

Additif alimentaire pour les agneaux

Dans les élevages ovins, les agneaux consomment des céréales et des protéagineux riches en phosphore qui favorisent la formation de minuscules cristaux dans l'urine de ces animaux. Ces cristaux sont à l'origine d'une maladie appelée lithiase urinaire ou gravelle.

D'après le site des partenaires de la production ovine en France (inn-ovin.fr), l'ajout quotidien de chlorure d'ammonium à l'alimentation des agneaux, à raison d'environ 300 mg (à 10 % près) par kilogramme de masse corporelle, est une solution efficace pour prévenir cette maladie. Le chlorure d'ammonium est en effet un acide qui permet d'abaisser le pH des urines pour le bien-être des animaux.

Un éleveur administre chaque jour, à un agneau de 24 kg, un litre d'une solution de chlorure d'ammonium (NH_4^+ (aq) + Cl^- (aq)) qu'il a préparée lui-même.

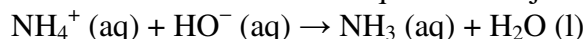
On souhaite vérifier que la préparation de l'éleveur est conforme à la préconisation du site des partenaires de la production ovine en France.

Donnée masse molaire du chlorure d'ammonium solide NH_4Cl (s) : $M = 53,5 \text{ g.mol}^{-1}$

1 Réalisation du titrage

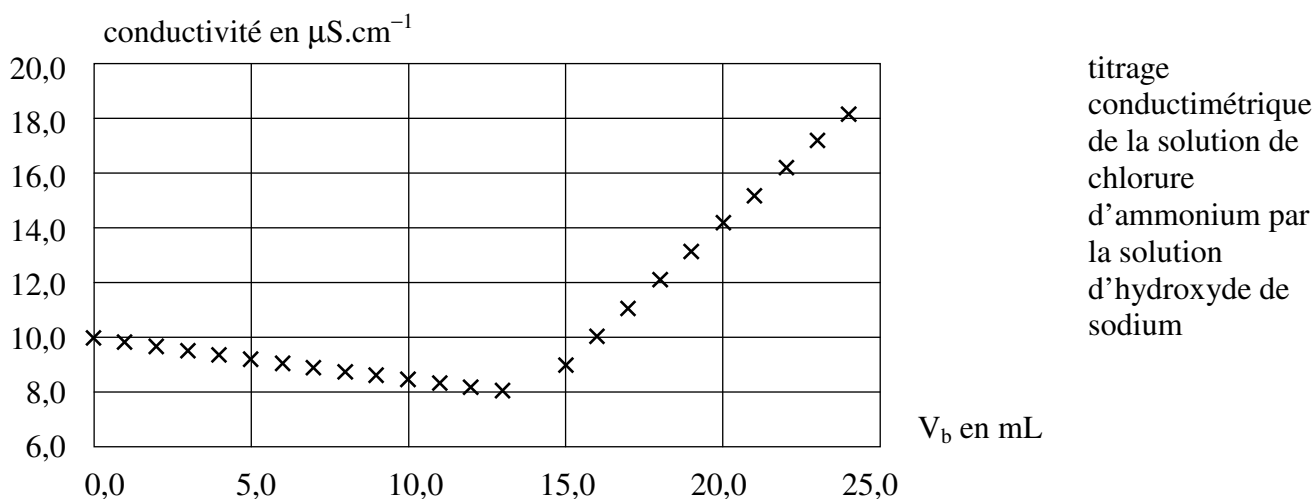
On réalise le titrage conductimétrique d'un volume $V_A = 10,00 \text{ mL}$ de la solution préparée par l'éleveur, diluée avec $V_{\text{eau}} = 200 \text{ mL}$ d'eau distillée, par une solution titrante d'hydroxyde de sodium de concentration apportée en quantité de matière $C_B = (0,100 \pm 0,002) \text{ mol.L}^{-1}$.

Equation de la réaction modélisant la transformation chimique mise en jeu lors du titrage :



- 1.1 Indiquer, en justifiant, si la transformation chimique mise en jeu lors du titrage est une réaction acido-basique ou d'oxydoréduction.
- 2.2 Réaliser un schéma légendé du dispositif de titrage conductimétrique, en nommant la verrerie et les solutions.

On obtient la courbe suivante :



- 1.3 Exprimer, en fonction des données, la concentration C_A en quantité de matière apportée de chlorure d'ammonium de la solution préparée par l'éleveur, puis calculer sa valeur.

L'incertitude-type sur la valeur de la concentration obtenue satisfait à la relation :

$$U(C_A) = C_A * \sqrt{\left(\frac{U(C_B)}{C_B}\right)^2 + \left(\frac{U(V_{\text{eq}})}{V_{\text{eq}}}\right)^2 + \left(\frac{U(V_A)}{V_A}\right)^2}$$

L'incertitude-type sur le volume à l'équivalence est estimée à $U(V_{\text{eq}}) = 0,1 \text{ mL}$.

Les incertitudes notées sur la verrerie sont :

- burette de 25 mL : $\pm 0,05 \text{ mL}$
- pipette jaugée de 10 mL : $\pm 0,02 \text{ mL}$
- éprouvette graduée de 250 mL : $\pm 1 \text{ mL}$

- 1.4 Proposer un encadrement de la concentration de la solution préparée par l'élèveur.
- 1.5 Déterminer la masse de chlorure d'ammonium apportée par l'élèveur quotidiennement à l'agneau et comparer ce résultat à la valeur préconisée par le site des partenaires de la production ovine en France.

2 Simulation du titrage

Pour simuler l'évolution des quantités de matière de cinq espèces chimiques présentes en solution lors du titrage précédent : NH_4^+ , HO^- , Cl^- , Na^+ et NH_3 on utilise un programme en langage python. Dans ce programme, les quantités de matière sont notées nA, nB, nC, nS_A et nS_B.

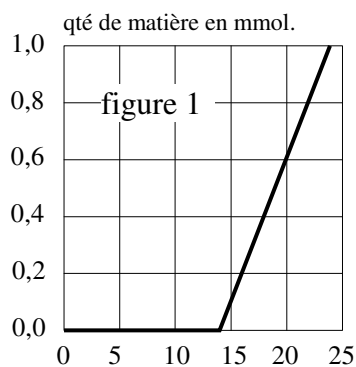
```

1 # Simulation du titrage dont la réaction support est de la forme
2 # a A + b B -> c C+ H2O
3 # a, b, c et d sont les coefficients stoechiométriques
4 from matplotlib import pyplot as plt
5
6 a = # nombre stœchiométrique de l'espèce à titrer A COMPLETER
7 b = # nombre stœchiométrique de l'espèce titrante A COMPLETER
8 c = # nombre stœchiométrique du produit de la réaction A COMPLETER
9 Ca = 0.14 # concentration de la solution à titrer (mol/L)
10 Va = 0,0100 # volume de la solution à titrer (L)
11 Cb = 0.10 # concentration de la solution titrante (mol/L)
12 Veq = # calcul du volume à l'équivalence (L) A COMPLETER
13 nA, nB, nC, nS_A, nS_B = [ ],[ ],[ ],[ ],[ ]
14 v = [ i/10 for i in range(250) ]
15 for Vb in v:
16     Vb = Vb / 1000 #volume en L
17     if Vb < Veq:
18         nA.append( Ca * Va - Cb * Vb * a / b)
19         # A COMPLETER AVEC LE CALCUL DE nB
20         nC.append ( c / b * Cb * Vb )
21         nS_A.append ( Ca * Va )
22         nS_B.append ( Cb * Vb )
23     else:
24         nA.append(0)
25         nB.append( Cb * Vb - Cb * Veq )
26         nC.append( c / b * Cb * Veq)
27         nS_A.append( Ca * Va )
28         nS_B.append( Cb * Vb )

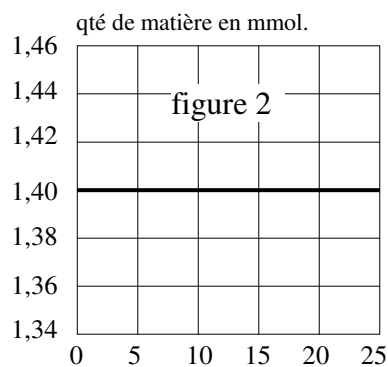
```

- 2.1 Compléter le code à écrire aux lignes 6, 7 et 8.
- 2.2 Identifier les deux espèces chimiques qui correspondent aux variables nS_A et nS_B.

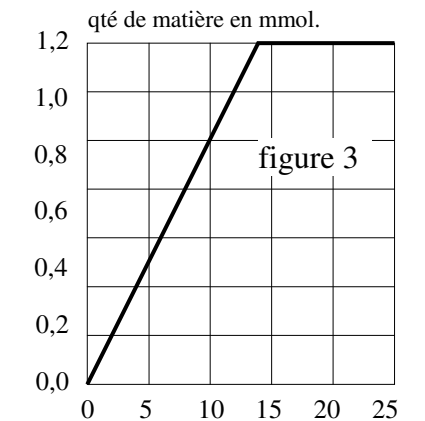
Chacun des cinq graphiques suivants, obtenus à l'aide du programme en langage python, représente l'évolution de la quantité de matière d'une des espèces chimiques en fonction du volume versé de solution titrante.



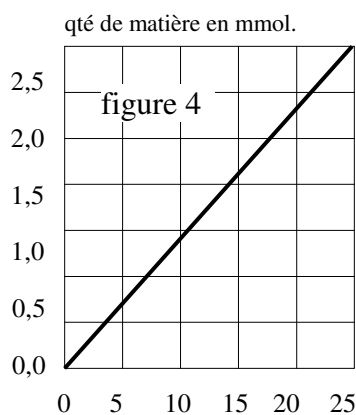
volume versé de solution titrante (mL)



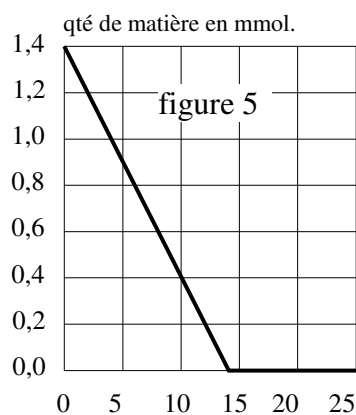
volume versé de solution titrante (mL)



volume versé de solution titrante (mL)



volume versé de solution titrante (mL)



volume versé de solution titrante (mL)

2.3 En justifiant explicitement le raisonnement, indiquer pour chaque graphe l'espèce chimique correspondante.

2.4 Compléter le code des lignes 12 et 19.

Corrigé

Additif alimentaire pour les agneaux

Dans les élevages ovins, les agneaux consomment des céréales et des protéagineux riches en phosphore qui favorisent la formation de minuscules cristaux dans l'urine de ces animaux. Ces cristaux sont à l'origine d'une maladie appelée lithiase urinaire ou gravelle.

D'après le site des partenaires de la production ovine en France (inn-ovin.fr), l'ajout quotidien de chlorure d'ammonium à l'alimentation des agneaux, à raison d'environ 300 mg (à 10 % près) par kilogramme de masse corporelle, est une solution efficace pour prévenir cette maladie. Le chlorure d'ammonium est en effet un acide qui permet d'abaisser le pH des urines pour le bien-être des animaux.

Un éleveur administre chaque jour, à un agneau de 24 kg, un litre d'une solution de chlorure d'ammonium (NH_4^+ (aq) + Cl^- (aq)) qu'il a préparée lui-même.

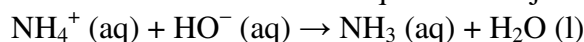
On souhaite vérifier que la préparation de l'éleveur est conforme à la préconisation du site des partenaires de la production ovine en France.

Donnée masse molaire du chlorure d'ammonium solide NH_4Cl (s) : $M = 53,5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

1 Réalisation du titrage

On réalise le titrage conductimétrique d'un volume $V_A = 10,00 \text{ mL}$ de la solution préparée par l'éleveur, diluée avec $V_{\text{eau}} = 200 \text{ mL}$ d'eau distillée, par une solution titrante d'hydroxyde de sodium de concentration apportée en quantité de matière $C_B = (0,100 \pm 0,002) \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

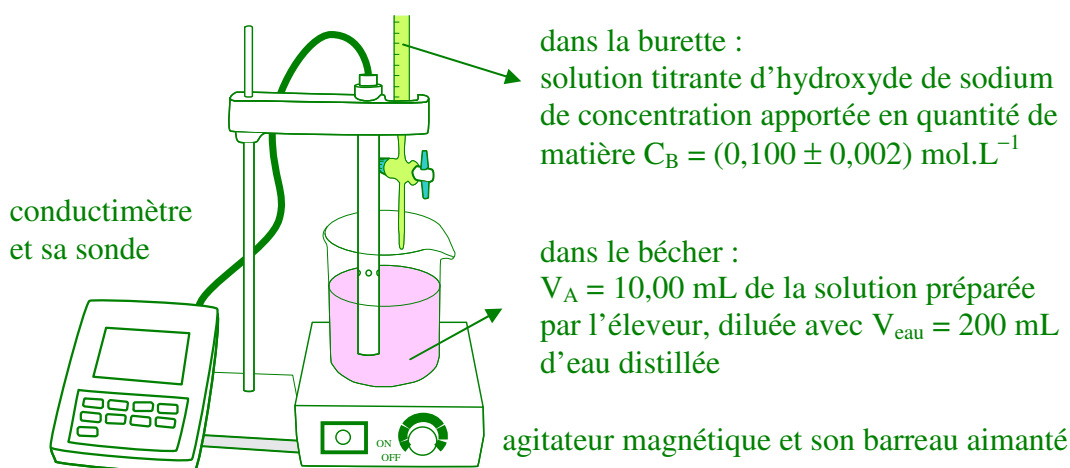
Equation de la réaction modélisant la transformation chimique mise en jeu lors du titrage :



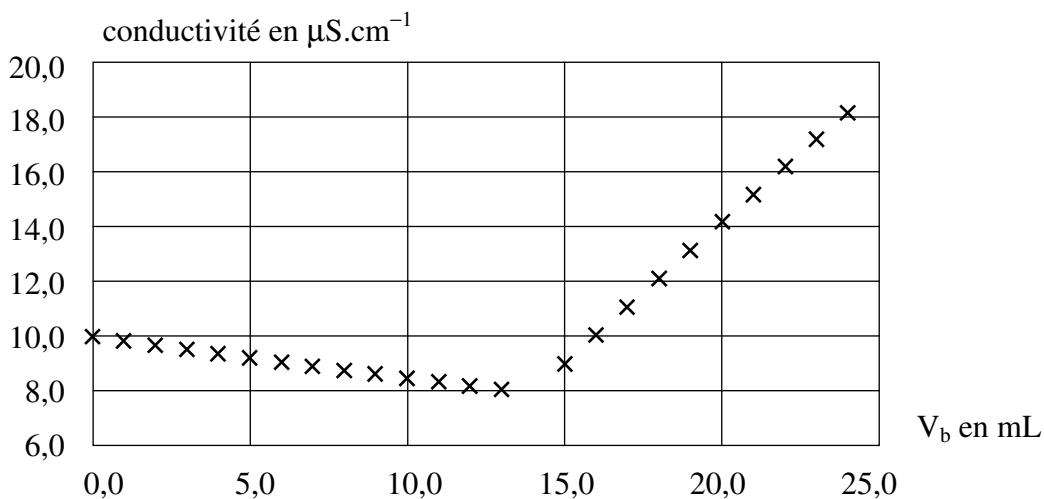
- 1.1 Indiquer, en justifiant, si la transformation chimique mise en jeu lors du titrage est une réaction acido-basique ou d'oxydoréduction.

l'acide NH_4^+ cède un ion hydrogène H^+ qui est capté par la base HO^-
les réactions qui impliquent un échange d'ion hydrogène H^+ entre réactifs sont appelées réactions acido-basiques

- 2.2 Réaliser un schéma légendé du dispositif de titrage conductimétrique, en nommant la verrerie et les solutions.

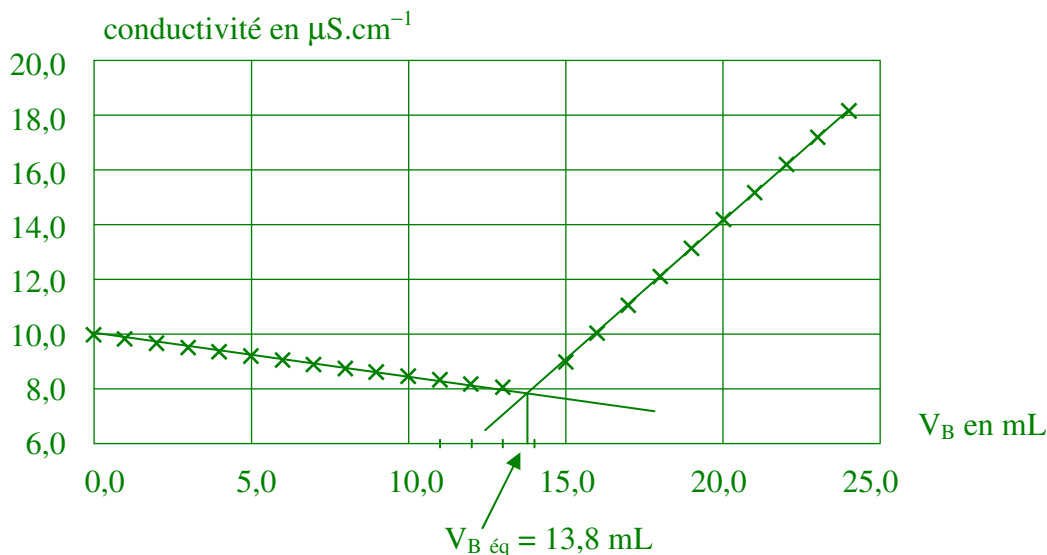


On obtient la courbe suivante :



titrage
conductimétrique
de la solution de
chlorure
d'ammonium par
la solution
d'hydroxyde de
sodium

- 1.3 Exprimer, en fonction des données, la concentration C_A en quantité de matière apportée de chlorure d'ammonium de la solution préparée par l'éleveur, puis calculer sa valeur.



à l'équivalence :
$$\frac{n_i(\text{NH}_4^+)}{1} = \frac{n_i(\text{OH}^-)}{1}$$

$$C_A * V_A = C_B * V_{B \text{ éq}}$$

$$C_A = C_B * V_{B \text{ éq}} / V_A$$

$$C_A = 0,100 * 13,8 / 10,00 = 0,138 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

L'incertitude-type sur la valeur de la concentration obtenue satisfait à la relation :

$$U(C_A) = C_A * \sqrt{\left(\frac{U(C_B)}{C_B}\right)^2 + \left(\frac{U(V_{\text{éq}})}{V_{\text{éq}}}\right)^2 + \left(\frac{U(V_A)}{V_A}\right)^2}$$

L'incertitude-type sur le volume à l'équivalence est estimée à $U(V_{\text{éq}}) = 0,1 \text{ mL}$.

Les incertitudes notées sur la verrerie sont :

- burette de 25 mL : $\pm 0,05 \text{ mL}$

- pipette jaugée de 10 mL : $\pm 0,02$ mL
- éprouvette graduée de 250 mL : ± 1 mL

1.4 Proposer un encadrement de la concentration de la solution préparée par l'éleveur.

$$U(C_A) = C_A * \sqrt{\left(\frac{U(C_B)}{C_B}\right)^2 + \left(\frac{U(V_{\text{éq}})}{V_{\text{éq}}}\right)^2 + \left(\frac{U(V_A)}{V_A}\right)^2}$$

$$U(C_A) = 0,138 * \sqrt{\left(\frac{0,002}{0,100}\right)^2 + \left(\frac{0,05}{13,8}\right)^2 + \left(\frac{0,02}{10,00}\right)^2} = 0,0028 \text{ (arrondi à } 0,003 \text{ mol.L}^{-1}\text{)}$$

$$C_A = (0,138 \pm 0,003) \text{ mol.L}^{-1}$$

1.5 Déterminer la masse de chlorure d'ammonium apportée par l'éleveur quotidiennement à l'agneau et comparer ce résultat à la valeur préconisée par le site des partenaires de la production ovine en France.

l'éleveur administre chaque jour un litre d'une solution de chlorure d'ammonium (NH_4^+ (aq) + Cl^- (aq)) qu'il a préparée lui-même

$$m_{\text{quotidienne donnée}}(\text{NH}_4\text{Cl}) = C_A * V_{\text{quotidien}} * M(\text{NH}_4\text{Cl}) = 0,138 * 1,00 * 53,5 = 7,38 \text{ g } (\pm 0,16 \text{ g})$$

pour un agneau de 24 kg, l'ajout quotidien d'environ 300 mg de chlorure d'ammonium (à 10 % près) par kilogramme de masse corporelle, est une solution efficace pour prévenir cette maladie

$$m_{\text{quotidienne souhaitée}}(\text{NH}_4\text{Cl}) = m_{\text{corporelle}} * 0,300 = 24 * 0,300 = 7,2 \text{ g}$$

la masse de chlorure d'ammonium apportée par l'éleveur quotidiennement à l'agneau est compatible avec la valeur préconisée

2 Simulation du titrage

Pour simuler l'évolution des quantités de matière de cinq espèces chimiques présentes en solution lors du titrage précédent : NH_4^+ , HO^- , Cl^- , Na^+ et NH_3 on utilise un programme en langage python. Dans ce programme, les quantités de matière sont notées nA, nB, nC, nS_A et nS_B.

```

1 # Simulation du titrage dont la réaction support est de la forme
2 # a A + b B -> c C+ H2O
3 # a, b, c et d sont les coefficients stoechiométriques
4 from matplotlib import pyplot as plt
5
6 a = # nombre stœchiométrique de l'espèce à titrer A COMPLETER
7 b = # nombre stœchiométrique de l'espèce titrante A COMPLETER
8 c = # nombre stœchiométrique du produit de la réaction A COMPLETER
9 Ca = 0.14 # concentration de la solution à titrer (mol/L)
10 Va = 0,0100 # volume de la solution à titrer (L)
11 Cb = 0.10 # concentration de la solution titrante (mol/L)
12 Veq = # calcul du volume à l'équivalence (L) A COMPLETER
13 nA, nB, nC, nS_A, nS_B = [ ], [ ], [ ], [ ], [ ]
14 v = [ i/10 for i in range(250) ]
15 for Vb in v:
16     Vb = Vb / 1000 #volume en L
17     if Vb < Veq:
18         nA.append( Ca * Va - Cb * Vb * a / b)
19 # A COMPLETER AVEC LE CALCUL DE nB

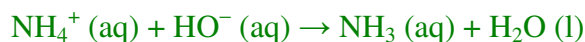
```

```

20         nC.append ( c / b * Cb * Vb )
21         nS_A.append ( Ca * Va )
22         nS_B.append ( Cb * Vb )
23     else:
24         nA.append(0)
25         nB.append( Cb * Vb - Cb * Veq )
26         nC.append( c / b * Cb * Veq )
27         nS_A.append( Ca * Va )
28         nS_B.append( Cb * Vb )

```

2.1 Compléter le code à écrire aux lignes 6, 7 et 8.



```

6     a = 1 # nombre stœchiométrique de l'espèce à titrer (NH4+)
7     b = 1 # nombre stœchiométrique de l'espèce titrante (HO-)
8     c = 1 # nombre stœchiométrique du produit de la réaction (NH3)

```

2.2 Identifier les deux espèces chimiques qui correspondent aux variables nS_A et nS_B.

les deux instructions :

```
27     nS_A.append( Ca * Va )
```

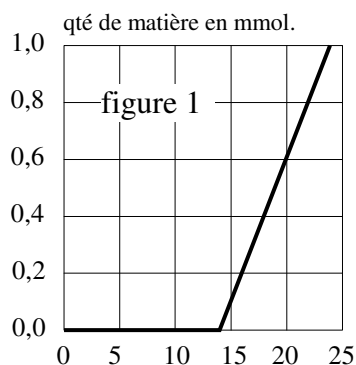
```
28     nS_B.append( Cb * Vb )
```

montrent que ces deux quantités ne varient pas au cours du titrage
il s'agit donc d'espèce spectatrices

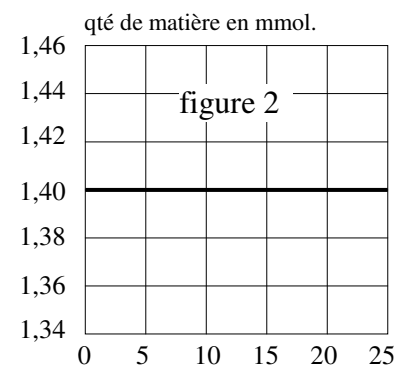
nS_A correspond à l'ion qui accompagne l'espèce à titrer : Cl^-

nS_B correspond à l'ion qui accompagne à l'espèce titrante : Na^+

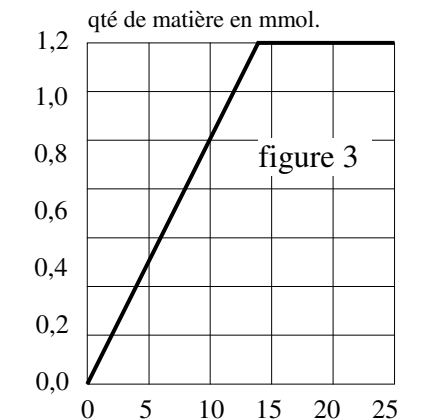
Chacun des cinq graphiques suivants, obtenus à l'aide du programme en langage python, représente l'évolution de la quantité de matière d'une des espèces chimiques en fonction du volume versé de solution titrante.



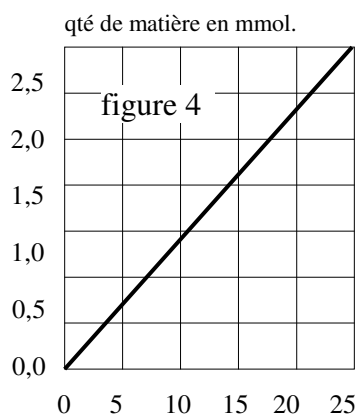
volume versé de solution titrante (mL)



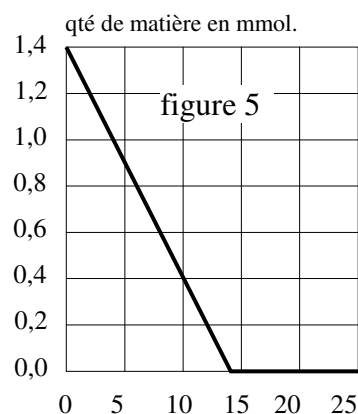
volume versé de solution titrante (mL)



volume versé de solution titrante (mL)



volume versé de solution titrante (mL)



volume versé de solution titrante (mL)

2.3 En justifiant explicitement le raisonnement, indiquer pour chaque graphe l'espèce chimique correspondante.

figure 1 : la quantité de matière de cette espèce est nulle jusqu'à $V_{B \text{ éq}}$ (13,8 mL) puis cette quantité augmente fortement

il s'agit donc du réactif en défaut avant l'équivalence : OH^-

figure 2 : la quantité de matière de cette espèce est constante

il s'agit d'une espèce spectatrice présente au début du titrage dans le bécher : Cl^-

figure 3 : la quantité de matière de cette espèce augmente fortement jusqu'à $V_{B \text{ éq}}$ (13,8 mL) puis cette quantité devient constante

il s'agit donc d'un produit de la transformation car sa production est stoppée après l'équivalence : NH_3

figure 4 : la quantité de matière est initialement nulle puis augmente constamment

il s'agit d'une espèce spectatrice non présente au début du titrage dans le bécher : Na^+

figure 5 : la quantité de matière de cette espèce diminue fortement jusqu'à $V_{B \text{ éq}}$ (13,8 mL) puis cette quantité devient nulle

il s'agit donc du réactif en défaut après l'équivalence : NH_4^+

2.4 Compléter le code des lignes 12 et 19.

question 1.3 : $C_A * V_A = C_B * V_{B \text{ éq}}$

12 $V_{\text{eq}} = C_a * V_a / C_b$ # calcul du volume à l'équivalence (mL)

après équivalence :

calcul de nB : $nB.append(C_b * V_b - C_b * V_{\text{eq}})$

quand $V_b = V_{\text{eq}} \rightarrow nB = 0$

quand $V_b \nearrow \rightarrow nB \nearrow$

ce comportement correspond à la figure 1 c'est à dire aux ions HO^-

19 $nB.append(0.0)$ # calcul de nB