

# Table des matières

---

|                       |    |
|-----------------------|----|
| <b>Préfaces</b> ..... | xi |
|-----------------------|----|

## **Chapitre 1 : Introduction**

## **Chapitre 2 : Interactions des rayonnements avec la matière**

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 2.1.   | Les différents types de rayonnements nucléaires .....         | 3  |
| 2.1.1. | Les particules chargées .....                                 | 4  |
| 2.1.2. | Les particules non chargées ou neutres .....                  | 4  |
| 2.1.3. | Notions de probabilité d'interaction .....                    | 6  |
| 2.1.4. | Conclusion .....  | 7  |
| 2.2.   | Interaction des particules chargées avec la matière .....     | 7  |
| 2.2.1. | Interaction des particules chargées lourdes .....             | 11 |
| 2.2.2. | Interaction des particules chargées légères .....             | 19 |
| 2.3.   | Interaction des particules non chargées avec la matière ..... | 26 |
| 2.3.1. | Interaction des rayonnements X et $\gamma$ .....              | 26 |
| 2.3.2. | Atténuation des photons X et $\gamma$ .....                   | 35 |
| 2.4.   | Interaction des neutrons avec la matière .....                | 39 |
| 2.4.1. | Diffusion élastique .....                                     | 40 |
| 2.4.2. | Diffusion inélastique ( $n, \gamma n'$ ) .....                | 41 |
| 2.4.3. | Capture radiative ( $n, \gamma$ ) .....                       | 41 |
| 2.4.4. | Réactions nucléaires d'absorption .....                       | 42 |
| 2.4.5. | Réaction de fission .....                                     | 43 |
| 2.5.   | Exercices .....   | 46 |

## **Chapitre 3 : Détecteurs de rayonnements nucléaires**

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 3.1.   | Caractéristiques principales des détecteurs .....                                 | 56 |
| 3.1.1. | Les paramètres propres aux dispositifs de détection et à leur mise en œuvre ..... | 56 |
| 3.2.   | Détecteurs à remplissage gazeux .....   | 64 |
| 3.2.1. | Principe de fonctionnement .....  | 65 |
| 3.2.2. | La chambre d'ionisation .....   | 69 |
| 3.2.3. | Le compteur proportionnel .....   | 75 |
| 3.2.4. | Le compteur Geiger-Müller .....   | 78 |
| 3.2.5. | Conclusion .....  | 80 |

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 3.3.    | Détecteurs à scintillation .....  | 80  |
| 3.3.1.  | Principe de fonctionnement .....  | 80  |
| 3.3.2.  | Les scintillateurs .....  | 82  |
| 3.3.3.  | Propriétés des scintillateurs .....   | 85  |
| 3.3.4.  | Le photomultiplicateur ou PM .....  | 86  |
| 3.3.5.  | Applications des détecteurs à scintillation .....   | 88  |
| 3.3.6.  | Exercices .....   | 89  |
| 3.4.    | Détecteurs à semi-conducteurs .....   | 91  |
| 3.4.1.  | Généralités .....   | 91  |
| 3.4.2.  | Principe de fonctionnement .....  | 92  |
| 3.4.3.  | Applications .....  | 96  |
| 3.5.    | Détecteurs de neutrons .....  | 99  |
| 3.5.1.  | Détecteurs à remplissage gazeux .....   | 99  |
| 3.5.2.  | Scintillateurs .....  | 104 |
| 3.6.    | Autres types de détecteurs .....  | 106 |
| 3.6.1.  | Détecteurs Cerenkov .....   | 106 |
| 3.6.2.  | Émulsions photographiques .....   | 106 |
| 3.6.3.  | Détecteurs solides de traces .....  | 108 |
| 3.6.4.  | Détecteurs à changement de phase .....  | 109 |
| 3.6.5.  | Détecteurs chimiques .....  | 109 |
| 3.6.6.  | Détecteurs thermoluminescents .....   | 110 |
| 3.6.7.  | Détecteurs photoluminescents et détecteurs<br>minéraux par coloration .....                             | 111 |
| 3.6.8.  | Détecteurs à activation .....   | 111 |
| 3.6.9.  | Calorimètres, bolomètres .....  | 113 |
| 3.6.10. | Détecteurs à transfert de charges – Collectrons ou <i>Self Powerd</i><br><i>Neutron Detectors</i> ..... | 114 |
| 3.7.    | Exercices .....   | 118 |
| 3.7.1.  | Chambre à fission .....   | 118 |
| 3.7.2.  | Compteur proportionnel à trifluorure de bore ( $\text{BF}_3$ ) .....                                    | 119 |
| 3.7.3.  | Scintillateur et production de photoélectrons dans le PM .....  | 120 |

#### **Chapitre 4 : Statistiques appliquées aux mesures de rayonnements**

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 4.1.   | Généralités sur les incertitudes de mesure .....                              | 123 |
| 4.2.   | Statistiques et mesure de rayonnements .....                                  | 124 |
| 4.2.1. | Notions élémentaires de statistique .....                                     | 125 |
| 4.2.2. | Lois de distribution de probabilité dans les mesures<br>de rayonnements ..... | 129 |

#### **Chapitre 5 : Instrumentation neutronique pour le contrôle commande des réacteurs nucléaires**

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 5.1.   | Introduction .....  | 139 |
| 5.2.   | Détecteurs de neutrons appliqués à l'exploitation des réacteurs ..... | 140 |
| 5.2.1. | Compteur proportionnel à dépôt de bore .....                          | 141 |
| 5.2.2. | Chambre d'ionisation à dépôt de bore .....                            | 141 |
| 5.2.3. | Chambre d'ionisation à dépôt de bore compensée gamma .....            | 142 |
| 5.2.4. | Chambre à fission .....   | 143 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 5.3.   | Chaînes de mesure .....                                | 145 |
| 5.3.1. | Mode impulsion .....                                   | 145 |
| 5.3.2. | Mode courant .....                                     | 147 |
| 5.3.3. | Mode fluctuation .....                                 | 148 |
| 5.3.4. | Modes et régime de fonctionnement des détecteurs ..... | 148 |
| 5.3.5. | Vérification périodique des chaînes de mesure .....    | 149 |
| 5.4.   | Chaînes neutroniques utilisées sur les REP .....       | 149 |
| 5.4.1. | Chaîne niveau source .....                             | 150 |
| 5.4.2. | Chaîne niveau intermédiaire .....                      | 150 |
| 5.4.3. | Chaîne niveau puissance .....                          | 151 |

### ***Chapitre 6 : Exemples de méthodes de mesures photoniques et neutroniques dans l'industrie nucléaire***

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 6.1.   | Spectrométrie gamma et X .....                | 156 |
| 6.1.1. | Principe physique.....                        | 156 |
| 6.1.2. | Les détecteurs .....                          | 157 |
| 6.1.3. | Électronique associée .....                   | 159 |
| 6.1.4. | Acquisition et traitement du signal .....     | 161 |
| 6.1.5. | Domaines d'application .....                  | 163 |
| 6.1.6. | Principales limitations .....                 | 164 |
| 6.2.   | Mesure neutronique passive .....              | 165 |
| 6.2.1. | Comptage neutronique total.....               | 165 |
| 6.2.2. | Comptage des coïncidences neutroniques .....  | 170 |
| 6.2.3. | Comptage des multiplicités neutroniques ..... | 174 |
| 6.2.4. | Conclusion .....                              | 175 |

---

### ***Annexe A : Électronique associée aux détecteurs de rayonnements***

### ***Annexe B : Annales des sujets d'examens de Génie Atomique De 2003-2004 à 2009-2010***

### ***Annexe C : Corrigé des sujets d'examens de Génie Atomique De 2003-2004 à 2009-2010***

### ***Annexe D : Unités, constantes et grandeurs fondamentales en physique***