

SÉPARATION ET IDENTIFICATION D'ESPÈCES CHIMIQUES

Chapitre 3

allal Mahdade

Groupe scolaire La Sagesse Lycée qualifiante

27 octobre 2015

Sommaire

SÉPARATION ET IDENTIFI- CATION D'ES- PÈCES CHI- MIQUES

allal
Mahdade

Introduction

Qu'est ce
que la
chromato-
graphie ?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique ?

1 Introduction

2 Qu'est ce que la chromatographie ?

3 Quelles caractéristiques physiques permettent d'identifier une espèce chimique ?

Sommaire

SÉPARATION ET IDENTIFI- CATION D'ES- PÈCES CHI- MIQUES

allal
Mahdade

Introduction

Qu'est ce
que la
chromato-
graphie ?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique ?

1 Introduction

2 Qu'est ce que la chromatographie ?

3 Quelles caractéristiques physiques permettent d'identifier une espèce chimique ?

Sommaire

SÉPARATION ET IDENTIFI- CATION D'ES- PÈCES CHI- MIQUES

allal
Mahdade

Introduction

Qu'est ce
que la
chromato-
graphie?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique?

- 1 Introduction
- 2 Qu'est ce que la chromatographie?
- 3 Quelles caractéristiques physiques permettent d'identifier une espèce chimique?

Introduction

SÉPARATION ET IDENTIFI- CATION D'ES- PÈCES CHI- MIQUES

allal
Mahdade

Introduction

Qu'est ce
que la
chromato-
graphie ?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique ?



La photo montre des sortes de confiseries qui contiennent de nombreux colorants synthétiques .

Pour les identifier , on peut réaliser une chromatographie .

- Qu'est ce que la chromatographie ?
- Comment réaliser une chromatographie sur couche mince ?
- Comment identifier des espèces chimiques grâce à ces caractéristiques physiques ?

I. Qu'est ce que la chromatographie ?

SÉPARATION ET IDENTIFI- CATION D'ES- PÈCES CHI- MIQUES

allal
Mahdade

Introduction

Qu'est ce
que la
chromato-
graphie ?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique ?

Principe de la chromatographie

La chromatographie est une méthode de séparation et d'identification des constituants d'un mélange .

Il existe des différents types de la chromatographie parmi eux **la chromatographie sur couche mince CCM** .

I. Qu'est ce que la chromatographie ?

SÉPARATION ET IDENTIFI- CATION D'ES- PÈCES CHI- MIQUES

allal
Mahdade

Introduction

Qu'est ce
que la
chromato-
graphie ?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique ?

2. Comment on réalise une chromatographie sur couche mince ?

Pour réaliser une CCM il faut :

- Un éluant (un solvant ou un mélange des solvants) appelé phase mobile ;
- Un support solide (plaque solide) appelé phase fixe ;
- Des échantillons de référence ;
- Les échantillons à analyser ;
- La cuve à chromatographie ;

I. Qu'est ce que la chromatographie ?

2. Comment on réalise une chromatographie sur couche mince ?

Pour réaliser une CCM il faut :

- Un éluant (un solvant ou un mélange des solvants) appelé phase mobile ;
- Un support solide (plaque solide) appelé phase fixe ;
- Des échantillons de référence ;
- Les échantillons à analyser ;
- La cuve à chromatographie ;

I. Qu'est ce que la chromatographie ?

2. Comment on réalise une chromatographie sur couche mince ?

Pour réaliser une CCM il faut :

- Un éluant (un solvant ou un mélange des solvants) appelé phase mobile ;
- Un support solide (plaque solide) appelé phase fixe ;
- Des échantillons de référence ;
- Les échantillons à analyser ;
- La cuve à chromatographie ;

I. Qu'est ce que la chromatographie ?

2. Comment on réalise une chromatographie sur couche mince ?

Pour réaliser une CCM il faut :

- Un éluant (un solvant ou un mélange des solvants) appelé phase mobile ;
- Un support solide (plaque solide) appelé phase fixe ;
- Des échantillons de référence ;
 - Les échantillons à analyser ;
 - La cuve à chromatographie ;

I. Qu'est ce que la chromatographie ?

2. Comment on réalise une chromatographie sur couche mince ?

Pour réaliser une CCM il faut :

- Un éluant (un solvant ou un mélange des solvants) appelé phase mobile ;
- Un support solide (plaque solide) appelé phase fixe ;
- Des échantillons de référence ;
- Les échantillons à analyser ;
- La cuve à chromatographie ;

I. Qu'est ce que la chromatographie ?

SÉPARATION
ET
IDENTIFI-
CATION
D'ES-
PÈCES
CHI-
MIQUES

allal
Mahdade

Introduction

Qu'est ce
que la
chromato-
graphie ?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique ?

2. Comment on réalise une chromatographie sur couche mince ?

Pour réaliser une CCM il faut :

- Un éluant (un solvant ou un mélange des solvants) appelé phase mobile ;
- Un support solide (plaque solide) appelé phase fixe ;
- Des échantillons de référence ;
- Les échantillons à analyser ;
- La cuve à chromatographie ;

I. Qu'est ce que la chromatographie ?

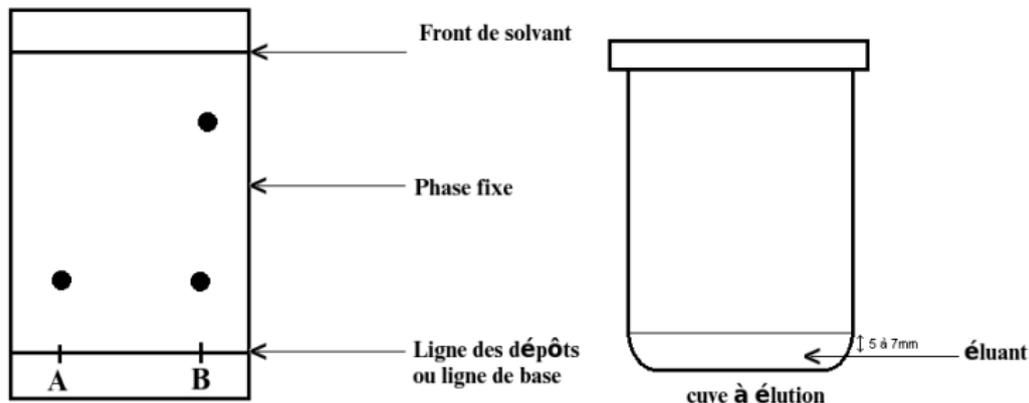
SÉPARATION
ET
IDENTIFI-
CATION
D'ES-
PÈCES
CHI-
MIQUES

allal
Mahdade

Introduction

Qu'est ce
que la
chromato-
graphie ?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique ?



I. Qu'est ce que la chromatographie ?

SÉPARATION ET IDENTIFI- CATION D'ES- PÈCES CHI- MIQUES

allal
Mahdade

Introduction

Qu'est ce
que la
chromato-
graphie ?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique ?

Au cours de la chromatographie , l'éluant migre **par capillarité** le long de la phase fixe . Plus une espèce chimique est **soluble** dans l'éluant , plus elle **migre rapidement et haut le long de la phase fixe** . Inversement , une espèce chimique **peu soluble** dans l'éluant **migrera peu ou pas** .

I. Qu'est ce que la chromatographie ?

SÉPARATION ET IDENTIFI- CATION D'ES- PÈCES CHI- MIQUES

allal
Mahdade

Introduction

Qu'est ce
que la
chromato-
graphie ?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique ?

La révélation du chromatogramme permet de faire apparaître les différentes tâches si on les observe pas directement .
On peut utiliser la révélation **aux vapeurs de diiode** , la révélation au **permanganate de potassium** , ou encore la révélation à l'aide **d'une lampe à UV** (Ultra-Violet)

I. Qu'est ce que la chromatographie ?

SÉPARATION ET IDENTIFI- CATION D'ES- PÈCES CHI- MIQUES

allal
Mahdade

Introduction

Qu'est ce
que la
chromato-
graphie ?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique ?

Activité

On effectue la chromatographie de la solution d'extraction d'eucalyptus obtenue par hydrodistillation . Pour cela , on introduit dans une cuve à chromatographie 10,0ml d'un mélange de cyclohexane et d'éthanoate d'éthyle .

La solution à analyser est déposée sur une plaque de silice . Le chromatogramme est révélé à l'aide d'une solution de permanganate de potassium .

Le chromatogramme obtenu est schématisé ci - dessous .



Calyptus

I. Qu'est ce que la chromatographie ?

SÉPARATION ET IDENTIFI- CATION D'ES- PÈCES CHI- MIQUES

allal
Mahdade

Introduction

Qu'est ce
que la
chromato-
graphie ?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique ?

Exploitation

- 1. Identifier l'éluant et la phase fixe .
- **Éluant** : mélange de cyclohexane et d'éthanoate d'éthyle .
Phase fixe : plaque de silice .
- 2. La solution d'extraction de l'eucalyptus contient-elle de l'huile essentielle d'eucalyptol pur ? justifier .
- La solution d'extraction de l'eucalyptus contient de l'huile essentielle d'eucalyptol pur puisque il existe une tache a la même hauteur dans l'échantillon B que celle de l'échantillon A .

I. Qu'est ce que la chromatographie ?

SÉPARATION ET IDENTIFI- CATION D'ES- PÈCES CHI- MIQUES

allal
Mahdade

Introduction

Qu'est ce
que la
chromato-
graphie ?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique ?

Exploitation

- 1. Identifier l'éluant et la phase fixe .
 - **Éluant** : mélange de cyclohexane et d'éthanoate d'éthyle .
 - **Phase fixe** : plaque de silice .
- 2. La solution d'extraction de l'eucalyptus contient-elle de l(huile essentielle d'eucalyptol pur ? justifier .
- La solution d'extraction de l'eucalyptus contient de l'huile essentielle d'eucalyptol pur puisque il existe une tache a la même hauteur dans l'échantillon B que celle de l'échantillon A .

I. Qu'est ce que la chromatographie ?

Qu'est ce
que la
chromato-
graphie ?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique ?

Exploitation

- 1. Identifier l'éluant et la phase fixe .
- **Éluant** : mélange de cyclohexane et d'éthanoate d'éthyle .
Phase fixe : plaque de silice .
- 2. La solution d'extraction de l'eucalyptus contient-elle de l'huile essentielle d'eucalyptol pur ? justifier .
- La solution d'extraction de l'eucalyptus contient de l'huile essentielle d'eucalyptol pur puisque il existe une tache a la même hauteur dans l'échantillon B que celle de l'échantillon A .

I. Qu'est ce que la chromatographie ?

Qu'est ce
que la
chromato-
graphie ?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique ?

Exploitation

- 1. Identifier l'éluant et la phase fixe .
- **Éluant** : mélange de cyclohexane et d'éthanoate d'éthyle .
Phase fixe : plaque de silice .
- 2. La solution d'extraction de l'eucalyptus contient-elle de l(huile essentielle d'eucalyptol pur ? justifier .
- La solution d'extraction de l'eucalyptus contient de l'huile essentielle d'eucalyptol pur puisque il existe une tache a la même hauteur dans l'échantillon B que celle de l'échantillon A .

I. Qu'est ce que la chromatographie ?

SÉPARATION ET IDENTIFI- CATION D'ES- PÈCES CHI- MIQUES

allal
Mahdade

Introduction

Qu'est ce
que la
chromato-
graphie ?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique ?

Exploitation

- 1. Identifier l'éluant et la phase fixe .
- **Éluant** : mélange de cyclohexane et d'éthanoate d'éthyle .
Phase fixe : plaque de silice .
- 2. La solution d'extraction de l'eucalyptus contient-elle de l(huile essentielle d'eucalyptol pur ? justifier .
- La solution d'extraction de l'eucalyptus contient de l'huile essentielle d'eucalyptol pur puisque il existe une tache a la même hauteur dans l'échantillon B que celle de l'échantillon A .

I. Qu'est ce que la chromatographie ?

SÉPARATION ET IDENTIFI- CATION D'ES- PÈCES CHI- MIQUES

allal
Mahdade

Introduction

Qu'est ce
que la
chromato-
graphie ?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique ?

Exploitation

- 3. Cette solution d'extraction est - elle une espèce chimique pure ? Justifier .
- La solution d'extraction n'est pas une espèce chimique pure puisqu'il existe plusieurs tâches .
- 4. Quel type de révélation utilisé pour faire apparaître les tâches ?
- La révélation est faite à l'aide de permanganate de potassium

I. Qu'est ce que la chromatographie ?

SÉPARATION ET IDENTIFI- CATION D'ES- PÈCES CHI- MIQUES

allal
Mahdade

Introduction

Qu'est ce
que la
chromato-
graphie ?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique ?

Exploitation

- 3. Cette solution d'extraction est - elle une espèce chimique pure ? Justifier .
- La solution d'extraction n'est pas une espèce chimique pure puisqu'il existe plusieurs tâches .
- 4. Quel type de révélation utilisé pour faire apparaître les tâches ?
- La révélation est faite à l'aide de permanganate de potassium .

I. Qu'est ce que la chromatographie ?

SÉPARATION ET IDENTIFI- CATION D'ES- PÈCES CHI- MIQUES

allal
Mahdade

Introduction

Qu'est ce
que la
chromato-
graphie ?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique ?

Exploitation

- 3. Cette solution d'extraction est - elle une espèce chimique pure ? Justifier .
- La solution d'extraction n'est pas une espèce chimique pure puisqu'il existe plusieurs tâches .
- 4. Quel type de révélation utilisé pour faire apparaître les tâches ?
- La révélation est faite à l'aide de permanganate de potassium

I. Qu'est ce que la chromatographie ?

SÉPARATION ET IDENTIFI- CATION D'ES- PÈCES CHI- MIQUES

allal
Mahdade

Introduction

Qu'est ce
que la
chromato-
graphie ?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique ?

Exploitation

- 3. Cette solution d'extraction est - elle une espèce chimique pure ? Justifier .
- La solution d'extraction n'est pas une espèce chimique pure puisqu'il existe plusieurs tâches .
- 4. Quel type de révélation utilisé pour faire apparaître les tâches ?
- La révélation est faite à l'aide de permanganate de potassium

I. Qu'est ce que la chromatographie ?

SÉPARATION ET IDENTIFI- CATION D'ES- PÈCES CHI- MIQUES

allal
Mahdade

Introduction

Qu'est ce
que la
chromato-
graphie ?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique ?

Exploitation

- 3. Cette solution d'extraction est - elle une espèce chimique pure ? Justifier .
- La solution d'extraction n'est pas une espèce chimique pure puisqu'il existe plusieurs tâches .
- 4. Quel type de révélation utilisé pour faire apparaître les tâches ?
- La révélation est faite à l'aide de permanganate de potassium .

I. Qu'est ce que la chromatographie ?

SÉPARATION
ET
IDENTIFI-
CATION
D'ES-
PÈCES
CHI-
MIQUES

allal
Mahdade

Introduction

Qu'est ce
que la
chromato-
graphie ?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique ?

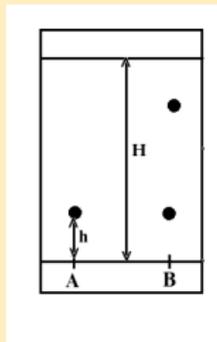
Comment peut-on déterminer le rapport frontal d'une espèce chimique ?

Pour chaque tache révélée on détermine le rapport frontal :

$$R_f = \frac{h}{H}$$

où H représente la hauteur parcourue par le front du solvant entre la ligne de base et le front du solvant et h la hauteur parcourue par une tache entre la ligne de base et sa position au moment de la révélation.

Le rapport frontal dépend de l'éluant et de la phase fixe .



I. Qu'est ce que la chromatographie ?

SÉPARATION ET IDENTIFI- CATION D'ES- PÈCES CHI- MIQUES

allal
Mahdade

Introduction

Qu'est ce
que la
chromato-
graphie ?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique ?

conclusion

- Deux corps présentant le même rapport frontal R_f sur la même plaque sont identiques.
- plus le rapport frontal R_f est grand , plus l'espèce chimique est très soluble dans le solvant utilisé .
- En comparant les rapports frontaux des taches laissées par l'échantillon étudié aux rapports frontaux des taches laissées par les corps de référence (authentiques), il est possible de déterminer la composition de l'échantillon.
- Si le corps étudié ne présente qu'une tache après révélation on peut affirmer qu'il est pur.

I. Qu'est ce que la chromatographie ?

SÉPARATION ET IDENTIFI- CATION D'ES- PÈCES CHI- MIQUES

allal
Mahdade

Introduction

Qu'est ce
que la
chromato-
graphie ?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique ?

conclusion

- Deux corps présentant le même rapport frontal R_f sur la même plaque sont identiques.
- plus le rapport frontal R_f est grand , plus l'espèce chimique est très soluble dans le solvant utilisé .
- En comparant les rapports frontaux des taches laissées par l'échantillon étudié aux rapports frontaux des taches laissées par les corps de référence (authentiques), il est possible de déterminer la composition de l'échantillon.
- Si le corps étudié ne présente qu'une tache après révélation on peut affirmer qu'il est pur.

I. Qu'est ce que la chromatographie ?

SÉPARATION ET IDENTIFI- CATION D'ES- PÈCES CHI- MIQUES

allal
Mahdade

Introduction

Qu'est ce
que la
chromato-
graphie ?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique ?

conclusion

- Deux corps présentant le même rapport frontal R_f sur la même plaque sont identiques.
- plus le rapport frontal R_f est grand , plus l'espèce chimique est très soluble dans le solvant utilisé .
- En comparant les rapports frontaux des taches laissées par l'échantillon étudié aux rapports frontaux des taches laissées par les corps de référence (authentiques), il est possible de déterminer la composition de l'échantillon.
- Si le corps étudié ne présente qu'une tache après révélation on peut affirmer qu'il est pur.

I. Qu'est ce que la chromatographie ?

SÉPARATION ET IDENTIFI- CATION D'ES- PÈCES CHI- MIQUES

allal
Mahdade

Introduction

Qu'est ce
que la
chromato-
graphie ?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique ?

conclusion

- Deux corps présentant le même rapport frontal R_f sur la même plaque sont identiques.
- plus le rapport frontal R_f est grand , plus l'espèce chimique est très soluble dans le solvant utilisé .
- En comparant les rapports frontaux des taches laissées par l'échantillon étudié aux rapports frontaux des taches laissées par les corps de référence (authentiques), il est possible de déterminer la composition de l'échantillon.
- Si le corps étudié ne présente qu'une tache après révélation on peut affirmer qu'il est pur.

I. Qu'est ce que la chromatographie ?

SÉPARATION ET IDENTIFI- CATION D'ES- PÈCES CHI- MIQUES

allal
Mahdade

Introduction

Qu'est ce
que la
chromato-
graphie ?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique ?

conclusion

- Deux corps présentant le même rapport frontal R_f sur la même plaque sont identiques.
- plus le rapport frontal R_f est grand , plus l'espèce chimique est très soluble dans le solvant utilisé .
- En comparant les rapports frontaux des taches laissées par l'échantillon étudié aux rapports frontaux des taches laissées par les corps de référence (authentiques), il est possible de déterminer la composition de l'échantillon.
- Si le corps étudié ne présente qu'une tache après révélation on peut affirmer qu'il est pur.

I. Qu'est ce que la chromatographie ?

SÉPARATION

ET
IDENTIFI-
CATION
D'ES-
PÈCES
CHI-
MIQUES

allal
Mahdade

Introduction

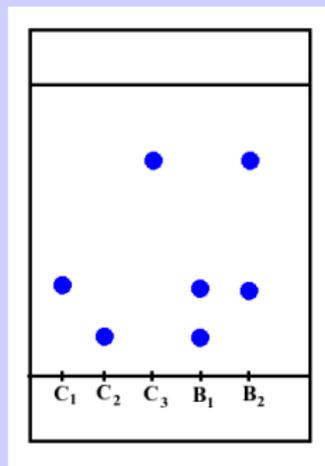
Qu'est ce
que la
chromato-
graphie ?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique ?

Application 1 :

On réalise , sur un support donné et avec un éluant approprié , la chromatographie des colorants rouges C_1 , C_2 et C_3 présents dans deux types de bonbons rouges B_1 et B_2 . Le chromatogramme obtenu est représenté ci- contre .

1. Rappeler la définition du rapport frontal R_f
2. Déterminer le rapport frontal de chacun des colorants .
3. En déduire , en justifiant la réponse , quels colorants contient chacun des bonbons .



II. Quelles caractéristiques physiques permettent d'identifier une espèce chimique ?

SÉPARATION ET IDENTIFI- CATION D'ES- PÈCES CHI- MIQUES

allal
Mahdade

Introduction

Qu'est ce
que la
chromato-
graphie ?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique ?

Toutes espèce chimique possède des propriétés physiques dont les valeurs lui sont propres : on les nomme **caractéristiques physiques** .

Température de changement d'état , la masse volumique , l'indice de réfraction ...

Une liste des caractéristiques physiques d'une espèce chimique constitue une carte d'identité de cet espèce

II. Quelles caractéristiques physiques permettent d'identifier une espèce chimique ?

SÉPARATION ET IDENTIFI- CATION D'ES- PÈCES CHI- MIQUES

allal
Mahdade

Introduction

Qu'est ce
que la
chromato-
graphie ?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique ?

1. Températures de changement d'état .

Température d'ébullition ,notée T_{eb} , est la température à laquelle l'espèce passe de l'état liquide à l'état gazeux à une pression donnée .

La température de fusion d'une espèce chimique , notée T_f , est la température à laquelle l'espèce passe de l'état solide à l'état liquide , à une pression donnée .

Exemple :

La température de fusion de l'eau : $0^{\circ}C$

La température d'ébullition de l'eau : $100^{\circ}C$

II. Quelles caractéristiques physiques permettent d'identifier une espèce chimique ?

SÉPARATION ET IDENTIFI- CATION D'ES- PÈCES CHI- MIQUES

allal
Mahdade

Introduction

Qu'est ce
que la
chromato-
graphie ?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique ?

conclusion

La détermination expérimentale de la température d'ébullition ou de fusion d'une substance permet de l'identifier par comparaison avec les valeurs répertoriées dans des tables de données . Elle permet aussi de vérifier si la substance est pure .

II. Quelles caractéristiques physiques permettent d'identifier une espèce chimique ?

SÉPARATION
ET
IDENTIFI-
CATION
D'ES-
PÈCES
CHI-
MIQUES

allal
Mahdade

Introduction

Qu'est ce
que la
chromato-
graphie ?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique ?

2. Masse volumique et densité

La masse volumique ρ d'un corps est égale au quotient de la masse m par son volume V :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

La masse volumique peut s'exprimer en kg/m^3 ou en g/cm^3 .

II. Quelles caractéristiques physiques permettent d'identifier une espèce chimique ?

SÉPARATION ET IDENTIFI- CATION D'ES- PÈCES CHI- MIQUES

allal
Mahdade

Introduction

Qu'est ce
que la
chromato-
graphie ?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique ?

La relation entre masse volumique et densité :

on définit la densité d'un solide ou d'un liquide par rapport à l'eau comme le quotient de la masse m d'un volume V de ce corps par la masse m_0 d'un même volume d'eau :

$$d = \frac{m}{m_0}$$

et puisque $m = \rho \cdot V$ et $m_0 = \rho_{eau} \cdot V$ alors on a :

$$d = \frac{\rho}{\rho_{eau}}$$

II. Quelles caractéristiques physiques permettent d'identifier une espèce chimique ?

SÉPARATION ET IDENTIFI- CATION D'ES- PÈCES CHI- MIQUES

allal
Mahdade

Introduction

Qu'est ce
que la
chromato-
graphie ?

Quelles
caractéris-
tiques
physiques
permettent
d'identifier
une espèce
chimique ?

3. La solubilité

La connaissance de la solubilité est nécessaire pour le choix d'un solvant d'extraction ou d'un éluant de chromatographie , mais n'est pas utilisée pour identifier une espèce chimique . Exemple : la solubilité de chlorure de sodium dans l'eau à $20^{\circ}C$ est : $360g/l$