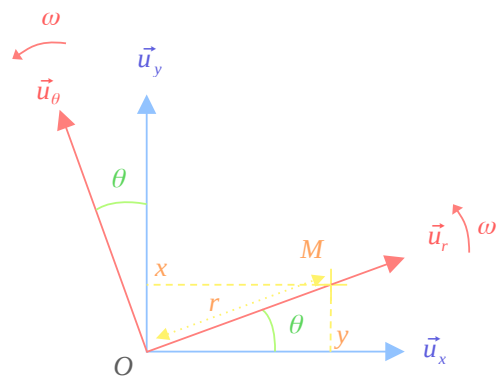
$$\vec{OM} = x \cdot \vec{u}_x + y \cdot \vec{u}_y \text{ dans le repère cartésien}$$

$$\vec{OM} = r \cdot \vec{u}_r \text{ dans le repère cylindrique}$$

On peut décomposer les vecteurs du repère cylindrique mobile comme suit :

$$\vec{u}_r = (\vec{u}_r \cdot \vec{u}_x) \vec{u}_x + (\vec{u}_r \cdot \vec{u}_y) \vec{u}_y = \cos \theta \cdot \vec{u}_x + \sin \theta \cdot \vec{u}_y$$

$$\vec{u}_\theta = (\vec{u}_\theta \cdot \vec{u}_x) \vec{u}_x + (\vec{u}_\theta \cdot \vec{u}_y) \vec{u}_y = -\sin \theta \cdot \vec{u}_x + \cos \theta \cdot \vec{u}_y$$



Ces 2 vecteurs étant en mouvement il est utile de savoir les dériver par rapport au temps (on

rappelle que $\frac{df(x_1)}{dx_2} = \frac{df(x_1)}{dx_1} \cdot \frac{dx_1}{dx_2}$) :

$$\frac{d\vec{u}_r}{dt} = \frac{d \cos \theta}{d \theta} \cdot \frac{d \theta}{dt} \cdot \vec{u}_x + \frac{d \sin \theta}{d \theta} \cdot \frac{d \theta}{dt} \cdot \vec{u}_y = -\sin \theta \cdot \omega \cdot \vec{u}_x + \cos \theta \cdot \omega \cdot \vec{u}_y = \omega \cdot \vec{u}_\theta$$

$$\frac{d\vec{u}_\theta}{dt} = \frac{d(-\sin \theta)}{d \theta} \cdot \frac{d \theta}{dt} \cdot \vec{u}_x + \frac{d(\cos \theta)}{d \theta} \cdot \frac{d \theta}{dt} \cdot \vec{u}_y = -\cos \theta \cdot \omega \cdot \vec{u}_x - \sin \theta \cdot \omega \cdot \vec{u}_y = -\omega \cdot \vec{u}_r$$

c) La liste « rapport » contient les 4 valeurs de Tcarre/acube (ligne 40). La variable « moyenne » contient la moyenne de ces 4 valeurs (ligne 41). Cette moyenne permet de réduire l'incertitude du résultat final qui découle des incertitudes sur chaque valeur de période/rayon des orbites planétaires et du fait que ces orbites ne sont pas strictement circulaires. On peut également espérer corriger les effets des planètes les unes sur les autres qui viennent perturber leurs orbites.

23. a) Le rayon de l'orbite de chaque satellite correspond au maximum de la distance apparente Rapparent. Ainsi à partir du tableau du document 5-C les élèves peuvent lire cette distance. Les élèves peuvent également déterminer à partir du graphique du document 5-C la période de révolution orbitale de manière graphique ou bien à l'aide d'une modélisation sinusoïdale sur un grapheur.

Ainsi on lit les rayons d'orbites suivants :

- $R_{Io} = 2,95 \times 139820 = 4,12 \cdot 10^5 \text{ km}$
- $R_{Europa} = 4,72 \times 139820 = 6,60 \cdot 10^5 \text{ km}$
- $R_{Ganymede} = 7,45 \times 139820 = 10,4 \cdot 10^5 \text{ km}$
- $R_{Callisto} = 13,15 \times 139820 = 18,4 \cdot 10^5 \text{ km}$

On mesure les périodes orbitales suivantes :

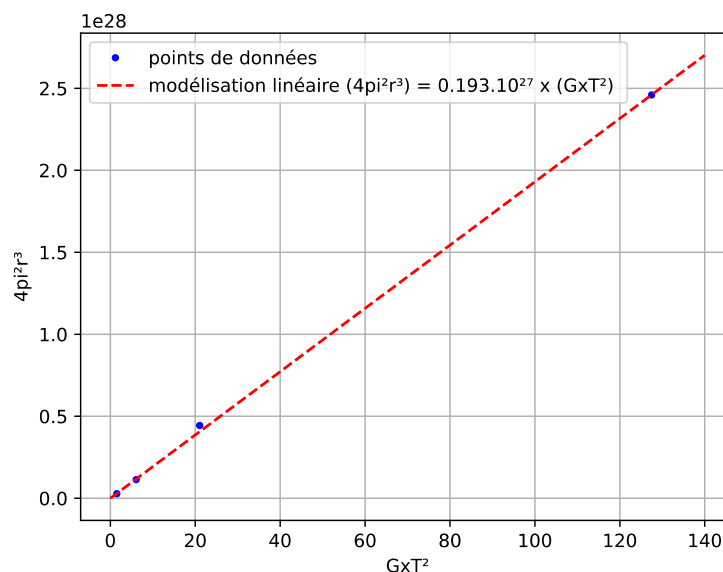
- $T_{Io} = \frac{132-6}{3} = 42 \text{ h}$
- $T_{Europa} = 102 - 18 = 84 \text{ h}$
- $T_{Ganymede} = (108 - 30) \times 2 = 156 \text{ h}$
- $T_{Callisto} = (108 - 12) \times 4 = 384 \text{ h}$

Il ne reste plus qu'à remplacer les valeurs concernant les planètes par celles des satellites de Jupiter et au lieu de fournir la masse du Soleil, le programme fournira celle de Jupiter.

Remarque : On peut alors calculer la masse de Jupiter à partir des informations sur ses

satellites. La 3^e loi de Kepler donne : $k = \frac{T^2}{r^3} = \frac{4 \pi^2}{M_J \cdot G}$ soit $(4 \pi^2 \cdot r^3) = M_J \times (G \cdot T^2)$

Une régression linéaire de $(4\pi^2 \cdot r^3)$ en fonction de $(G \cdot T^2)$ donne $M_J = 1,93 \cdot 10^{27} \text{ kg}$



b) On fournit aux élèves le programme en laissant vides :

- les lignes 31-32 pour les calculs et conversions
- les lignes 33-38 pour le tracé du graphique $T^2=f(a^3)$
- les lignes 40-44 pour l'évaluation de la constante k de la 3^e loi de Kepler avec son incertitude

On pourra également supprimer les lignes 5 à 25 et demander aux élèves de saisir directement les valeurs des rayons orbitaux a et périodes orbitales T dans les listes a et T .

On adapte les lignes 46-47 en remplaçant « pente » par « k » et « Soleil » par « Jupiter »

Proposition de consignes :

Question 1 : À l'aide du tableau et du graphique fournis évalue le rayon orbital a et la période orbitale T de chacun des satellites de Jupiter. Saisi ces valeurs dans les 2 listes a et T du programme.

Question 2 : Complète la partie « #Calcul des constantes a^3 et T^2 » de manière à stocker les valeurs de a^3 et T^2 (dans les unités du système international) de chacun des 4 satellites de Jupiter dans 2 listes.

Question 3 : Ajoute les lignes nécessaires pour tracer le graphique $T^2=f(a^3)$ et vérifie que la loi de Kepler est validée.

Question 4 : Dans la partie « #Moyenne et écart-type », ajoute les lignes qui permettent de calculer et afficher la valeur moyenne de $k=T^2/a^3$ de la 3^e loi de Kepler assorti de son incertitude.

Question 5 : Exécute le programme et présente la valeur de la masse de Jupiter avec son incertitude.

24. L'écriture d'un programme permet à l'élève

- de réaliser par lui-même la partie calculatoire en réinvestissant les formules et lois physiques.
- de calculer facilement des incertitudes à l'aide de fonctions dédiées sans pour autant les fournir clé en main sans explication.
- de saisir le réel intérêt de l'informatique pour réaliser des calculs répétitifs