

**TOUT EN  
FICHES**

**MÉMO VISUEL DE**

**CHIMIE ANALYTIQUE**

**DUNOD**

## Couverture:

Photographie: Laboratory pipette with drop of color liquid over glass test tubes, close up.

© Africa Studio – Shutterstock.com

Direction artistique: Élisabeth Hébert

Conception graphique: Pierre-André Gualino

Uniformisation des illustrations et mise en page des fiches: Bernadette Coléno

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.</p> <p>Le Code de la propriété intellectuelle du 1<sup>er</sup> juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements</p> | <p>d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.</p> <p>Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).</p> |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

© Dunod, 2020

11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff

[www.dunod.com](http://www.dunod.com)

ISBN 978-2-10-081580-7

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

|               |   |
|---------------|---|
| Avant-propos  | 1 |
| Remerciements | 2 |
| Abréviations  | 3 |

## Partie 1. Méthodes séparatives

|            |                                                                   |    |
|------------|-------------------------------------------------------------------|----|
| <b>1.1</b> | <b>PRINCIPES GÉNÉRAUX DE CHROMATOGRAPHIE</b>                      |    |
| Fiche 1    | Principes généraux                                                | 10 |
| Fiche 2    | Élution – Chromatogramme                                          | 11 |
| Fiche 3    | Rétention                                                         | 12 |
| Fiche 4    | Asymétrie et sélectivité                                          | 13 |
| Fiche 5    | Résolution                                                        | 14 |
| Fiche 6    | Efficacité théorique                                              | 15 |
| Fiche 7    | Efficacité réelle – Perte de charge                               | 16 |
| Fiche 8    | Équation de Van Deemter (1)                                       | 17 |
| Fiche 9    | Équation de Van Deemter (2)                                       | 18 |
| <b>1.2</b> | <b>LES FORMATS EN CHROMATOGRAPHIE EN PHASE LIQUIDE</b>            |    |
| Fiche 10   | Chromatographie en phase liquide (CPL) – Introduction             | 19 |
| Fiche 11   | Chromatographie sur couche mince (CCM) – Principe (1)             | 20 |
| Fiche 12   | Chromatographie sur couche mince (CCM) – Principe (2)             | 21 |
| Fiche 13   | Chromatographie sur couche mince (CCM) – Détection                | 22 |
| Fiche 14   | Chromatographie sur couche mince bidimensionnelle (CCM 2D)        | 23 |
| Fiche 15   | Chromatographie sur couche mince (CCM) préparative                | 24 |
| Fiche 16   | Chromatographie sur couche mince à haute performance (HPTLC)      | 25 |
| Fiche 17   | Chromatographie sur colonne                                       | 26 |
| Fiche 18   | Chromatographie flash                                             | 27 |
| Fiche 19   | Chromatographie liquide à haute performance (HPLC) – Principe     | 28 |
| Fiche 20   | Chromatographie liquide à haute performance (HPLC) – Appareillage | 29 |
| Fiche 21   | Chromatographie liquide à haute performance (HPLC) – Détecteurs   | 30 |
| Fiche 22   | Chromatographie liquide à haute performance (HPLC) préparative    | 31 |
| Fiche 23   | Chromatographie liquide à ultra haute performance (UHPLC) (1)     | 32 |
| Fiche 24   | Chromatographie liquide à ultra haute performance (UHPLC) (2)     | 33 |
| Fiche 25   | Chromatographie de partage centrifuge (CPC) (1)                   | 34 |
| Fiche 26   | Chromatographie de partage centrifuge (CPC) (2)                   | 35 |

# Table des matières

|            |                                                                 |    |
|------------|-----------------------------------------------------------------|----|
| <b>1.3</b> | <b>LES DIFFÉRENTS TYPES DE CHROMATOGRAPHIE EN PHASE LIQUIDE</b> |    |
| Fiche 27   | Introduction                                                    | 36 |
| Fiche 28   | Phase mobile (1)                                                | 37 |
| Fiche 29   | Phase mobile (2)                                                | 38 |
| Fiche 30   | Phases stationnaires polaires à base de silice (1)              | 39 |
| Fiche 31   | Phases stationnaires polaires à base de silice (2)              | 40 |
| Fiche 32   | Phases stationnaires apolaires à base de silice                 | 41 |
| Fiche 33   | Autres phases stationnaires non silice                          | 42 |
| Fiche 34   | Chromatographie d'adsorption                                    | 43 |
| Fiche 35   | Chromatographie de partage                                      | 44 |
| Fiche 36   | Chromatographie d'échange d'ions (1)                            | 45 |
| Fiche 37   | Chromatographie d'échange d'ions (2)                            | 46 |
| Fiche 38   | Chromatographie d'échange d'ions (3)                            | 47 |
| Fiche 39   | Chromatographie de paires d'ions (1)                            | 48 |
| Fiche 40   | Chromatographie de paires d'ions (2)                            | 49 |
| Fiche 41   | Chromatographie en mode HILIC                                   | 50 |
| Fiche 42   | Chromatographie chirale                                         | 51 |
| Fiche 43   | Chromatographie d'affinité                                      | 52 |
| Fiche 44   | Chromatographie d'exclusion stérique (SEC)                      | 53 |
| <b>1.4</b> | <b>CHROMATOGRAPHIE EN PHASE GAZEUSE</b>                         |    |
| Fiche 45   | Principe de la CPG (1)                                          | 54 |
| Fiche 46   | Principe de la CPG (2)                                          | 55 |
| Fiche 47   | Injection                                                       | 56 |
| Fiche 48   | Colonnes                                                        | 57 |
| Fiche 49   | Phases stationnaires (1)                                        | 58 |
| Fiche 50   | Phases stationnaires (2)                                        | 59 |
| Fiche 51   | Détecteurs (1)                                                  | 60 |
| Fiche 52   | Détecteurs (2)                                                  | 61 |
| Fiche 53   | Indices de Kovats (1)                                           | 62 |
| Fiche 54   | Indices de Kovats (2)                                           | 63 |
| Fiche 55   | Dérivation                                                      | 64 |
| Fiche 56   | Exemples d'applications                                         | 65 |
| <b>1.5</b> | <b>CHROMATOGRAPHIE EN PHASE SUPERCRITIQUE</b>                   |    |
| Fiche 57   | Principe de la CPS                                              | 66 |
| Fiche 58   | Applications                                                    | 67 |
| <b>1.6</b> | <b>ÉLECTROPHORÈSE</b>                                           |    |
| Fiche 59   | Principe de l'électrophorèse (1)                                | 68 |
| Fiche 60   | Principe de l'électrophorèse (2)                                | 69 |

# Table des matières

|            |                                                                                               |    |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fiche 61   | Vitesse de migration                                                                          | 70 |
| Fiche 62   | Méthodes électrophorétiques                                                                   | 71 |
| Fiche 63   | Électrophorèse de zone – Supports                                                             | 72 |
| Fiche 64   | Électrophorèse de zone – Appareillage                                                         | 73 |
| Fiche 65   | Électrophorèse de zone – Préparation                                                          | 74 |
| Fiche 66   | Électrophorèse de zone – Révélation                                                           | 75 |
| Fiche 67   | Électrophorèse de zone – Applications                                                         | 76 |
| Fiche 68   | Électrophorèse capillaire – Appareillage                                                      | 77 |
| Fiche 69   | Électrophorèse capillaire – Migration (1)                                                     | 78 |
| Fiche 70   | Électrophorèse capillaire – Migration (2)                                                     | 79 |
| Fiche 71   | Électrophorèse capillaire – Électrophérogramme                                                | 80 |
| Fiche 72   | Électrophorèse capillaire de zone (CZE)                                                       | 81 |
| Fiche 73   | Chromatographie électrocinétique micellaire (MEKC)                                            | 82 |
| Fiche 74   | Électrophorèse capillaire sur gel (CGE) et électrophorèse à focalisation isoélectrique (CIEF) | 83 |
| <b>1.7</b> | <b>MÉTHODES DE QUANTIFICATION</b>                                                             |    |
| Fiche 75   | Quantification : introduction (1)                                                             | 84 |
| Fiche 76   | Quantification : introduction (2)                                                             | 85 |
| Fiche 77   | Étalonnage externe                                                                            | 86 |
| Fiche 78   | Étalonnage interne                                                                            | 87 |
| Fiche 79   | Ajouts dosés                                                                                  | 88 |
| <b>1.8</b> | <b>BASE DE CHIMIOMÉTRIE</b>                                                                   |    |
| Fiche 80   | Validation de méthodes (1)                                                                    | 89 |
| Fiche 81   | Validation de méthodes (2)                                                                    | 90 |
| Fiche 82   | Validation de méthodes (3)                                                                    | 91 |
| Fiche 83   | Introduction aux plans d'expériences (1)                                                      | 92 |
| Fiche 84   | Introduction aux plans d'expériences (2)                                                      | 93 |

## Partie 2. Préparation des échantillons

|            |                                                                     |     |
|------------|---------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>2.1</b> | <b>EXTRACTION LIQUIDE-LIQUIDE</b>                                   |     |
| Fiche 85   | Coefficient de partage                                              | 96  |
| Fiche 86   | Principe                                                            | 97  |
| Fiche 87   | Rendement et facteur d'enrichissement                               | 98  |
| Fiche 88   | Microextraction liquide-liquide par dispersion (DLLME)              | 99  |
| Fiche 89   | Microextraction liquide par simple goutte (SDME)                    | 100 |
| Fiche 90   | Microextraction liquide-liquide assistée par fibre creuse (HF-LPME) | 101 |

# Table des matières

## 2.2

### EXTRACTION SOLIDE-LIQUIDE

|           |                                             |     |
|-----------|---------------------------------------------|-----|
| Fiche 91  | Principe de l'extraction solide-liquide     | 102 |
| Fiche 92  | Macération                                  | 103 |
| Fiche 93  | Infusion                                    | 104 |
| Fiche 94  | Décoction                                   | 105 |
| Fiche 95  | Digestion                                   | 106 |
| Fiche 96  | Lixiviation                                 | 107 |
| Fiche 97  | Le cas des alcaloïdes (1)                   | 108 |
| Fiche 98  | Le cas des alcaloïdes (2)                   | 109 |
| Fiche 99  | Extraction par appareil de Soxhlet          | 110 |
| Fiche 100 | Extraction par micro-ondes (1)              | 111 |
| Fiche 101 | Extraction par micro-ondes (2)              | 112 |
| Fiche 102 | Extraction assistée par ultrasons           | 113 |
| Fiche 103 | Extraction par fluides pressurisés          | 114 |
| Fiche 104 | Extraction par fluides supercritiques (SFE) | 115 |
| Fiche 105 | Hydrodistillation                           | 116 |
| Fiche 106 | Distillation sèche                          | 117 |
| Fiche 107 | Enfleurage (1)                              | 118 |
| Fiche 108 | Enfleurage (2)                              | 119 |
| Fiche 109 | Expression                                  | 120 |
| Fiche 110 | Extraction aux solvants volatils            | 121 |

## 2.3

### EXTRACTION SUR PHASE SOLIDE

|           |                                                       |     |
|-----------|-------------------------------------------------------|-----|
| Fiche 111 | Principe de la SPE (1)                                | 122 |
| Fiche 112 | Principe de la SPE (2)                                | 123 |
| Fiche 113 | Choix de la phase solide                              | 124 |
| Fiche 114 | Formats                                               | 125 |
| Fiche 115 | Développement de procédure                            | 126 |
| Fiche 116 | Extraction sélective (1)                              | 127 |
| Fiche 117 | Extraction sélective (2)                              | 128 |
| Fiche 118 | Extraction sélective (3)                              | 129 |
| Fiche 119 | Micro-extraction sur phase solide (SPME)              | 130 |
| Fiche 120 | Extraction par sorption sur barreau magnétique (SBSE) | 131 |

## 2.4

### FILTRATION – CENTRIFUGATION – DIALYSE

|           |                                |     |
|-----------|--------------------------------|-----|
| Fiche 121 | Filtration                     | 132 |
| Fiche 122 | Centrifugation                 | 133 |
| Fiche 123 | Ultracentrifugation            | 134 |
| Fiche 124 | Ultracentrifugation analytique | 135 |
| Fiche 125 | Dialyse                        | 136 |

## Partie 3. Méthodes spectrométriques

|            |                                           |     |
|------------|-------------------------------------------|-----|
| <b>3.1</b> | <b>ÉLECTROCHIMIE</b>                      |     |
| Fiche 126  | Rappels d'oxydoréduction (1)              | 138 |
| Fiche 127  | Rappels d'oxydoréduction (2)              | 139 |
| Fiche 128  | Principe de l'électrochimie (1)           | 140 |
| Fiche 129  | Principe de l'électrochimie (2)           | 141 |
| Fiche 130  | Courbe intensité-potentiel $i = f(E)$     | 142 |
| Fiche 131  | Électrodes (1)                            | 143 |
| Fiche 132  | Électrodes (2)                            | 144 |
| Fiche 133  | Appareillage et mesures                   | 145 |
| Fiche 134  | Potentiométrie                            | 146 |
| Fiche 135  | Dosages et titrages potentiométriques     | 147 |
| Fiche 136  | pH-métrie – Principe (1)                  | 148 |
| Fiche 137  | pH-métrie – Principe (2)                  | 149 |
| Fiche 138  | pH-métrie – Application                   | 150 |
| Fiche 139  | Ampérométrie                              | 151 |
| Fiche 140  | Voltampérométrie – Chronoampérométrie     | 152 |
| Fiche 141  | Coulométrie                               | 153 |
| Fiche 142  | Méthode de Karl Fischer                   | 154 |
| <b>3.2</b> | <b>SPECTROSCOPIE UV</b>                   |     |
| Fiche 143  | Principes de l'UV                         | 155 |
| Fiche 144  | Principes de l'UV et analyse quantitative | 156 |
| Fiche 145  | Analyse qualitative (1)                   | 157 |
| Fiche 146  | Analyse qualitative (2)                   | 158 |
| <b>3.3</b> | <b>SPECTROSCOPIE IR</b>                   |     |
| Fiche 147  | Principe de l'IR (1)                      | 159 |
| Fiche 148  | Principe de l'IR (2)                      | 160 |
| Fiche 149  | Spectres (1)                              | 161 |
| Fiche 150  | Spectres (2)                              | 162 |
| Fiche 151  | Appareillage                              | 163 |
| <b>3.4</b> | <b>FLUORESCENCE</b>                       |     |
| Fiche 152  | Principes de la fluorescence (1)          | 164 |
| Fiche 153  | Principes de la fluorescence (2)          | 165 |
| Fiche 154  | Caractéristiques                          | 166 |
| Fiche 155  | Appareillage                              | 167 |
| Fiche 156  | Techniques d'analyse                      | 168 |
| Fiche 157  | Exemples d'applications                   | 169 |

# Table des matières

## 3.5

### RAYONS X

|           |                                              |     |
|-----------|----------------------------------------------|-----|
| Fiche 158 | Principe des rayons X                        | 170 |
| Fiche 159 | Applications des rayons X                    | 171 |
| Fiche 160 | Principe de la cristallographie aux rayons X | 172 |
| Fiche 161 | Cristallographie des protéines               | 173 |

## 3.6

### ABSORPTION/ÉMISSION ATOMIQUE

|           |                                                    |     |
|-----------|----------------------------------------------------|-----|
| Fiche 162 | Principe de l'absorption et de l'émission atomique | 174 |
| Fiche 163 | Appareillage                                       | 175 |
| Fiche 164 | Applications                                       | 176 |

## 3.7

### RMN

|           |                                                                             |     |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| Fiche 165 | Principes de la RMN (1)                                                     | 177 |
| Fiche 166 | Principes de la RMN (2)                                                     | 178 |
| Fiche 167 | Instruments (1)                                                             | 179 |
| Fiche 168 | Instruments (2)                                                             | 180 |
| Fiche 169 | RMN 1D- <sup>1</sup> H – Déplacement chimique                               | 181 |
| Fiche 170 | RMN 1D- <sup>1</sup> H – Table des déplacements chimiques                   | 182 |
| Fiche 171 | RMN 1D- <sup>1</sup> H – Intégration                                        | 183 |
| Fiche 172 | RMN 1D- <sup>1</sup> H – Multiplicité et constantes de couplage             | 184 |
| Fiche 173 | RMN 1D- <sup>13</sup> C – Déplacement chimique, multiplicité et intégration | 185 |
| Fiche 174 | RMN 1D- <sup>13</sup> C – Table des déplacements chimiques                  | 186 |
| Fiche 175 | RMN 1D- <sup>13</sup> C – DEPT                                              | 187 |
| Fiche 176 | RMN 2D-Homonucléaire 1H- <sup>1</sup> H – COSY et TOCSY                     | 188 |
| Fiche 177 | RMN 2D-Homonucléaire 1H- <sup>1</sup> H – NOESY et ROESY                    | 189 |
| Fiche 178 | RMN 2D-Hétéronucléaire 1H- <sup>13</sup> C – HSQC                           | 190 |
| Fiche 179 | RMN 2D-Hétéronucléaire 1H- <sup>13</sup> C – HMBC                           | 191 |
| Fiche 180 | Comment élucider une structure inconnue ? (1)                               | 192 |
| Fiche 181 | Comment élucider une structure inconnue ? (2)                               | 193 |
| Fiche 182 | Comment élucider une structure inconnue ? (3)                               | 194 |
| Fiche 183 | Comment élucider une structure inconnue ? (4)                               | 195 |
| Fiche 184 | Comment élucider une structure inconnue ? (5)                               | 196 |

## 3.8

### SPECTROMÉTRIE DE MASSE

|           |                                                             |     |
|-----------|-------------------------------------------------------------|-----|
| Fiche 185 | Principe de fonctionnement de la spectrométrie de masse (1) | 197 |
| Fiche 186 | Principe de fonctionnement de la spectrométrie de masse (2) | 198 |
| Fiche 187 | Principe de mesure (1)                                      | 199 |
| Fiche 188 | Principe de mesure (2)                                      | 200 |
| Fiche 189 | Principe de mesure (3)                                      | 201 |
| Fiche 190 | Panorama des sources d'ionisation (1)                       | 202 |
| Fiche 191 | Panorama des sources d'ionisation (2)                       | 203 |



# Table des matières

|                             |                                                       |     |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------|-----|
| Fiche 192                   | Source d'ionisation par impact électronique           | 204 |
| Fiche 193                   | Source d'ionisation chimique                          | 205 |
| Fiche 194                   | Source d'ionisation laser assistée par matrice        | 206 |
| Fiche 195                   | Source d'ionisation par bombardement d'atomes rapides | 207 |
| Fiche 196                   | Sources d'ionisation par électrospray                 | 208 |
| Fiche 197                   | Autres sources d'ionisation à pression atmosphérique  | 209 |
| Fiche 198                   | Les analyseurs – Généralités                          | 210 |
| Fiche 199                   | Les analyseurs quadripolaires                         | 211 |
| Fiche 200                   | Les analyseurs à piégeage d'ions                      | 212 |
| Fiche 201                   | Les analyseurs magnéto-électrostatiques               | 213 |
| Fiche 202                   | Les analyseurs à temps de vol                         | 214 |
| Fiche 203                   | Fragmentation (1)                                     | 215 |
| Fiche 204                   | Fragmentation (2)                                     | 216 |
| Fiche 205                   | Fragmentation (3)                                     | 217 |
| Fiche 206                   | Exemples d'applications                               | 218 |
| Glossaire                   |                                                       | 219 |
| Ressources bibliographiques |                                                       | 221 |
| Index                       |                                                       | 222 |
| Crédits iconographiques     |                                                       | 227 |



Ce Mémo visuel a été conçu comme une aide pratique dans l'apprentissage de la chimie analytique. C'est une discipline très vaste englobant un ensemble de techniques et de méthodes afin de déterminer la composition d'échantillons divers, voire la structure des molécules.

Cet ouvrage a pour objectif de présenter, d'une manière visuelle, en associant intimement textes brefs et illustrations, l'essentiel des connaissances de base sur les méthodes les plus couramment rencontrées en analyse chimique qualitative, quantitative et structurale. Il est structuré en trois grandes parties que sont les méthodes séparatives (chromatographie, électrophorèse), la préparation d'échantillon (méthodes d'extraction, de purification) et les méthodes spectrales (électrochimie, UV, IR, fluorescence, RX, RMN, SM). Les méthodes de quantification ainsi que les bases de chimiométrie seront également abordées dans cet ouvrage. En outre, il vous offre l'occasion de comprendre comment ces concepts s'appliquent à la vie de tous les jours, dans des secteurs aussi variés que les industries pharmaceutiques, agroalimentaires, pétrochimiques, cosmétiques... ou encore pour répondre à des questions environnementales, réglementaires...

L'équipe qui a rédigé cet ouvrage a fait le pari de condenser en 206 fiches les grands concepts de la chimie analytique, sans pour autant prétendre à l'exhaustivité. Chaque fiche est indépendante et vise à synthétiser une notion importante de chimie analytique. C'est un excellent instrument de révision.

Cet ouvrage s'adresse aussi bien aux étudiants de Licence de Santé (ex PACES), Licence de Sciences, Licence Professionnelle, qu'à ceux de Classes Préparatoires, IUT ou BTS. Il sera également un bon outil pour tous les curieux qui veulent en savoir plus sur l'impact de la chimie analytique dans notre quotidien.