

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

Bac blanc du vendredi 17 mars 2006 - Lycée Élie Cartan - La Tour du Pin

Physique - Chimie

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 3h30

COEFFICIENT : 8 pour les spécialités physique et chimie - 6 pour les autres

L'usage des calculatrices est autorisé

Ce sujet comporte deux exercices de PHYSIQUE et deux exercices de CHIMIE présentés sur 8 pages numérotées de 1 à 8 y compris celle-ci.

Le candidat doit traiter les quatre exercices qui sont indépendants les uns des autres :

- Exercice n°1 : du chlore dans les eaux souterraines. (4,5 points)
- Exercice n°2 : défibrillateur cardiaque. (5,5 points)
- Exercice n°3 : autour d'une transformation dans le domaine de l'oxydoréduction. (6 points)
- Exercice n°4 : réactions acido-basiques. (4 points)

Quelques recommandations pratiques :

- Les parties physique (exercices n°1 et n°2) et chimie (exercices n°3 et n°4) sont à rédiger de façon séparées.
- Bien rendre l'annexe n°1 avec la partie physique et l'annexe n°2 avec la partie chimie.
- Numérotter les pages de votre partie physique et de votre partie chimie.
- N'oublier pas de mettre votre nom sur les annexes.
- Rendre séparément les parties physique et chimie.

Exercice n°1 : du chlore dans les eaux souterraines.

Il existe deux principaux isotopes stables du chlore (dont les nombres de masse sont 35 et 37) trouvés dans les proportions respectives de 3 pour 1 et qui donnent aux atomes en vrac une masse molaire atomique apparente de $35,5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Le chlore a 9 isotopes avec des nombres de masse s'étendant de 32 à 40. Seulement trois de ces isotopes existent à l'état naturel : le Cl-35 stable (75,77 %), le Cl-37 stable (24,23 %) et le Cl-36 radioactif. Le rapport du nombre de noyaux de Cl-36 au nombre total de noyaux de Cl présents dans l'environnement est de $7,0 \times 10^{-13}$ actuellement.

Le «chlore 36» (Cl-36) se désintègre essentiellement en «argon 36» (Ar-36). La demi-vie du Cl-36 est de 301×10^3 ans. Cette valeur le rend approprié pour dater géologiquement les eaux souterraines sur une durée de soixante mille à un million d'années.

D'après un article d'encyclopédie

1. Dans l'article, l'auteur indique des valeurs 35 et 37 pour les isotopes stables du chlore. Que désignent plus précisément ces valeurs pour un noyau de chlore ?
2. Définir le terme «isotopes».
3. Donner le symbole complet du noyau de «chlore 36» et sa composition.
4. Définir l'énergie de liaison et calculer, en MeV, l'énergie de liaison E_{L_1} d'un noyau de «chlore 36». Exprimer le résultat **final** avec quatre chiffres significatifs.
5. Le texte évoque la réaction de désintégration d'un noyau de «chlore 36». Écrire l'équation de cette réaction, en indiquant :
 - les lois utilisées ;
 - le type de radioactivité mise en jeu.
6. Donner la définition du temps de «demi-vie» $t_{1/2}$ du «chlore 36».
7. Constante radioactive.
 - 7.1. Déterminer, par analyse dimensionnelle, l'unité de la constante radioactive λ dans le système international.
 - 7.2. Calculer la constante radioactive de l'isotope de «chlore 36» en respectant l'unité de base du système international.
8. Une bouteille contient un volume V égal à 1,5 L d'eau minérale. Sa teneur en ions chlorure c_m est indiquée sur l'étiquette et vaut $13,5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.
 - 8.1. Calculer la quantité d'ions chlorure, en mol, dans l'eau de cette bouteille.
 - 8.2. On suppose que le rapport du nombre de noyaux de «chlore 36» au nombre total de noyaux de chlore présents dans cette eau minérale est celui donné dans l'article. Montrer que le nombre N de noyaux de «chlore 36» présents dans cette bouteille est égal $2,4 \times 10^8$.
 - 8.3. En déduire la valeur de l'activité en «chlore 36» de l'eau que contient cette bouteille.
 - 8.4. En déduire la valeur du nombre de désintégrations de noyaux de «chlore 36» par jour.
9. Datation d'une eau souterraine.

L'étude des isotopes radioactifs apporte des informations concernant la durée du transit souterrain d'une eau c'est-à-dire l'âge de la nappe phréatique. Les ions chlorure $\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$ sont presque toujours présents dans les eaux minérales naturelles et ne sont que rarement impliqués dans les interactions eaux-rochers. **Dans les eaux de surface, le «chlore 36» est renouvelé et la teneur en «chlore 36» peut être supposée constante**, ce qui n'est pas le cas dans les eaux souterraines des nappes phréatiques. Le «chlore 36», de demi vie $3,01 \times 10^5$ ans, est donc un traceur particulièrement adapté à l'étude des eaux souterraines anciennes. Pour dater des eaux plus récentes, on peut utiliser le «carbone 14», de demi-vie $5,73 \times 10^3$ ans, présent dans les ions carbonates $\text{CO}^{2-}_{3(\text{aq})}$ dissous par exemple.

 - 9.1. Loi de décroissance radioactive.

On considère un échantillon, de volume V donné, d'eau issue d'une nappe phréatique. On note :

 - N_0 le nombre moyen de noyaux de «chlore 36» présents dans cet échantillon à l'instant de date t_0 égal à 0 s de la constitution de la nappe.
 - $N(t)$ le nombre moyen de noyaux de «chlore 36» dans l'eau extraite aujourd'hui de cette nappe et donc non renouvelée en «chlore 36».

Écrire la loi de décroissance radioactive liant $N(t)$, N_0 et $t_{1/2}$.

9.2. Datation d'une eau souterraine.

On admet que N_0 est égal au nombre moyen de noyaux de «chlore 36 » présents dans un échantillon de même volume V d'eau de surface. Déduire de la loi de décroissance écrite précédemment l'âge d'une nappe phréatique dont l'eau non renouvelée ne contient plus que 38 % du nombre de noyaux de «chlore 36» trouvée dans les eaux de surface. Pourquoi ne pas avoir utilisé le «carbone 14» pour dater cette nappe phréatique ?

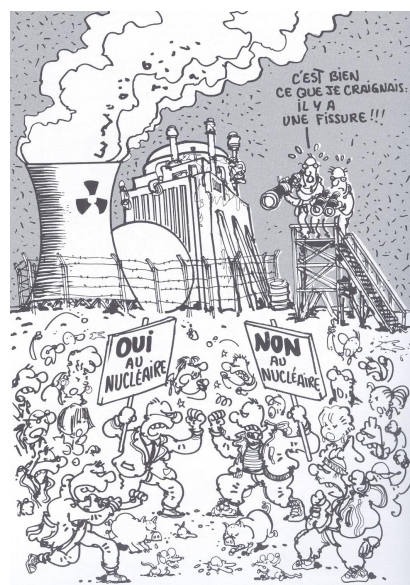
Données :

- Relation entre l'activité A d'un échantillon et le nombre moyen de noyaux N présent dans cet échantillon, à une date t donnée : $A(t) = \lambda \times N(t)$.
- $1 \text{ an} = 3,156 \times 10^7 \text{ s}$.
- Célérité de la lumière dans le vide : $c = 2,998 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
- Masse molaire atomique du chlore : $M(\text{Cl}) = 35,5 \text{ g.mol}^{-1}$.
- Charge élémentaire : $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$.
- Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.
- Masse et numéro atomique (ou nombre de charge) de quelques particules et noyaux :

Particule ou noyau	Proton	Neutron	Chlore 36	Argon 36
Masse (10^{-27} kg)	1,672 62	1,674 92	59,711 28	
Masse en u	1,007	1,009		
Z	1	0	17	18

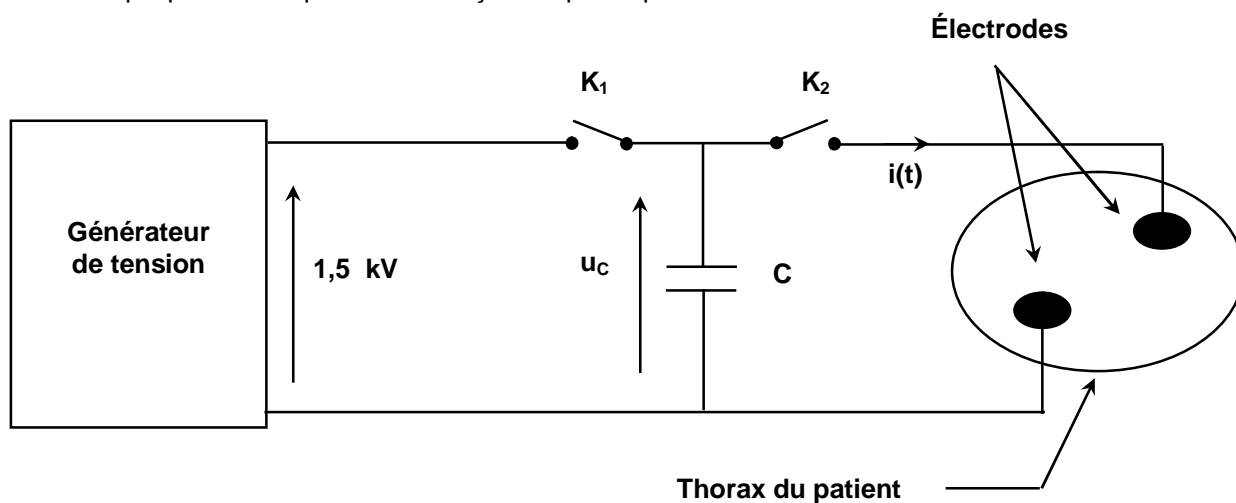


Croquis d'après « Le petit écologiste illustré » - Plantu



Exercice n°2 : défibrillateur cardiaque. (5,5 points)

Le défibrillateur cardiaque est un appareil utilisé en médecine d'urgence. Il permet d'appliquer un choc électrique sur le thorax d'un patient, dont les fibres musculaires du cœur se contractent de façon désordonnée (fibrillation). Le défibrillateur cardiaque peut être représenté de façon simplifiée par le schéma suivant :



La capacité du condensateur C est de $470 \mu\text{F}$. Le thorax du patient sera assimilé à un conducteur ohmique de résistance R égale à 50Ω .

1. Phase A

Lors de la mise en fonction du défibrillateur, le manipulateur obtient la charge du condensateur C (initialement déchargé) en fermant l'interrupteur K_1 (K_2 étant ouvert).

- 1.1. Quel est, parmi les documents présentés en annexe 1 (à rendre avec la copie), celui qui correspond à cette phase du processus ? Justifier.
- 1.2. En utilisant ce document, déterminer par la méthode de votre choix, la constante de temps τ du circuit lors de cette même phase (**le document sera rendu avec la copie**).
- 1.3. Quelle est la valeur maximale W_{max} de l'énergie que peut stocker le condensateur C ? Faire une application numérique.
- 1.4. Si l'on considère qu'un condensateur est chargé lorsque la tension entre ses bornes atteint 97 % de la tension maximale, au bout de quelle durée Δt le condensateur sera-t-il chargé ?
- 1.5. Comparer cette durée à la valeur habituellement admise de 5τ .

2. Phase B

Dès que le condensateur C est chargé le manipulateur peut envoyer le choc électrique en connectant le condensateur aux électrodes posées sur le thorax du patient. Il choisit alors le niveau d'énergie du choc électrique qui sera administré au patient, par exemple W égale à 400 J. À la date initiale t_0 le manipulateur ferme l'interrupteur K_2 (K_1 ouvert) ce qui provoque la décharge partielle du condensateur ; la décharge est automatiquement arrêtée dès que l'énergie choisie a été délivrée. Au cours de l'application du choc électrique la tension $u_C(t)$ aux bornes du

condensateur varie selon l'expression suivante : $u_C(t) = A \times e^{-\frac{t}{RC}}$.

- 2.1. Déterminer les valeurs numériques de A et de RC. Préciser les unités.
- 2.2. Quelle relation lie l'intensité $i(t)$ du courant de décharge et la charge électrique $q(t)$ portée par l'armature positive du condensateur ?
- 2.3. Quelle relation lie la tension $u_C(t)$ et la charge électrique $q(t)$?
- 2.4. En déduire que l'expression de $i(t)$ est de la forme : $i(t) = B \times e^{-\frac{t}{RC}}$. Exprimer B en fonction de constantes à choisir parmi A, R et C.
- 2.5. À quelle date l'intensité du courant est-elle maximale ? Calculer la valeur absolue de cette intensité. Cette valeur dépend-t-elle de la capacité du condensateur ?

3. Phase C

La décharge s'arrête dès que l'énergie électrique W_P de 400 J, initialement choisie, a été délivrée.

- 3.1. Déterminer graphiquement, en utilisant l'un des documents en annexe, la date t_1 à laquelle la décharge partielle du condensateur est arrêtée. Calculer la valeur de la tension $u_C(t_1)$ à cette date. Vérifier graphiquement cette valeur.
- 3.2. En s'appuyant sur la variation de l'énergie du condensateur entre les dates t_0 et t_1 retrouver la valeur de la tension $u_C(t_1)$.

Exercice n°3 : autour d'une transformation dans le domaine de l'oxydoréduction.

- A.** Étude d'une réaction d'oxydoréduction lorsque les deux réactifs sont directement en contact.
- A.1.** Un bécher contient un volume V_1 égal à 20 mL de solution de nitrate d'argent de concentration C_1 égale à $1,0 \times 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$. On ajoute un volume V_2 égal à 20 mL de solution de nitrate de cuivre de concentration C_2 égale à $5,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. On obtient une solution dans laquelle coexistent les ions : $\text{Ag}_{(\text{aq})}^+$, $\text{Cu}_{(\text{aq})}^{2+}$ et $\text{NO}_{3(\text{aq})}^-$.
Calculer les concentrations initiales des $[\text{Ag}^+]_i$ et $[\text{Cu}^{2+}]_i$ dans le bécher.
- A.2.** On plonge ensuite dans le bécher un fil de cuivre et un fil d'argent bien décapés.
- A.2.1.** Écrire l'expression littérale du quotient de réaction Q_r correspondant à la réaction dont l'équation est écrite dans les données ci-dessous.
- A.2.2.** Calculer la valeur notée $Q_{r,i}$ du quotient de réaction dans l'état initial du système.
- A.2.3.** Pourquoi peut-on en déduire que le système évolue spontanément dans le sens direct de l'équation ?
- A.2.4.** Quelle observation expérimentale devrait, après quelques minutes, venir confirmer le sens d'évolution de la transformation ?
- A.2.5.** Le cuivre est en excès. Lorsque le système a atteint son état d'équilibre, la concentration en ion cuivre (II) est de $5,00 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. Montrer que les ions argent (I) sont à l'état de trace en calculant leur concentration. Conclure sur le caractère de la transformation.
- B.** Constitution et étude d'une pile.
On dispose du matériel suivant :
- un petit bécher contenant un volume V_1 égal à 20 mL de solution de nitrate d'argent de concentration C_1 égale à $1,0 \times 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$;
 - un petit bécher contenant un volume V_2 égal à 20 mL de solution de nitrate de cuivre de concentration C_2 égale à $5,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$;
 - un fil de cuivre, de masse m égale à 1,0 g et un fil d'argent, bien décapés et équipés d'un dispositif de connexion électrique ;
 - un pont salin contenant une solution ionique saturée de nitrate de potassium.
- B.1.** Faire un schéma annoté de la pile qu'il est possible de constituer à partir du matériel disponible.
- B.2.** Un ampèremètre en série avec un conducteur ohmique de résistance R égale à 100Ω est placé entre les bornes de la pile. Le conducteur ohmique est parcouru par un courant de très faible intensité dans le sens de l'argent vers le cuivre.
- B.2.1.** En déduire le sens de circulation des électrons dans le conducteur ohmique.
- B.2.2.** Interpréter alors le fonctionnement de la pile en écrivant les deux demi-équations aux électrodes.
- B.2.3.** Le sens de la réaction spontanée est-il en accord avec celui déterminé dans la partie A question A.2.3. ?
- B.2.4.** Quel(s) rôle(s) joue le pont salin ? Indiquer sur votre schéma le mouvement des porteurs de charge dans le pont.
- B.3.** On laisse fonctionner le système pendant une durée suffisamment longue pour que la pile ne débite plus.
- B.3.1.** Construire le tableau descriptif de l'évolution du système (tableau d'avancement de la transformation).
- B.3.2.** Quel est le réactif limitant ?
- B.3.3.** Quelle est la concentration en ion cuivre (II) en fin de réaction ?
- B.3.4.** Déterminer la quantité d'électricité qui a traversé la résistance depuis l'instant où la pile a commencé à débiter jusqu'à l'instant où la pile s'arrête de fonctionner.
- B.3.5.** En déduire la valeur de la capacité χ de cette pile exprimée en A.h.

- Données** :
- Équation de la réaction entre le métal cuivre et l'ion argent (I) : $2\text{Ag}_{(\text{aq})}^+ + \text{Cu}_{(\text{s})} = 2\text{Ag}_{(\text{s})} + \text{Cu}_{(\text{aq})}^{2+}$;
constante d'équilibre associée à cette réaction : $K = 2,2 \times 10^{15}$.
 - Couleur des ions en solution : $\text{Ag}_{(\text{aq})}^+$ incolore, $\text{NO}_{3(\text{aq})}^-$ incolore et $\text{Cu}_{(\text{aq})}^{2+}$ bleue.
 - Unité : $1 \text{ A.h} = 3,6 \times 10^3 \text{ C}$.
 - Charge élémentaire : $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$.
 - Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.
 - Masse molaire du cuivre : $63,5 \text{ g.mol}^{-1}$.
 - Définition : La capacité, noté χ , d'une pile est la quantité maximale d'électricité qu'elle peut fournir avant d'être usée .

Exercice n°4 : réactions acido-basiques.

1. Identification d'un indicateur coloré.

On dispose d'un flacon d'indicateur coloré avec comme seule indication sa concentration molaire :

$C_0 = 2,90 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$. On mesure son pH : 4,18. Le couple acide/base présent dans cet indicateur coloré sera noté

HInd/Ind^- . La solution d'indicateur coloré a été préparée à partir de la forme acide de l'indicateur : HInd.

1.1. En considérant un volume V égal à 100 mL de solution d'indicateur, déterminer le taux d'avancement final de la réaction de l'acide HInd avec l'eau. Cet acide est-il totalement dissocié dans l'eau ? Justifier votre réponse.

1.2. Donner l'expression littérale de la constante d'acidité K_A de la réaction de l'acide HInd sur l'eau.

1.3. Les concentrations à l'équilibre permettent de calculer la constante d'acidité de la réaction : $K_A = 1,9 \times 10^{-5}$.

Calculer le $\text{p}K_A$ du couple HInd/Ind^- et identifier l'indicateur à l'aide des données du tableau suivant :

Indicateur	Couleur acide	Zone de virage	Couleur basique	$\text{p}K_A$
Hélianthine	Jaune orangé	3,1 – 4,4	Rouge	3,7
Vert de bromocrésol	Jaune	3,8 – 5,4	Bleue	4,7
Bleu de bromothymol	Jaune	6,0 – 7,6	Bleue	7,0
Phénolphtaléine	Incolore	8,2 – 10,0	Fuschia	9,4

2. Dosage d'une solution d'acide chlorhydrique concentrée.

Dans le laboratoire d'un lycée, on dispose d'un flacon d'une solution d'acide chlorhydrique concentrée où est notée sur l'étiquette l'indication suivante : **33% minimum en masse d'acide chlorhydrique**. On appellera cette solution S_0 . On veut connaître la concentration molaire c_0 de cette solution.

Première étape : on dilue 1000 fois la solution S_0 . On obtient alors une solution S_1 de concentration C_1 .

Deuxième étape : on prélève précisément un volume $V_1=100,0$ mL de solution S_1 . On dose par conductimétrie la solution S_1 par une solution titrante d'hydroxyde de sodium de concentration C_B égale à $1,00 \times 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$. La représentation graphique de la conductance de la solution en fonction du volume V de solution titrante versé est donnée dans l'annexe n°2, document n°3.

2.1. On ajoute la solution d'hydroxyde de sodium pour doser la solution S_1 . Écrire l'équation de la réaction acido-basique.

2.2. Déterminer graphiquement, sur le document n°3 de l'annexe n°2, le volume versé V_E à l'équivalence.

2.3. À l'équivalence, écrire la relation existant entre C_1 , C_B , V_E et V_1 et calculer la concentration molaire C_1 de la solution d'acide chlorhydrique diluée S_1 .

2.4. En déduire la concentration molaire C_0 de la solution d'acide chlorhydrique concentrée S_0 .

2.5. Calculer la masse m_0 d'acide chlorhydrique HCl dissous dans un litre de solution. On donne la masse molaire de l'acide chlorhydrique : $M(\text{HCl}) = 36,5 \text{ g.mol}^{-1}$.

La solution S_0 a une masse volumique ρ_0 égale à 1160 g.L^{-1} . Le pourcentage massique de la solution S_0 représente la masse d'acide chlorhydrique dissous dans 100 g de solution.

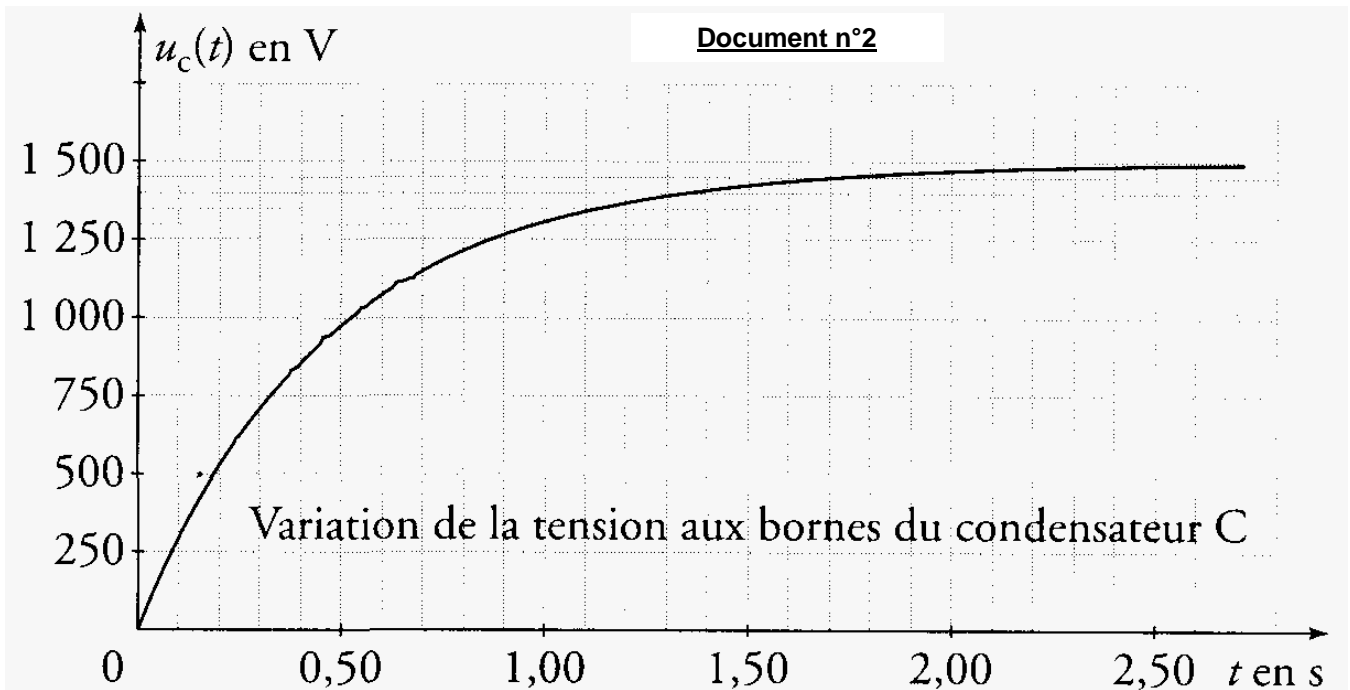
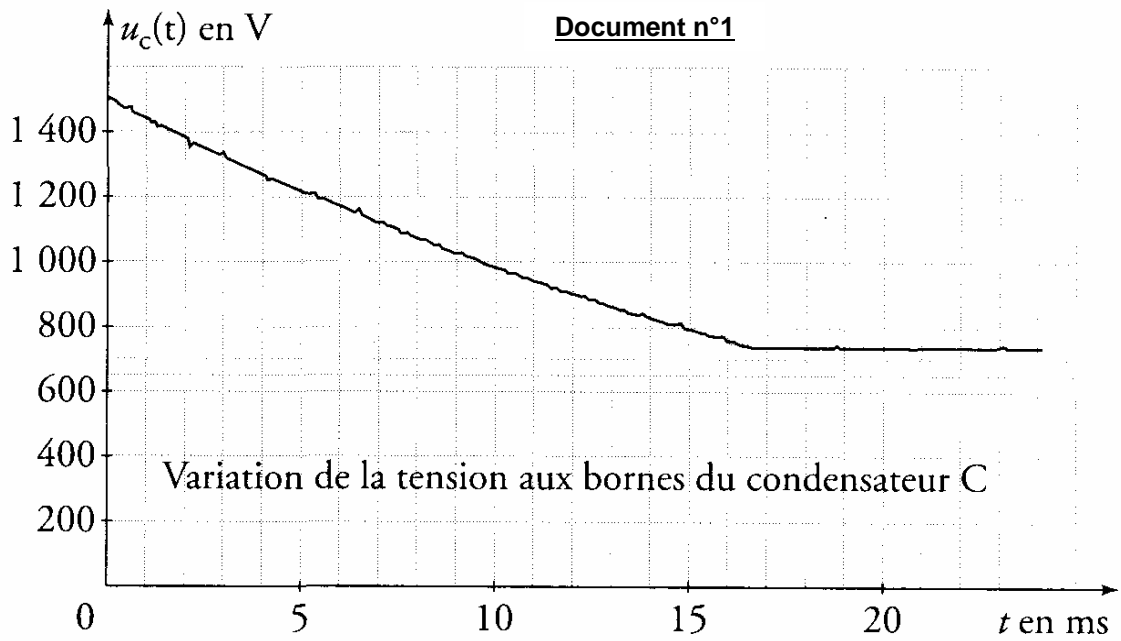
2.6. Quelle est la masse m d'un litre de solution S_0 ?

2.7. Calculer le pourcentage massique de la solution S_0 . L'indication de l'étiquette du flacon de solution d'acide chlorhydrique concentrée est-elle correcte ?

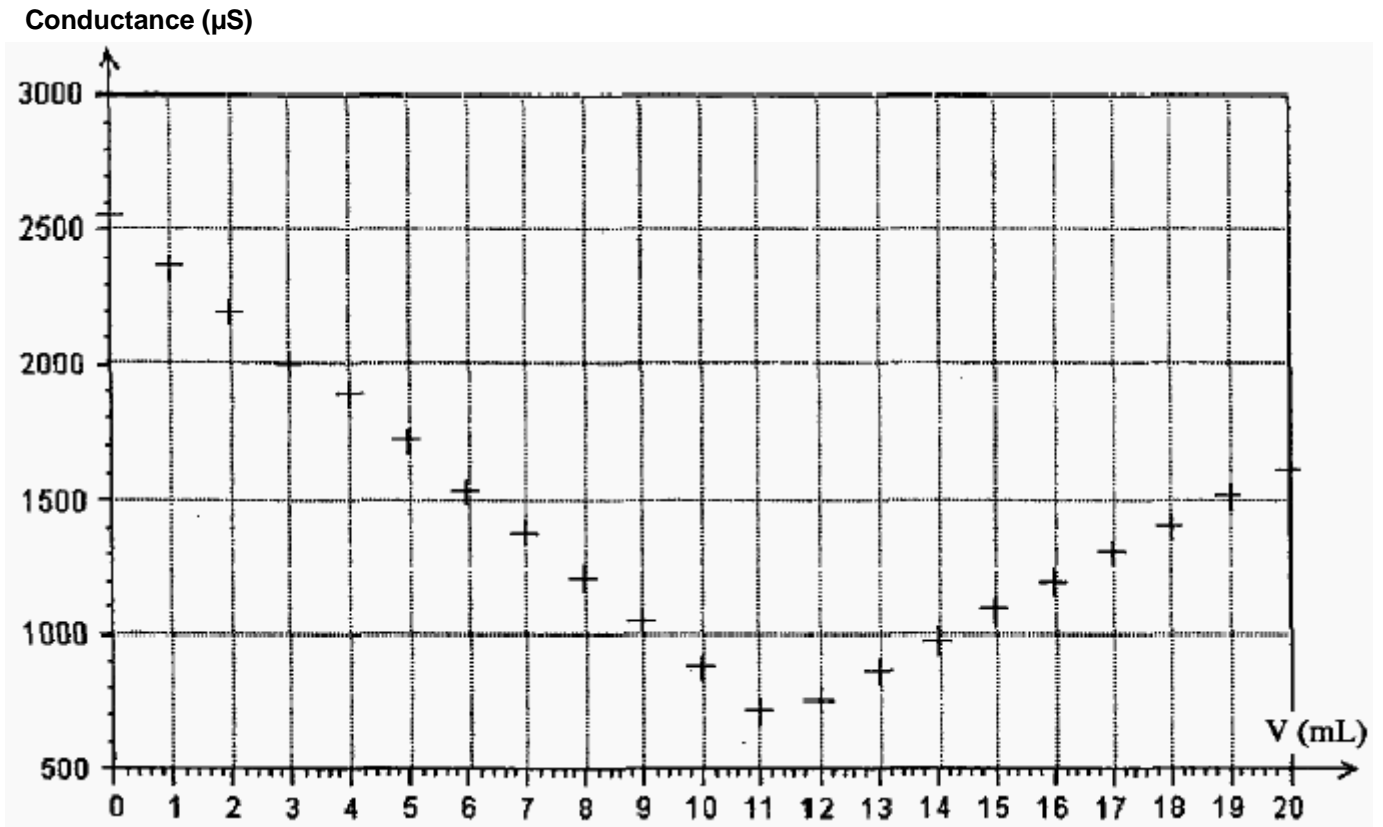
Une simulation du dosage par suivi pH-métrique de la solution S_1 est donnée dans l'annexe n°2, document n°4.

2.8. Sur le document n°4, indiquer la zone de virage de l'indicateur identifié à la question 1.3. En utilisant cet indicateur pour le dosage de la solution S_1 , décrire le changement de couleur observé.

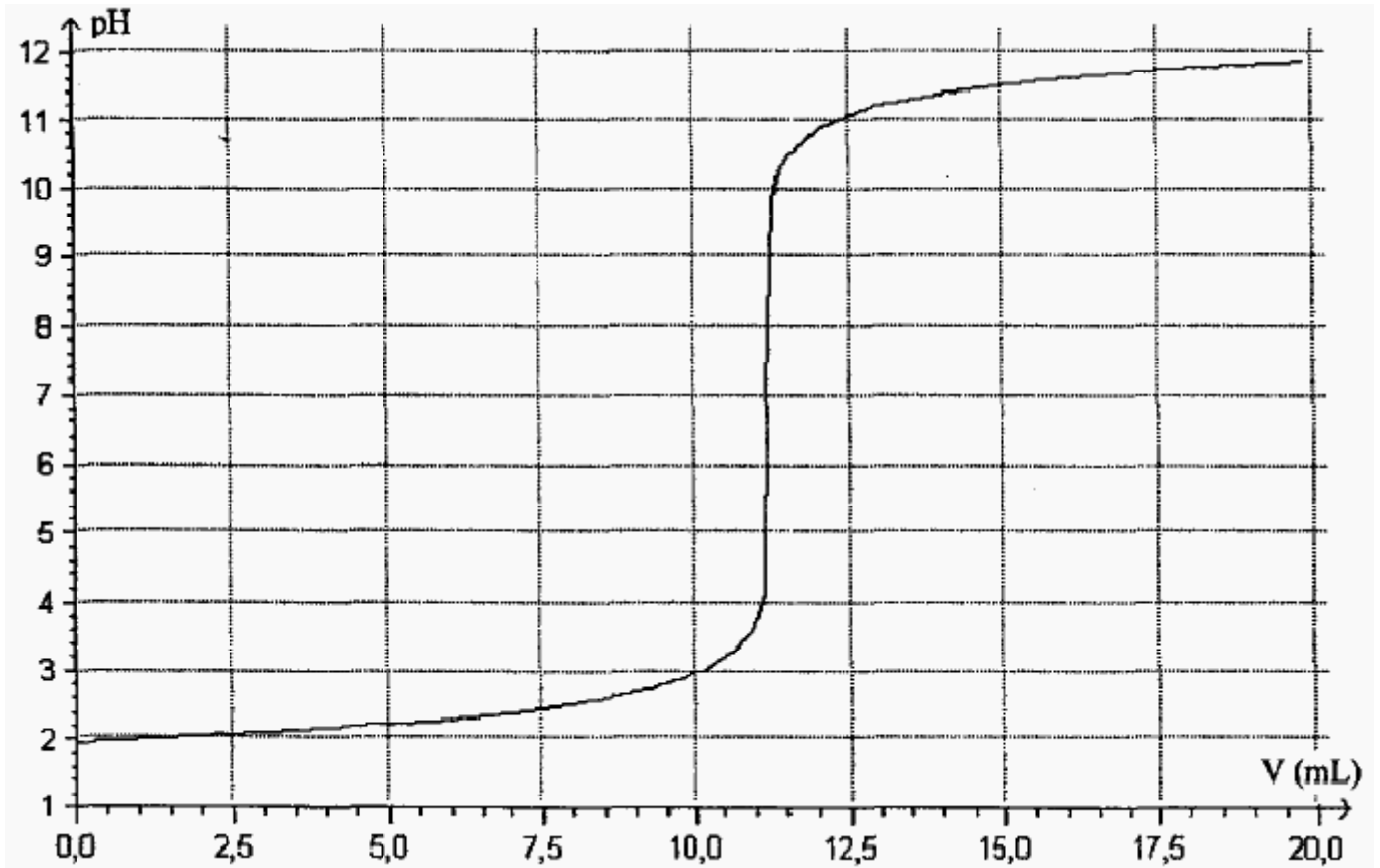
2.9. Dans la liste donnée à la question 1.3, y a-t-il un indicateur coloré mieux adapté pour repérer l'équivalence du dosage ? Justifiez votre réponse.



Document n°3 : dosage de la solution diluée d'acide chlorhydrique S_1 par conductimétrie.



Document n°4 : Simulation du dosage de la solution diluée d'acide chlorhydrique S_1 par pH-métrie.



Exercice n°1 : du chlore dans les eaux souterraines. [18]

- Ces valeurs désignent le **nombre de nucléons**, c'est-à-dire la **somme des protons et des neutrons**, de chaque noyau de chlore. [1]
- Deux atomes de même numéro atomique mais ayant un nombre de nucléons différents sont des isotopes** : leurs nombres de **protons** sont **identiques**, mais ils **diffèrent par leurs nombres de neutrons**. [1]
- Le symbole complet du noyau de «chlore 36» est : ${}_{17}^{36}\text{Cl}$. Il contient :
 - **17 protons** ($Z = 17$) ;
 - **19 neutrons** ($N = A - Z = 36 - 17 = 19$) ;
 - donc 36 nucléons. [1,5]

- L'énergie de liaison correspond à l'énergie qu'il faut fournir au noyau de «chlore 36» au repos pour le dissocier en ses nucléons isolés et immobiles**. L'énergie de liaison E_L d'un noyau de symbole A_ZX et de masse m_X est donnée par la relation : $E_L = \Delta m \times c^2 = [Z \times m_p + (A - Z) \times m_n - m_X] \times c^2$, où m_p est la masse du proton, m_n la masse du neutron et c la célérité de la lumière dans le vide.
D'après cette relation :

$$E_{L1}({}_{17}^{36}\text{Cl}) = \frac{[17 \times 1,67262 + (36 - 17) \times 1,67492 - 59,71128] \times 10^{-27} \times (2,998 \times 10^8)^2}{1,602 \times 10^{-19}} \approx 306,7 \times 10^6 \text{ eV} = 306,7 \text{ MeV} .$$

L'énergie de liaison d'un noyau de «chlore 36» est égale à 306,7 MeV. [2]

- L'équation de désintégration d'un noyau de «chlore 36» est : ${}_{17}^{36}\text{Cl} \rightarrow {}_{18}^{36}\text{Ar} + {}_{-1}^0\text{e} + {}_{0}^0\bar{\nu}$. C'est une **réaction de désintégration β^-** . Pour écrire cette réaction on utilise les lois de conservation :
 - du **nombre de nucléons** ($36 = 36 + 0 + 0$) ;
 - de **la charge électrique** ($17 = 18 - 1 + 0$) ;
 - de **l'énergie** (apparition de l'antineutrino). [2]

- La demi-vie radioactive $t_{1/2}$ du «chlore 36» est la durée requise pour que la moitié des noyaux de «chlore 36» se soit désintégrée.** [1]
- Constante radioactive.

7.1. D'après la relation : $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$, on a : $[t_{1/2}] = \frac{1}{[\lambda]}$, d'où : $[\lambda] = \frac{1}{[t_{1/2}]} = \frac{1}{T} = T^{-1}$. La constante radioactive à la dimension de l'inverse d'un temps, **elle s'exprime donc dans le système international en s^{-1}** . [1]

7.2. **La constante radioactive de l'isotope de «chlore 36» est égale à $7,30 \times 10^{-14} s^{-1}$** . D'après la relation précédente : $\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{\ln 2}{301 \times 10^3 \times 3,156 \times 10^7} \approx 7,30 \times 10^{-14} s^{-1}$. [1]

- Activité du «chlore 36» dans une eau minérale.

8.1. **La quantité d'ions chlorure dans l'eau de cette bouteille est de $5,7 \times 10^{-4} \text{ mol}$** . En effet d'après la définition de la teneur c_m exprimée $g \cdot L^{-1}$: $c_m = \frac{m}{V}$, où m est la masse d'ions chlore en g et V le volume de la solution en L , et d'après la relation : $m = n \times M(\text{Cl})$, où n est la quantité de matière en mol d'ions chlorure et $M(\text{Cl})$ la masse molaire du chlore en $g \cdot \text{mol}^{-1}$, on a : $n = \frac{m}{M(\text{Cl})} = \frac{c_m \times V}{M(\text{Cl})} = \frac{13,5 \times 10^{-3} \times 1,5}{35,5} \approx 5,7 \times 10^{-4} \text{ mol}$. [1,5]

8.2. D'après la relation : $N(\text{Cl}) = n \times N_A$, où $N(\text{Cl})$ est le nombre total de noyaux de chlore, n la quantité de matière en chlore en mol et N_A la constante d'Avogadro en mol^{-1} et d'après le texte, le nombre de noyaux de « chlore 36 » N présents dans cette bouteille est : $N = N(\text{Cl}) \times 7,0 \times 10^{-13} = n \times N_A \times 7,0 \times 10^{-13} = \frac{c_m \times V \times N_A \times 7,0 \times 10^{-13}}{M(\text{Cl})}$.

$$\underline{\text{AN}} : N = \frac{13,5 \times 10^{-3} \times 1,5 \times 6,02 \times 10^{23} \times 7,0 \times 10^{-13}}{35,5} \approx 2,4 \times 10^8 .$$

Le nombre N de noyaux de «chlore 36» présents dans cette bouteille est de $2,4 \times 10^8$. [1,5]

8.3. D'après les données l'activité est donnée par la relation : $A = \lambda \times N = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \times \frac{c_m \times V \times N_A \times 7,0 \times 10^{-13}}{M(\text{Cl})}$.

$$\underline{\text{AN}} : A = \frac{\ln 2}{301 \times 10^3 \times 3,156 \times 10^7} \times \frac{13,5 \times 10^{-3} \times 1,5 \times 6,02 \times 10^{23} \times 7,0 \times 10^{-13}}{35,5} \approx 1,8 \times 10^{-5} \text{ Bq} .$$

L'activité en «chlore 36» de l'eau que contient cette bouteille est de $1,8 \times 10^{-5} \text{ Bq}$. [1]

8.4. **Le becquerel étant le nombre de désintégrations par seconde**, celui par jour est donné par la relation : $A \times 24 \times 3600 = 1,8 \times 10^{-5} \times 3600 \times 24 \approx 1,5$. **Il se produit environ 1,5 désintégrations de noyaux de «chlore 36» par jour.** [1]

9. Datation d'une eau souterraine.

9.1. La loi de décroissance radioactive est donnée par la relation : $N(t) = N_0 \times \exp(-\lambda \times t)$, or d'après les données :

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}, \text{ d'où : } N(t) = N_0 \times \exp\left(-\frac{\ln 2 \times t}{t_{1/2}}\right). \text{ [0,5]}$$

9.2. Si l'eau non renouvelée ne contient plus que 38 % du nombre de noyaux de «chlore 36», alors : $\frac{N}{N_0} = 0,38$,

$$\text{d'où d'après la relation de la question précédente : } \frac{N}{N_0} = 0,38 = \frac{N_0 \times \exp\left(-\frac{\ln 2 \times t}{t_{1/2}}\right)}{N_0} = \exp\left(-\frac{\ln 2 \times t}{t_{1/2}}\right), \text{ où } t \text{ est}$$

l'âge de la nappe phréatique considérée. En prenant le logarithme de chaque membre de la relation précédente

$$\left(\ln e^a = a\right) \text{ on a : } \ln 0,38 = -\frac{\ln 2 \times t}{t_{1/2}}, \text{ soit : } t = -\frac{\ln(0,38) \times t_{1/2}}{\ln 2}. \text{ AN : } t = -\frac{\ln(0,38) \times 3,01 \times 10^5}{\ln 2} \approx 4,2 \times 10^5 \text{ ans.}$$

L'âge de la nappe phréatique est de $4,2 \times 10^5$ ans.

On ne peut pas utiliser le «carbone 14» pour dater cette nappe phréatique **car elle est trop ancienne**. En effet la **demi-vie du «carbone 14» étant environ 50 fois plus petite que celle du «chlore 36», la quantité de «carbone 14» restante sera trop faible pour faire des mesures précises** et en plus **une partie significative des ions carbonates ont été impliqués dans les interactions eaux-rochers** et ont donc disparu de la nappe phréatique. [2]

Exercice n°2 : défibrillateur cardiaque. [22]

1. Phase A

1.1. **Le document n°2 correspond à la charge du condensateur.** En effet **le condensateur étant initialement déchargé d'après l'énoncé, la tension à ses bornes est nulle à l'instant initial et augmente progressivement jusqu'à atteindre la valeur de la tension aux bornes du générateur**, soit 1,5 kV. [2]

Remarque : le schéma ne fait pas apparaître de conducteur ohmique dans le circuit de charge, pourtant celle-ci est sans doute présente sinon la charge du condensateur serait quasiment instantanée !

1.2. Voir le document n°2 page suivante.

Première méthode : on trace la tangente à l'origine dont l'abscisse du point d'intersection avec l'asymptote d'équation : $u_C = 1,5 \times 10^3$ V est égal à la constante de temps τ . **Par cette méthode la constante de temps τ du circuit est égale à 0,5 s.**

Deuxième méthode : d'après le cours lorsque : $t = \tau$, on a : $u_C(t = \tau) = 0,63 \times 1,5 \times 10^3$ V, soit : $u_C(t = \tau) \approx 9,5 \times 10^2$ V (le condensateur est chargé à 63% de sa valeur maximale). **Par cette méthode la constante de temps τ du circuit est égale à 0,5 s** (attention à la faible précision de la lecture du graphique... il faut bien penser à arrondir la valeur trouvée !). [2]

1.3. D'après la définition de l'énergie W , exprimée en joule, emmagasinée par un condensateur : $W = \frac{1}{2} C u_C^2$, où C est la capacité du condensateur en joule et u_C la tension en volt aux bornes du condensateur, on a :

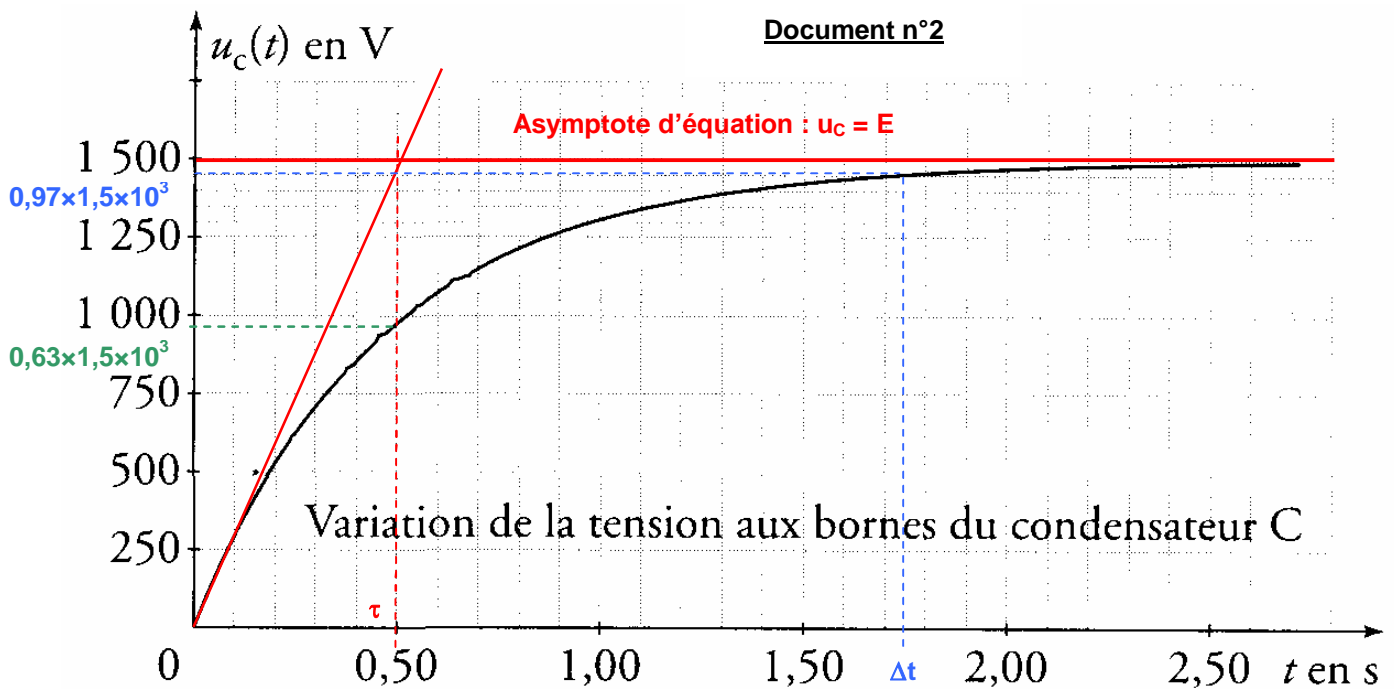
$$W_{\max} = \frac{1}{2} C u_{C\max}^2. \text{ Application numérique : } W_{\max} = \frac{1}{2} \times 470 \times 10^{-6} \times (1,5 \times 10^3)^2 \approx 5,3 \times 10^2 \text{ J.}$$

La valeur maximale W_{\max} de l'énergie que peut stocker le condensateur est de $5,3 \times 10^2$ J. [2]

1.4. D'après l'énoncé on a : $u_C(\Delta t) = 0,97 \times 1,5 \times 10^3$ V, soit : $u_C(\Delta t) \approx 1,46 \times 10^3$ V (si on écrit : $u_C(\Delta t) \approx 1,5 \times 10^3$ V, la question ne peut être résolue...). Graphiquement on trouve : $\Delta t \approx 1,7$ s (voir le document n°2 page suivante).

On considère donc que le condensateur sera chargé au bout de 1,7 s. [1,5]

1.5. D'après la question 1.2., on a : $5\tau = 5 \times 0,5 = 2,5$ s. **Cette valeur est très différente de la précédente** (environ 1,5 fois plus grande), **puisque pour 5τ , le condensateur est chargé à 99% de sa valeur maximale et non à 97%** (ceci est dû à l'aplatissement de la fonction exponentielle près de l'asymptote). [1,5]



2. Phase B

2.1. D'après la relation : $u_C(t) = A \times e^{-\frac{t}{RC}}$, on a : $u_C(0) = A \times e^{-\frac{0}{RC}} = A = u_{C_{\max}} = 1,5 \text{ kV}$. D'après les données de l'énoncé : $RC = 50 \times 470 \times 10^{-6} \approx 2,4 \times 10^{-2} \text{ s} = 24 \text{ ms}$.

Les valeurs numériques de A et de RC sont respectivement égales à 1,5 kV et 24 ms. [2]

2.2. **La relation qui lie l'intensité $i(t)$ du courant de décharge et la charge électrique $q(t)$ portée par l'armature positive du condensateur est :** $i = -\frac{dq(t)}{dt}$ (relation 1). En effet d'après les conventions du schéma $i(t)$ et $u_C(t)$ sont de même sens (l'armature positive du condensateur est du côté du bout de la flèche tension u_C). [1]

Remarque : lors de la décharge q diminue alors : $dq < 0$, donc : $i > 0$, le courant circule dans le sens indiqué sur le schéma du circuit.

2.3. La tension $u_C(t)$ et la charge électrique $q(t)$ sont liées par la relation : $u_C(t) = \frac{q(t)}{C}$ (relation 2). [1]

2.4. D'après les relations 1 et 2, on a : $i = -\frac{dq(t)}{dt} = -\frac{d}{dt}[C \times u_C(t)] = -C \times \frac{du_C(t)}{dt}$. Or d'après l'énoncé :

$$u_C(t) = A \times e^{-\frac{t}{RC}}, \text{ d'où : } i = -C \times \frac{d}{dt} \left[A \times \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \right] = -C \times A \times \left(-\frac{1}{RC}\right) \times \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) = \frac{AC}{RC} \times \exp\left(-\frac{t}{RC}\right), \text{ soit :}$$

$$i(t) = \frac{A}{R} \times \exp\left(-\frac{t}{RC}\right). \text{ L'expression de } i(t) \text{ est donc de la forme : } i(t) = B \times e^{-\frac{t}{RC}}, \text{ avec : } B = \frac{A}{R}. [3]$$

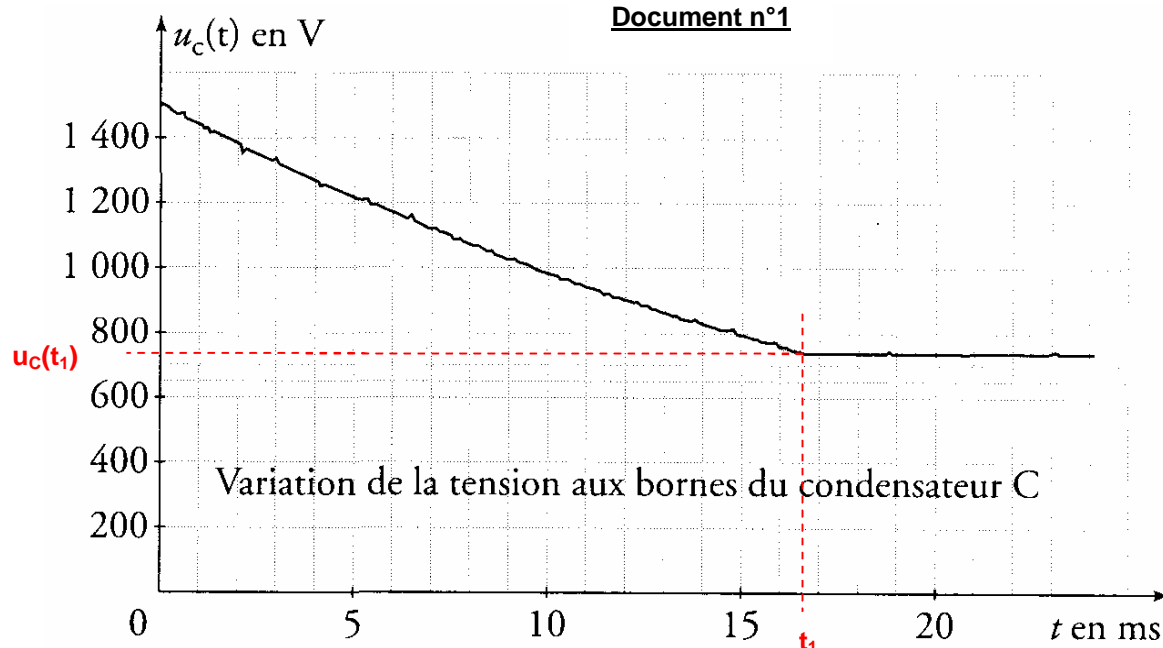
2.5. **L'intensité du courant est maximale à la date t_0 égale à zéro**, puisque la représentation graphique de $i(t)$ est une exponentielle décroissante variant de $\frac{A}{R}$ à 0. **Cette intensité maximale est égale à 30 A.**

En effet : $i(t_0 = 0) = \frac{A}{R} \times \exp\left(-\frac{0}{RC}\right) = \frac{A}{R} = \frac{1,5 \times 10^3}{50} = 30 \text{ A}$. **Cette valeur est indépendante de la capacité C du condensateur**, puisque A et R sont des constantes indépendantes de C. [2]

3. Phase C

3.1. Sur le document n°1 (voir page suivante), la date t_1 correspond à l'abscisse du point où la tension aux bornes du condensateur devient constante puisqu'à partir de cette date la charge s'arrête. **On trouve donc graphique que la valeur de la date t_1 est d'environ 16,5 ms. La valeur de la tension aux bornes du condensateur à la date t_1 est d'environ $7,4 \times 10^2 \text{ V}$.**

En effet : $u_C(t_1) = A \times e^{-\frac{t_1}{RC}}$. Application numérique : $u_C(t_1) = 1,5 \times 10^3 \times e^{-\frac{16,5 \times 10^{-3}}{50 \times 470 \times 10^{-6}}} \approx 7,4 \times 10^2 \text{ V}$. Cette valeur est en accord avec celle lue sur le graphique du document n°1. [2]



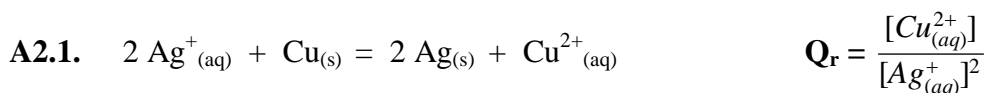
- 3.2. D'après l'énoncé la variation de l'énergie du condensateur entre les dates t_0 et t_1 est égale à : $\Delta W = W_p - W_{\max} = -400 \text{ J}$ (le signe moins correspond à une perte d'énergie pour le condensateur). D'après la relation $W = \frac{1}{2} Cu_C^2$ de la question 1.3., on a : $\Delta W = \frac{1}{2} Cu_C^2(t_1) - W_{\max} = \frac{1}{2} Cu_C^2(t_1) - \frac{1}{2} Cu_{C_{\max}}^2$, soit :
- $$u_C(t_1) = \sqrt{\frac{2 \times \Delta W}{C} + u_{C_{\max}}^2} \cdot \text{Application numérique : } u_C(t_1) = \sqrt{\frac{2 \times (-400)}{470 \times 10^{-6}} + (1,5 \times 10^2)^2} \approx 7,4 \times 10^2 \text{ V} \cdot \text{La valeur de la tension à la date } t_1 \text{ est de } 7,4 \times 10^2 \text{ V, en accord avec la valeur trouvée précédemment. [2]}$$

Exercice 3 Autour d'une transformation dans le domaine de l'oxydo-réduction

A. Étude d'une réaction d'oxydoréduction lorsque les deux réactifs sont directement en contact.

$$\text{A1. } [\text{Ag}^+]_i = \frac{n_1}{V_1 + V_2} = \frac{C_1 \times V_1}{V_1 + V_2} = \frac{1,0 \cdot 10^{-1} \times 20}{40} = 5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[\text{Cu}^{2+}]_i = \frac{n_2}{V_1 + V_2} = \frac{C_2 \times V_2}{V_1 + V_2} = \frac{5,0 \cdot 10^{-2} \times 20}{40} = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$



$$\text{A2.2 } Q_{r,i} = \frac{[\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}]_i}{[\text{Ag}^+_{(\text{aq})}]_i^2} = \frac{2,5 \cdot 10^{-2}}{(5,0 \cdot 10^{-2})^2} = 10$$

A2.3. D'après le critère d'évolution : $Q_{r,i} < K$, le système évolue dans le **sens direct** de l'équation.

A2.4. Au cours de la transformation des ions Cu^{2+} apparaissent, la coloration **bleue** de la solution **devrait se renforcer**.

D'autre part, un **dépôt gris de métal argent** devrait se former sur le fil de cuivre.

$$\text{A2.5. } K = \frac{[\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}]_{\text{éq}}}{[\text{Ag}^+_{(\text{aq})}]_{\text{éq}}^2} \text{ soit } [\text{Ag}^+_{(\text{aq})}]_{\text{éq}} = \sqrt{\frac{[\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}]_{\text{éq}}}{K}}$$

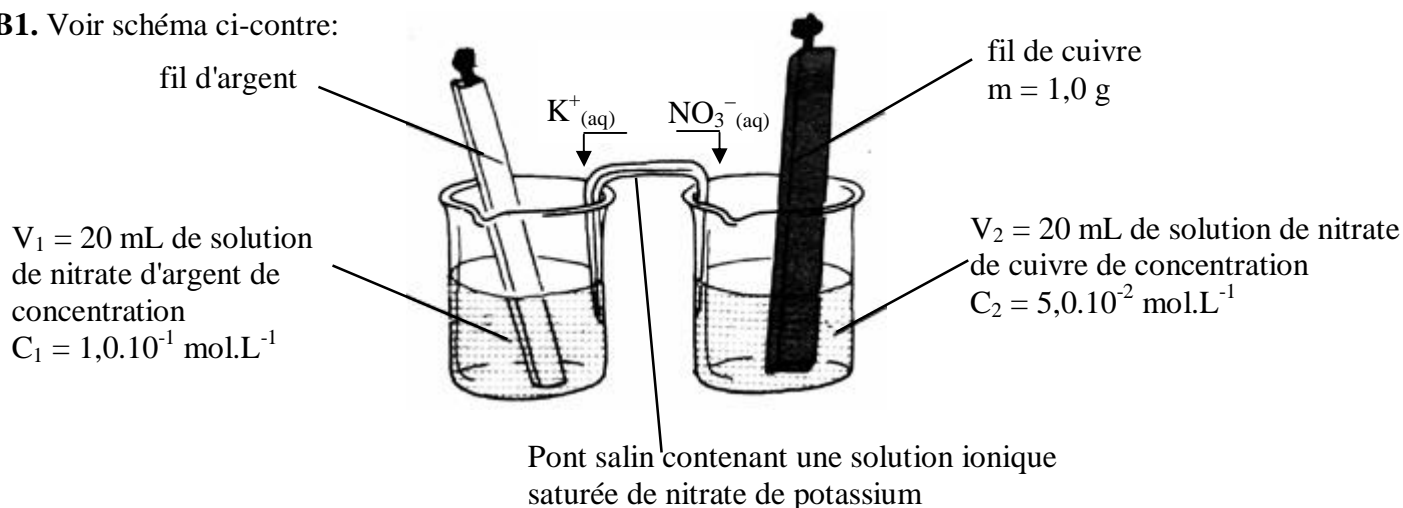
$$[\text{Ag}^+_{(\text{aq})}]_{\text{éq}} = \sqrt{\frac{5,00 \cdot 10^{-2}}{2,2 \cdot 10^{15}}} = 4,8 \cdot 10^{-9} \text{ mol.L}^{-1}$$

On peut considérer que le réactif limitant, c'est à dire Ag^+ , est totalement consommé.

La transformation peut être considérée comme **totale**.

B. Constitution et étude d'une pile :

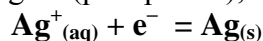
B1. Voir schéma ci-contre:



B2.1. Le courant circulant de l'argent vers le cuivre, les électrons circulent en sens inverse soit **du cuivre vers l'argent** dans le conducteur ohmique.

B2.2. L'électrode de cuivre est donc la borne négative soit l'anode, siège d'une oxydation qui fournit des électrons:
$$Cu_{(s)} = Cu^{2+}_{(aq)} + 2 e^-$$

Au niveau de l'électrode d'argent (pôle positif), il se produit une réduction qui consomme des électrons :



B2.3. L'équation de la réaction spontanée est donc : $2 Ag^+_{(aq)} + Cu_{(s)} = 2 Ag_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)}$
Le sens de la réaction spontanée est en accord avec celui déterminé dans la question A.2.3.

B2.4. Le pont salin permet:

- de fermer le circuit électrique, il assure le passage du courant entre les 2 solutions, sous forme d'un déplacement d'ions.

- de conserver la neutralité électrique des solutions en leur apportant des ions. D'un côté, il y a consommation d'ions Ag^+ , le pont salin apporte des ions K^+ pour compenser. Dans l'autre becher, il y a formation d'ions Cu^{2+} , le pont salin apporte des ions NO_3^- pour neutraliser. Voir schéma précédent.

B3.1. On a vu précédemment que cette transformation pouvait être considérée comme étant totale.

Équation chimique		$2 Ag^+_{(aq)} + Cu_{(s)} \rightarrow 2 Ag_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)}$			
État du système	Avancement	Quantité de matière en mol			
État initial	0	$n_1 = C_1 \cdot V_1$	$n(Cu)_0 = \frac{m}{M}$	$n(Ag)_0$	$n_2 = C_2 \cdot V_2$
En cours	x	$n_1 - 2x$	$n - x$	$n(Ag)_0 + 2x$	$n_2 + x$
État final	x_{max}	$n_1 - 2x_{max}$	$n - x_{max}$	$n(Ag)_0 + 2x_{max}$	$n_2 + x_{max}$

B3.2. Si Ag^+ est le réactif limitant, il est totalement consommé soit $n_1 - 2x_{max} = 0$

$$C_1 \cdot V_1 - 2x_{max} = 0$$

$$x_{max} = \frac{C_1 \cdot V_1}{2}$$

$$x_{max} = \frac{1,0 \cdot 10^{-1} \times 20 \cdot 10^{-3}}{2} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

Si Cu est le réactif limitant, $n(Cu)_0 - x_{max} = 0$

$$x_{\max} = \frac{m}{M} = \frac{1,0}{63,5} = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

Ag^+ conduit à la valeur de l'avancement maximal la plus faible, il s'agit donc du réactif limitant et $x_{\max} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$.

$$\text{B3.3. } [\text{Cu}^{2+}_{(aq)}]_f = \frac{C_2 \cdot V_2 + x_{\max}}{V_2} = \frac{5,0 \cdot 10^{-2} \times 20 \cdot 10^{-3} + 1,0 \cdot 10^{-3}}{20 \cdot 10^{-3}} = 1,0 \cdot 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}.$$

B3.4. La pile cesse de fonctionner lorsque le système chimique atteint l'état d'équilibre. On a vu que pour cette réaction $x_{\text{éq}} = x_{\max}$

$$Q = n_e \times N_A \times e \quad \text{avec} \quad n_e = n_{\text{Ag}^+} = 2 \times x_{\max}$$

$$Q = 2 \times 1,0 \cdot 10^{-3} \times 96,5 \cdot 10^3$$

$$Q = 193 \text{ C} \quad \text{soit} \quad Q = 1,9 \cdot 10^2 \text{ C}$$

B3.5. Il suffit de convertir Q en A.h.

$$1 \text{ A.h} = 3600 \text{ C}$$

$$\chi = \frac{Q}{3600}$$

$$\chi = \frac{193}{3600} = 53,6 \cdot 10^{-3} \text{ A.h}$$

$$\text{soit } \chi = 54 \cdot 10^{-3} \text{ A.h} \quad \text{ou } 54 \text{ mA.h}$$

Exercice n°4 RÉACTIONS ACIDO-BASIQUES

1. Identification d'un indicateur coloré.

$$\text{1.1. } \tau = \frac{x_f}{x_{\max}}$$

Si la transformation est totale HInd est totalement consommé, soit $x_{\max} = C_0 \times V$

Dans l'état final d'équilibre, $x_f = [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}} \times V$

$$\tau = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}} \times V}{C_0 \times V} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}}{C_0}$$

$$\tau = \frac{6,6 \cdot 10^{-5}}{2,90 \cdot 10^{-4}} = 23\%$$

$\tau < 100\%$, donc la transformation est limitée, toutes les molécules de la forme acide de l'indicateur coloré ne sont pas dissociées.

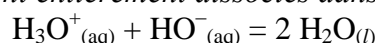
$$\text{1.2. } K_A = \frac{[\text{Ind}^-_{(aq)}]_{\text{éq}} \times [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}}{[\text{HInd}_{(aq)}]_{\text{éq}}}$$

$$\text{1.3. } \text{p}K_A = -\log(K_A)$$

$$\text{p}K_A = -\log(1,9 \cdot 10^{-5}) = 4,7 \quad \text{L'indicateur coloré est le vert de bromocrésol.}$$

2. Dosage d'une solution d'acide chlorhydrique concentrée.

2.1. L'acide chlorhydrique et la soude sont entièrement dissociés dans l'eau.



2.2. L'équivalence lors d'un dosage conductimétrique correspond au point d'intersection des deux droites (voir figure), soit $V_E = 11,1 \text{ mL}$

2.3. A l'équivalence les réactifs sont tels que :

$$n_{\text{H}_3\text{O}^+ \text{ initiale}} = n_{\text{HO}^- \text{ versée}}$$

$$C_1 \cdot V_1 = C_B \cdot V_E$$

$$C_1 = \frac{C_B \times V_E}{V_1}$$

$$C_1 = \frac{1,00 \cdot 10^{-1} \times 11,2}{100,0} = 11,2 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$$

2.4. La solution S_0 a été diluée 1000 fois

$$C_0 = 1000 \times C_1 = 11,2 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$2.5. m_0 = n_0 \times M_{\text{HCl}} = C_0 \times V \times M_{\text{HCl}}$$

$$m_0 = 11,2 \times 1 \times 36,5 = 409 \text{ g}$$

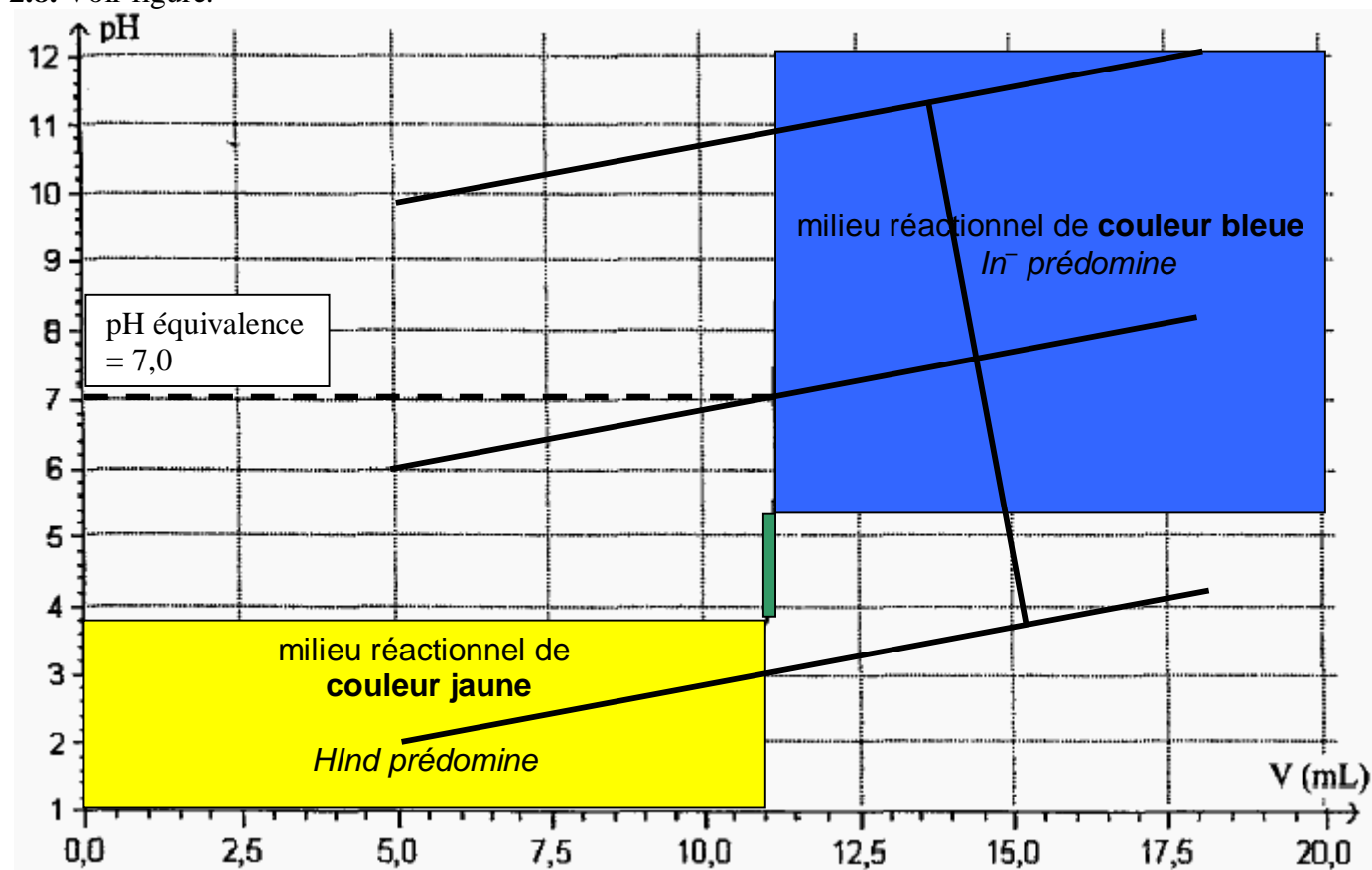
$$2.6 m = \rho_0 \times V = 1160 \times 1,000 = 1160 \text{ g}$$

2.7. Le pourcentage massique (p) correspond à la masse d'acide chlorhydrique présente dans 100 g de solution,

$$\text{or pour } 1160 \text{ g de solution on a } 409 \text{ g d'acide chlorhydrique, donc pour } 100 \text{ g on aura } p = \frac{409 \times 100}{1160} = 35,3\%$$

On trouve un pourcentage légèrement supérieur à celui donné par l'étiquette mais celle ci indique le pourcentage **minimum** en masse d'acide, l'indication est **correcte**.

2.8. Voir figure.



Le pH de la solution est initialement acide, le vert de bromocrésol va colorer la solution en jaune, puis celle-ci va devenir verte (teinte sensible de l'indicateur) pour V proche de V_E et enfin au delà de l'équivalence la solution se colore en bleu.

2.9. À l'aide de la méthode des tangentes, on remarque que le pH à l'équivalence est égal à 7,0.

Le **bleu de bromothymol** serait mieux adapté pour réaliser le titrage car sa zone de virage contient le pH à l'équivalence, ce qui n'est pas le cas du vert de bromocrésol.