

DM - Révisions de Toussaint

Partie I

Moteur à explosion

Présentation générale

Le moteur à explosion a été proposé par le français Beau de Rochas en 1862, et construit par l'allemand Nikolaus Otto en 1876. Dans un tel moteur, la détonation du mélange air-carburant est provoquée par une étincelle produite par la bougie d'allumage, et ce à chaque fois que le piston atteint le point haut de sa course, ce qui le renvoie en bas et permet ainsi de fournir de l'énergie cinétique.

Nous étudions ici le cycle du moteur quatre temps, ainsi appelé car à chaque cycle le piston effectue quatre courses complètes (soit deux aller-retour) au sein du cylindre.

Il est évident que le cycle réellement effectué par le moteur est complexe, et ne peut être étudié qu'au prix d'une modélisation qui implique des hypothèses simplificatrices. Nous allons par exemple supposer les gaz parfaits, et les détenteurs ou les compressions seront d'un type qui s'étudie facilement (adiabatique, isobare, etc.).

L'objectif d'une telle modélisation est par exemple de pouvoir prédire de quelles variables dépend le rendement, et comment celui-ci évolue lorsque l'on modifie ces variables. Les ordres de grandeurs et les sens de variations seront très probablement les mêmes que pour le moteur réel. Une modélisation simple permet également de comparer différents types de moteurs entre eux (le cycle Beau de Rochas, le cycle Diesel, le cycle de Stirling, etc.).

Une étude plus fine peut se faire en relâchant certaines hypothèses (équation d'état des gaz plus complexe, vraie dépendance en T des capacités thermiques, etc.), mais au prix de plus de calculs. Enfin, des simulations numériques peuvent aussi être utilisées.

Description du cycle et de sa modélisation

Hypothèses générales :

- Le mélange air-carburant est modélisé par un gaz parfait, d'exposant adiabatique $\gamma = 1.4$ supposé indépendant de la température.
- Le gaz constitue un système fermé de n moles, de capacité thermique à volume constant $C_V = \frac{nR}{\gamma - 1}$.

L'animation suivante aide beaucoup à comprendre le fonctionnement du cycle : http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/Thermo/Machines/4temps.php

Le cycle de Beau de Rochas et sa modélisation sont les suivants :

- On part en A d'un cylindre rempli d'un mélange air-carburant, avec le piston au point mort bas (en bas du cylindre). Le piston monte jusqu'au point mort haut en B : le gaz est donc comprimé.

Modèle : cette compression est supposée adiabatique et réversible.

Justifications : la compression est assez rapide pour que les échanges de chaleur avec l'extérieur n'aient pas lieu (hypothèse adiabatique) ; le mouvement du piston est lent par rapport à la vitesse du son, ce qui fait que la transformation est quasi-statique, et les frottements pas trop importants (hypothèse réversible).

- Au point B , la bougie fournit une étincelle qui déclenche l'explosion du mélange. Cette combustion apporte de la chaleur au gaz. En conséquence, la pression augmente jusqu'au point C .

Modèle : cette augmentation de pression est supposée isochore.

Justification : elle a lieu au point mort haut, et la pression augmente très rapidement par rapport à la variation de volume.

C'est au cours de cette étape qu'a lieu l'apport de chaleur au système (chaleur fournie par la "source chaude" dans le modèle des machines dithermes).

- Entre C et D , le piston est éjecté vers l'extérieur à cause de l'augmentation de pression jusqu'à ce qu'il atteigne le point mort bas. Il s'agit donc d'une détente.

Modèle : on suppose cette détente adiabatique réversible.

- Au point D , il y a dans le cylindre un mélange air-carburant qui a déjà brûlé. Il faut donc évacuer ces gaz et les remplacer par un mélange "neuf" prêt à brûler à nouveau. C'est le rôle de l'aller-retour $A \rightarrow A' \rightarrow D$.

- Au point D , la soupape d'éjection s'ouvre. La pression retombe donc à la pression atmosphérique.
- De D à A' , la soupape d'éjection est toujours ouverte et le piston remonte, ce qui éjecte tout le gaz vers l'extérieur.
- De A' à A , la soupape d'éjection est fermée et la soupape d'admission est ouverte. Le piston redescend, ce qui remplit le cylindre avec un mélange air-carburant nouveau.

Modèle : on ignore l'aller-retour $A-A'$ dans le modèle du cycle. Au lieu de cela, on suppose que de D à A le mélange revient à la pression atmosphérique à cause de l'ouverture de la soupape, de façon isochore jusqu'en A . Dans le modèle le mélange reste donc le même, mais il est prêt à brûler à nouveau. C'est au cours de cette étape que le gaz cède de la chaleur à la "source froide" dans le modèle des machines dithermes (donc ici à l'atmosphère extérieure).

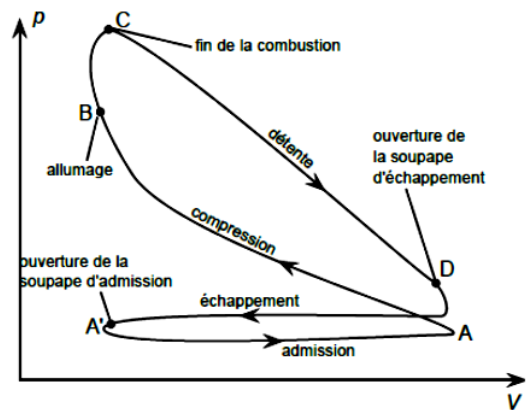
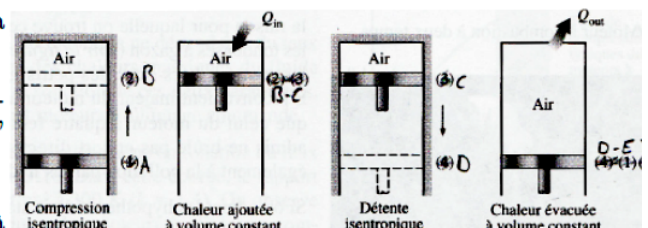


Diagramme du cycle réel en haut, et du cycle modèle en bas.



Représentation des étapes du cycle théorique (les soupapes d'admission et d'échappement ne sont pas représentées, et donc l'aller-retour AA' est ignoré ici).

Questions

Dans tout ce qui suit, nous utilisons uniquement le cycle modèle.

- 1 - Reproduire le diagramme du cycle modèle, et indiquer sur chacune des quatre courbes s'il s'agit d'une compression adiabatique réversible, d'une détente adiabatique réversible, d'un apport de chaleur isochore, ou d'une évacuation de chaleur isochore.

L'objectif est ensuite de calculer le rendement théorique. Les données sont les suivantes : le rapport entre le volume maximal et le volume minimal du cylindre lors de la course du piston est $\alpha = V_A/V_B$, et on prendra la valeur typique (pour un moteur à essence) de 10 ; la pression en A est la pression atmosphérique $p_A = p_0 = 1.0 \text{ bar}$. On prend $R = 8.314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$.

- 2 - (a) - Exprimer le transfert thermique Q_{BC} fourni au système lors de l'étape $B \rightarrow C$, en fonction de R , n , γ , T_B et T_C .
 (b) - Quel est le signe de Q_{BC} ? D'après la description du début de l'énoncé, qu'est ce qui produit cette chaleur ?
- 3 - (a) - Exprimer le transfert thermique Q_{DA} fourni au système lors de l'étape $D \rightarrow A$, en fonction de R , n , γ , T_D et T_A .
 (b) - Quel est le signe de Q_{DA} ? D'après la description du début de l'énoncé, que se passe-t-il ?
- 4 - (a) - Exprimer le travail W fourni au système lors d'un cycle en fonction de Q_{BC} et de Q_{DA} .
 (b) - Quel doit être le signe de ce travail si l'on veut que le système fournisse effectivement un travail au milieu extérieur (donc au piston puis au reste de la chaîne de transmission) ?
 Au cours du cycle, lors de quelles étapes ce travail est-il produit ?
- 5 - Définir le rendement thermique η . Puis l'exprimer en fonction de Q_{BC} et Q_{DA} . L'exprimer ensuite en fonction de T_A , T_B , T_C , T_D .
- 6 - (a) - Exprimer le rendement thermique en fonction de γ et du rapport des volumes α uniquement.
 (b) - Faire l'application numérique. Comment varie η en fonction du rapport de compression α ?
 (c) - Les rendements des moteurs réels de ce type varient entre 25 et 30%. Comment peut-on expliquer les différences entre le rendement théorique et le rendement réel ?
- 7 - Pour avoir une idée des contraintes exercées sur les matériaux (cylindre, piston), on veut calculer la pression et la température maximales atteintes lors du cycle. Ceci a lieu au point C .
 On prend encore $\alpha = 10$. On donne $p_A = p_0 = 1.0 \text{ bar}$, $T_A = 17^\circ\text{C}$ (température de l'atmosphère), et on indique que la chaleur apportée lors de la combustion (étape BC) est $q_m = 23 \text{ kJ/mol}$ (la combustion de n moles de mélange apporte donc une chaleur nq).
 (a) - Exprimer la température en B en fonction de α , γ et T_A . Faire l'application numérique.
 (b) - Exprimer la température en C en fonction de T_B , q_m , γ et R . Faire l'application numérique.
 (c) - Exprimer puis calculer la pression en C .

Partie II

Structure de la matière

Autour du calcium

Le calcium est le cinquième élément le plus abondant de la croûte terrestre. On le trouve dans les roches calcaires constituées principalement de carbonate de calcium CaCO_3 . Le calcium joue un rôle essentiel chez la plupart des organismes vivants vertébrés en contribuant notamment à la formation des os ou des dents.

Données : $M_{\text{Ca}} = 40.078 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, nombre d'Avogadro $N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

1. Préciser la composition du noyau de l'atome de calcium $^{40}_{20}\text{Ca}$.
2. Écrire la configuration électronique du calcium dans son état fondamental. Donner son nombre d'électrons de valence. En déduire sa position (période et colonne) dans la classification périodique. Quel est le nom de la famille à laquelle il appartient ?

Le calcium métallique de variété α cristallise selon une structure de type cubique à faces centrées, notée Ca_α , de paramètre maille $a = 560 \text{ pm}$.

3. Représenter la maille CFC en indiquant la position des atomes.
4. Calculer le nombre d'atomes par maille de la structure α .
5. Donner la relation entre le paramètre de maille a et le rayon métallique $R(\text{Ca})$. En déduire sa valeur numérique.
6. Donner l'expression et la valeur de la masse volumique de Ca_α .
7. Les deux isotopes les plus abondants de l'élément calcium sont ^{40}Ca et ^{44}Ca , avec des abondances respectives de 97% et 3%. La masse molaire du premier est de 39.96 g/mol , celle du second de 43.96 g/mol . Peut-on ainsi retrouver la valeur de la masse molaire du calcium donnée en début d'énoncé ?

Classification périodique et éléments de la même famille

Le radium est de la même famille que le calcium. Il est situé sur la 7^e ligne.

8. Donner la formule d'un ion stable formé par l'élément radium (justifier à l'aide d'un argument).
9. Combien de colonnes y a-t-il dans la classification périodique ? En faire un schéma et isoler différents blocs que l'on nommera (blocs s, p et d). Situer le calcium et le radium.
10. Le radium est-il plus ou moins électronégatif que le calcium ?
Rappeler ce que signifie l'électronégativité.

Partie III

Débitmètres

III.1. L'effet Venturi

On considère l'écoulement d'un fluide dans une conduite horizontale dont la section diminue dans le sens de l'écoulement (voir la figure 6).

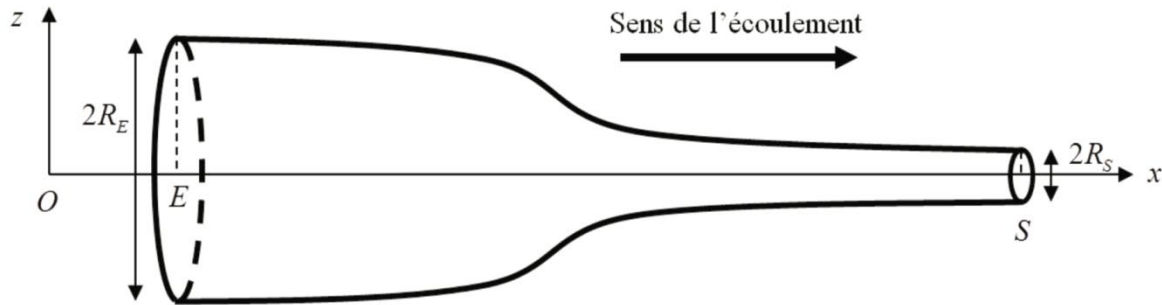


FIGURE 6 – Effet Venturi

On note $R_E = 10,0$ cm et $R_S = 5,00$ cm les rayons des sections circulaires d'entrée et de sortie de la conduite. L'axe (Ox) est l'axe de la conduite : sur cet axe, les points E et S appartiennent aux faces d'entrée et de sortie de la conduite. On note (Oz) l'axe vertical ascendant.

De l'eau (fluide supposé parfait et incompressible, de masse volumique $\mu = 1,00 \cdot 10^3$ kg.m⁻³) s'écoule en régime stationnaire dans la conduite, avec un débit massique $D_m = 75,0$ kg.s⁻¹.

III.1.a. Donner la définition d'un fluide parfait. Que peut-on alors dire du profil du champ de vitesse dans la section correspondant à la face d'entrée ? à la face de sortie ?

On note v_E et v_S (respectivement P_E et P_S) les vitesses du fluide (respectivement les pressions) aux points E et S de l'écoulement.

III.1.b. Exprimer le débit massique D_m en fonction de μ , v_E et R_E . En déduire, littéralement et numériquement, la vitesse v_E de l'écoulement en entrée.

III.1.c. Comment s'écrit la conservation du débit massique entre l'entrée et la sortie de la conduite ? En déduire l'expression de la vitesse v_S de l'écoulement en sortie en fonction de v_E , R_E et R_S ; faire l'application numérique.

III.1.d. Énoncer la relation de Bernoulli après avoir rappelé ses conditions d'application.

III.1.e. Appliquer la relation de Bernoulli sur une ligne de courant qu'on précisera. En déduire que la variation de pression, entre E et S , s'écrit

$$\Delta P = P_S - P_E = \frac{D_m^2}{2\pi^2\mu} \left(\frac{1}{R_E^4} - \frac{1}{R_S^4} \right). \quad (7)$$

III.1.f. Justifier que, dans le cas où la section de la conduite diminue, la pression diminue également. C'est l'effet Venturi.

III.1.g. Calculer numériquement ΔP .

L'effet Venturi peut être utilisé pour mesurer un débit dans une conduite fermée.



FIGURE 7 – Débitmètre à effet Venturi

Une conduite horizontale a une section circulaire de rayon R . On réduit localement le rayon de la section à $r < R$. Ce dispositif, représenté sur la figure 7, constitue un débitmètre à effet Venturi. On suppose que les pertes de charges liées à cette réduction sont négligeables. Dans cette conduite, de l'eau (fluide supposé parfait et incompressible) s'écoule en régime stationnaire, avec un débit volumique constant q .

III.1.h. Expliquer comment une mesure judicieuse de différence de pressions, dans le débitmètre à effet Venturi, permet de mesurer le débit q . Faire un schéma du débitmètre, en précisant clairement les endroits de la conduite où les mesures de pression doivent être faites.

III.1.i. Décrire et schématiser un dispositif permettant de mesurer directement la différence de pression.

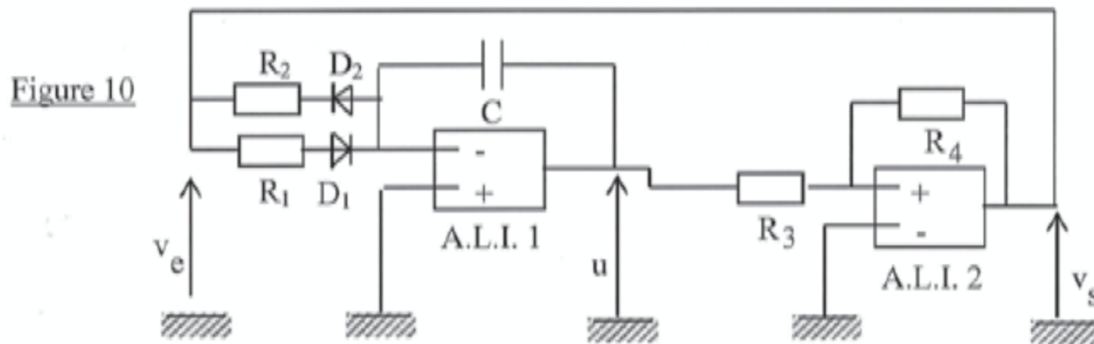
Partie IV

Electronique

Partie 1 Générateur de balayage *extrait Banque PT 2017*

Dans cette partie, aucune connaissance préalable sur les diodes ou photodiodes n'est nécessaire.

Le générateur de balayage délivre un signal en rampes. On propose le montage de la figure 10 suivante pour la réalisation de ce signal.



Les amplificateurs linéaires intégrés (A.L.I.) sont supposés idéaux. Ils sont alimentés par des tensions continues $\pm V_0$ avec $V_0 = 15 \text{ V}$, et on suppose que leur tension de saturation est : $V_{\text{sat}} = V_0$.

Les diodes D_1 et D_2 sont des interrupteurs commandés par la tension v_e :

Si $v_e > 0$: D_1 est fermé et D_2 est ouvert. Si $v_e < 0$: D_1 est ouvert et D_2 est fermé.

1. Que peut-on dire des courants d'entrée et du gain d'un A.L.I. idéal ?
2. Justifier que l'un des deux A.L.I. fonctionne nécessairement en régime de saturation.
- 3.

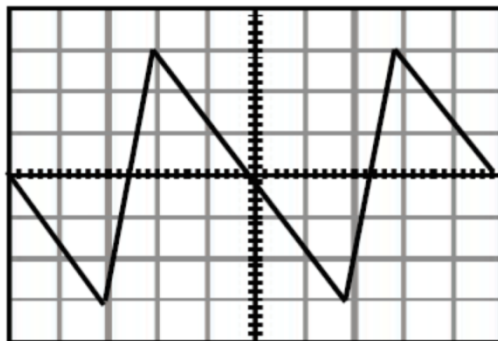


Figure 11

On observe expérimentalement, pour la tension $u(t)$, l'oscillogramme de la figure 11 ci-contre.

Echelle horizontale 1 ms/division
Echelle verticale : 1 V/division

Justifier que l'autre A.L.I. fonctionne en régime linéaire.

4. On suppose qu'à l'instant initial $t = 0$, le spot de l'oscilloscope est au point central de l'écran ($u(0) = 0$), le condensateur étant déchargé, et que $v_e = +V_0$. Exprimer $u(t)$ pour $t \geq 0$.
5. Pour l'A.L.I. 2, exprimer V_+ en fonction de u et v_s , puis en déduire l'instant t_1 où se produit le basculement vers la tension $v_s = -V_0$.
6. Pourquoi la tension $u(t)$ ne peut-elle pas subir de discontinuité ?
7. Pour $t \geq t_1$, exprimer $u(t)$ puis déterminer l'instant t_2 où la tension u s'annule à nouveau.
8. En s'aidant de l'oscillogramme et en utilisant les résultats précédents, déduire :
 - 8.1. L'expression de la période T de la tension u en fonction de R_1 , R_2 , R_3 , R_4 et C .
 - 8.2. Les valeurs de R_1 , R_2 , R_3 en $k\Omega$, sachant que $C = 1 \mu\text{F}$ et $R_4 = 1 k\Omega$.

Partie V

Titration de l'aluminium

Une méthode possible de titrage de l'aluminium (III) en solution aqueuse consiste à acidifier la solution à titrer par de l'acide chlorhydrique afin de convertir l'aluminium (III) en ions $\text{Al}^{3+}_{(\text{aq})}$. Puis, on titre cette solution acidifiée d'ions $\text{Al}^{3+}_{(\text{aq})}$ par de la soude. Les mesures sont réalisées à une température de 298 K.

Titration 1 : titrage d'une solution d'acide chlorhydrique $\{\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})} + \text{Cl}^-_{(\text{aq})}\}$ - Protocole :

Un volume $V_0 = 20,0 \text{ mL}$ d'une solution d'acide chlorhydrique $\{\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})} + \text{Cl}^-_{(\text{aq})}\}$ de concentration molaire C_1 est titré par une solution de soude $\{\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{OH}^-_{(\text{aq})}\}$ de concentration $C = 1,0 \cdot 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Le titrage est suivi par pH-métrie. La courbe est donnée sur le document-réponse (annexe 3), à rendre avec la copie.

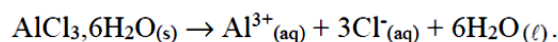
- D26. Ecrire l'équation de réaction mise en jeu lors de ce titrage et calculer la constante d'équilibre associée.
- D27. A l'aide d'une construction graphique, à faire apparaître sur l'annexe 3 du document réponse, déterminer le volume équivalent V_e .
- D28. En déduire la valeur de la concentration molaire C_1 de la solution d'acide chlorhydrique.
- D29. L'équivalence aurait pu être repérée à l'aide d'un indicateur coloré acido-basique. En vous aidant du tableau ci-dessous, proposer, en justifiant, un indicateur coloré adapté à ce titrage et préciser le changement de couleur observé.

Indicateur coloré acido-basique	Couleur de la forme acide	Zone de virage	Couleur de la forme basique
Bleu de bromophénol	Jaune	3,0 - 4,6	Violet
Hélianthine	Rouge	3,1 - 4,4	Jaune
Vert de bromocrésol	Jaune	4,0 - 5,6	Bleu
Bleu de bromothymol	Jaune	6,2 - 7,6	Bleu
Phénolphtaléine	Incolore	8,0 - 10,0	Rouge

Titration 2 : titrage d'une solution acidifiée d'ions $\text{Al}^{3+}_{(\text{aq})}$ - Protocole :

Une masse m de chlorure d'aluminium hexahydraté $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ solide, est placée dans une fiole jaugée de $V_0 = 20,0 \text{ mL}$. On ajoute un peu de solution d'acide chlorhydrique $\{\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})} + \text{Cl}^-_{(\text{aq})}\}$ de concentration molaire C_1 . On agite jusqu'à dissolution totale du solide puis on complète avec la même solution d'acide chlorhydrique, jusqu'au trait de jauge.

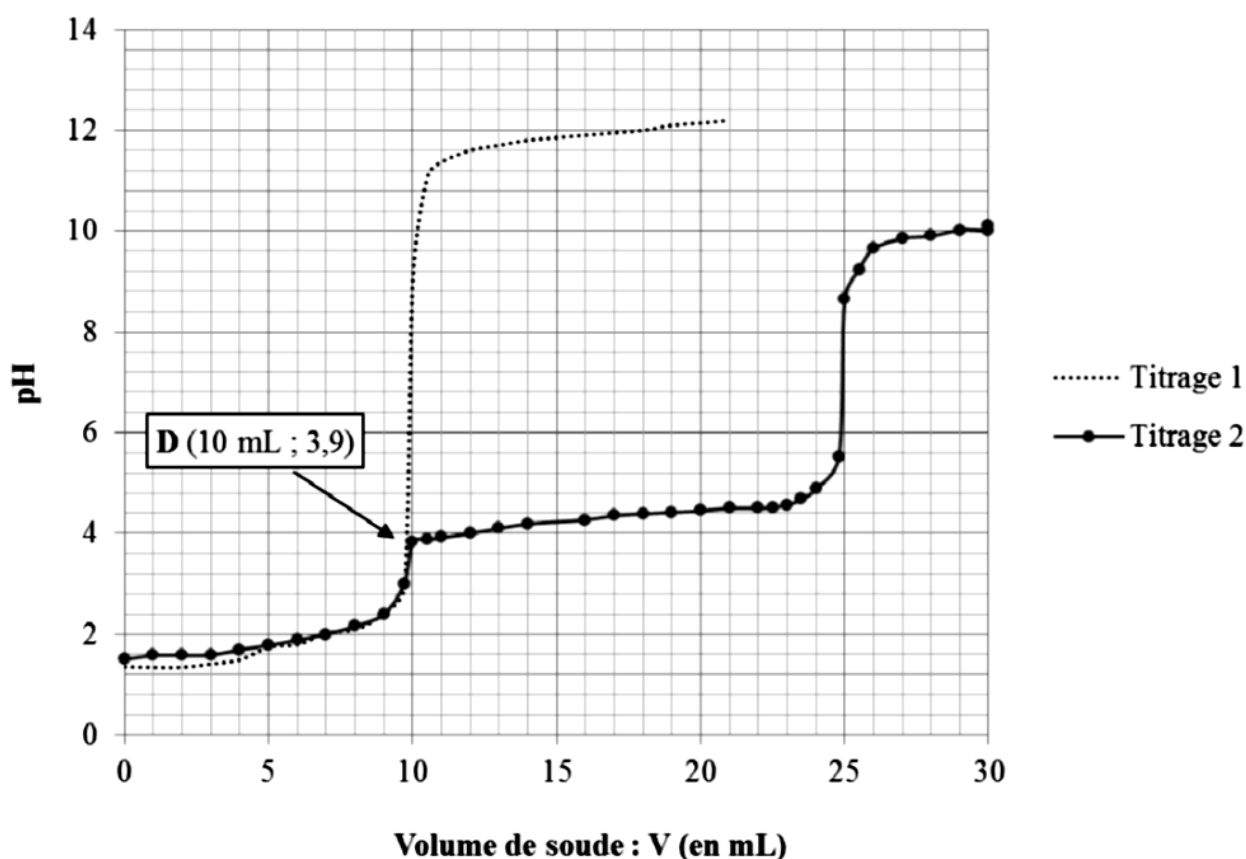
L'équation de réaction de dissolution du solide en milieu acide est la suivante :



On appellera (S) la solution obtenue. Dans cette solution, on notera :

- C_1 la concentration molaire en ions $\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}$
- C_2 la concentration molaire en ions $\text{Al}^{3+}_{(\text{aq})}$.

Le volume $V_0 = 20,0 \text{ mL}$ de solution (S) est titré par une solution de soude $\{\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{OH}^-_{(\text{aq})}\}$ de concentration $C = 1,0 \cdot 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Le titrage est suivi par pH-métrie. Au cours du titrage, on remarque l'apparition d'un précipité blanc.



Evolution du pH lors du titrage d'une solution composée d'un mélange d'acide chlorhydrique (C_1) et d'ions $Al^{3+}_{(aq)}$ (C_2) par de la soude (C) (titrage 2). La courbe du titrage 1 a été superposée.

- D30. Ecrire les équations des deux réactions mises en jeu lors de ce titrage et relever les deux valeurs de volumes équivalents V_{e1} et V_{e2} .
- D31. Montrer que les ions $H_3O^+_{(aq)}$ sont dosés en premier.
- D32. Donner, en mL, le volume de soude qui a réagi avec les cations $Al^{3+}_{(aq)}$. En déduire C_2 la concentration molaire en ions $Al^{3+}_{(aq)}$ dans la solution (S).
- D33. Quelle masse m de chlorure d'aluminium hexahydraté a servi à la préparation de la solution (S) ?

Par l'exploitation du point anguleux D, on souhaite retrouver la valeur du produit de solubilité K_s de l'hydroxyde d'aluminium $Al(OH)_{3(s)}$.

- D34. Donner l'équation de réaction dont la constante thermodynamique est le produit de solubilité de l'hydroxyde d'aluminium K_s .
- D35. Déterminer la concentration molaire en ions $OH^-_{(aq)}$ dans le bécher au point D.
- D36. En tenant compte de la dilution, évaluer la concentration molaire en ions $Al^{3+}_{(aq)}$ dans le bécher au point D.
- D37. En déduire une valeur à 298 K du produit de solubilité K_s de l'hydroxyde d'aluminium.

En réalité, les vaccins sont des solutions complexes et le dosage de l'aluminium (III) se fait par polarographie impulsionnelle.

Fin de l'énoncé