

Table des matières

| | Page |
|--|--------------|
| Liste des figures | xx |
| Liste des tables | xxvii |
| La <i>Connaissance des temps</i> | 1 |
| Les origines de la <i>Connaissance des temps</i> | 1 |
| La <i>Connaissance des temps</i> de 1795 à 1979 | 2 |
| La <i>Connaissance des temps</i> entre 1980 et 2006 | 4 |
| La <i>Connaissance des temps</i> depuis 2007 | 5 |
| <i>L'Introduction aux éphémérides astronomiques</i> | 6 |
| 1. Unités, constantes et données astronomiques | 9 |
| 1.1. Introduction | 9 |
| 1.2. Systèmes d'unités | 11 |
| 1.2.1. Le Système international d'unités (SI) | 11 |
| 1.2.2. Le Système UAI d'unités astronomiques | 17 |
| 1.3. Le système UAI de constantes astronomiques | 21 |
| 1.3.1. Caractéristiques du système UAI 2009/2012 | 21 |
| 1.3.2. Origine des temps | 23 |
| 1.3.3. Valeurs des constantes du système UAI 2009/2012 | 23 |

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--|-----------|
| 1.3.4. Notes explicatives relatives à certaines constantes du système . . . | 26 |
| 1.3.5. Constantes dérivées du système UAI 2009/2012 | 27 |
| 1.4. Autres systèmes de constantes | 27 |
| 1.4.1. Standards numériques IERS 2010 | 27 |
| 1.4.2. Système UAI 2015 des constantes de conversion | 29 |
| 1.4.3. Système des masses planétaires | 29 |
| 1.5. Données sur le Système solaire | 34 |
| 1.5.1. Éléments orbitaux des planètes et des satellites découverts avant 1990 | 34 |
| 1.5.2. Éléments osculateurs des satellites découverts après 1990 | 36 |
| 1.5.3. Paramètres physiques | 45 |
| 1.6. Autres constantes et unités de l'astronomie | 53 |
| 1.6.1. Constantes relatives au système de référence galactique | 53 |
| 1.6.2. Constantes relatives à la situation du Soleil dans la Galaxie | 54 |
| 1.6.3. Valeurs estimées des paramètres du formalisme PPN | 56 |
| 1.6.4. Autres unités utilisées en astronomie | 57 |
| 2. Échelles de temps | 59 |
| 2.1. Introduction | 59 |
| 2.2. Évolution des échelles de temps | 60 |
| 2.2.1. Présentation générale | 60 |
| 2.2.2. Le Temps des éphémérides (TE ou ET) | 62 |
| 2.3. Le Temps atomique | 64 |
| 2.3.1. Étalons de fréquence : la seconde SI | 64 |
| 2.3.2. Réalisation du Temps atomique international | 66 |
| 2.3.3. Uniformité du TAI | 67 |
| 2.4. Le Temps universel coordonné (UTC) | 68 |
| 2.4.1. Définition et propriétés | 68 |
| 2.4.2. Le futur de l'UTC | 71 |
| 2.5. Échelles de temps relativistes | 76 |
| 2.5.1. Les échelles TCB et TCG | 76 |
| 2.5.2. Les échelles TT et TDB | 81 |
| 2.5.3. Synthèse des relations entre les échelles de temps | 82 |
| 2.6. Le Temps GNSS | 83 |
| 2.6.1. Le temps GPS | 83 |
| 2.6.2. Le temps Galileo | 84 |
| 2.6.3. Le temps GLONASS | 84 |

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--|-----------|
| 2.6.4. Le temps BeiDou | 84 |
| 2.7. Jours Juliens | 84 |
| 2.7.1. Énoncé du problème | 84 |
| 2.7.2. Le cycle julien | 85 |
| 2.7.3. Le décompte des jours avec les jours juliens | 87 |
| 2.7.4. Époques julienne et bessélienne | 88 |
| 2.8. La quantité TT-UT | 89 |
| 2.8.1. Énoncé du problème | 89 |
| 2.8.2. Les mesures | 90 |
| 3. Systèmes de référence | 95 |
| 3.1. Introduction | 95 |
| 3.1.1. Notions de système de référence et de repère de référence | 95 |
| 3.1.2. De la théorie newtonienne à la relativité générale | 96 |
| 3.1.3. Définitions cinématique et dynamique des systèmes de référence | 96 |
| 3.1.4. Référence terrestre et lien entre les systèmes terrestre et céleste | 97 |
| 3.2. Systèmes de référence relativistes | 97 |
| 3.2.1. Contexte | 97 |
| 3.2.2. Cadre théorique | 98 |
| 3.2.3. Historique des résolutions de l'UAI sur la RG | 99 |
| 3.2.4. Définition des systèmes de référence BCRS et GCRS | 102 |
| 3.2.5. Transformation de coordonnées entre systèmes de référence barycentrique et géocentrique | 105 |
| 3.3. Système de référence céleste international | 106 |
| 3.3.1. Une nouvelle conception : le système de référence cinématique | 106 |
| 3.3.2. Les recommandations de l'Union astronomique internationale (UAI) | 108 |
| 3.3.3. Définition du Système de référence céleste international (ICRS) | 109 |
| 3.3.4. Maintenance du Système de référence céleste international (ICRS) | 110 |
| 3.3.5. Contribution de l'IERS à la réalisation et à la maintenance de l'ICRS | 110 |
| 3.3.6. Accessibilité au Système de référence céleste international | 111 |
| 3.3.7. Le repère de référence céleste international (ICRF) | 112 |
| 3.3.8. La deuxième réalisation de l'ICRF : l'ICRF2 | 113 |
| 3.3.9. La troisième réalisation de l'ICRF : l'ICRF3 | 114 |
| 3.3.10. Réalisations dans le domaine visible | 115 |
| 3.4. Systèmes de référence dynamiques | 119 |
| 3.4.1. Introduction | 119 |
| 3.4.2. Définitions | 120 |
| 3.4.3. Systèmes de référence et éphémérides | 122 |

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--|------------|
| 3.4.4. Conclusion | 126 |
| 3.5. Système international de référence terrestre | 126 |
| 3.5.1. Introduction | 126 |
| 3.5.2. Concepts et définitions des systèmes de référence terrestres | 128 |
| 3.5.3. Réalisation d'un système de référence terrestre | 129 |
| 3.5.4. Le Système international de référence terrestre (ITRS) et sa réalisation | 133 |
| 3.5.5. L'ITRF2014, réalisation actuelle de l'ITRS | 137 |
| 3.5.6. L'ITRS et les instances internationales | 139 |
| 3.5.7. Système de coordonnées géodésiques GNSS | 141 |
| 3.5.8. Autres formes ou désignations de repères de référence terrestres | 142 |
| 3.6. Passage du GCRS à l'ITRS | 143 |
| 3.6.1. Introduction | 143 |
| 3.6.2. Expression générale de la transformation | 144 |
| 3.6.3. Les résolutions 2000 et 2006 de l'UAI relatives à la transformation entre les systèmes de référence terrestre et céleste | 145 |
| 3.6.4. Les paramètres d'orientation de la Terre | 148 |
| 3.6.5. Expression de la transformation entre le GCRS et l'ITRS utilisant l'origine non tournante | 155 |
| 3.6.6. Expression classique de la transformation entre le GCRS et l'ITRS | 161 |
| 4. Rotation de la Terre | 165 |
| 4.1. Introduction | 165 |
| 4.2. Phénomènes physiques | 166 |
| 4.2.1. Origine des phénomènes et détermination | 166 |
| 4.2.2. La précession-nutation : description et historique | 167 |
| 4.2.3. Le mouvement du pôle : description et historique | 169 |
| 4.2.4. Les variations de la vitesse de rotation et de la durée du jour : description et historique | 170 |
| 4.3. Dynamique de la rotation de la Terre | 171 |
| 4.3.1. Les équations de base | 172 |
| 4.3.2. Forme des solutions | 176 |
| 4.3.3. Évolution des constantes associées à la précession-nutation | 180 |
| 4.4. Modèles de précession | 182 |
| 4.4.1. Les différents types de précession | 182 |
| 4.4.2. Quantités liées à la précession | 183 |
| 4.4.3. Évolution 2000-2003 des modèles de précession | 185 |
| 4.4.4. Les modèles UAI de précession | 186 |

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--|------------|
| 4.4.5. Expressions analytiques des quantités de précession | 188 |
| 4.4.6. Développements de la précession et comparaison entre modèles | 189 |
| 4.4.7. Domaine de validité des modèles de précession | 192 |
| 4.5. Modèle de nutation | 193 |
| 4.5.1. Rotation des corps célestes et nutation | 193 |
| 4.5.2. Caractéristiques du modèle de nutation UAI 1980 | 195 |
| 4.5.3. Caractéristiques du modèle de nutation UAI 2000 | 195 |
| 4.5.4. Relations entre précession, nutation et mouvement du pôle | 196 |
| 4.5.5. Équations cinématiques et équations dynamiques | 197 |
| 4.5.6. Modèle géophysique | 199 |
| 4.5.7. Réduction des équations du moment cinétique et application du modèle géophysique | 200 |
| 4.5.8. Estimation des corrections de précession et formules pour les séries de la nutation | 203 |
| 4.5.9. Fréquences des nutations et mouvement du pôle | 204 |
| 4.6. Paramètres d'orientation de la Terre | 205 |
| 4.6.1. La rotation de la Terre et son orientation dans l'espace | 205 |
| 4.6.2. Les paramètres d'orientation et de rotation de la Terre (EOP) | 206 |
| 4.6.3. Mouvement du pôle ou polhodie | 207 |
| 4.6.4. Variations du Temps universel UT1 et de la durée du jour | 209 |
| 4.6.5. Pôle céleste et écarts au pôle céleste | 212 |
| 4.6.6. Relations du Temps universel avec les échelles de temps atomique TAI et UTC | 213 |
| 4.6.7. Les techniques d'observation | 214 |
| 4.6.8. Coordination mondiale des mesures de la rotation de la Terre | 216 |
| 4.6.9. Calcul des paramètres d'orientation de la Terre | 217 |
| 5. Mouvement des planètes, de Pluton et de la Lune | 219 |
| 5.1. Introduction | 219 |
| 5.2. Théories du mouvement des planètes et de Pluton | 220 |
| 5.2.1. Historique | 220 |
| 5.2.2. Éléments de mécanique céleste | 226 |
| 5.2.3. Forme des théories analytiques | 231 |
| 5.2.4. Construction de théories planétaires à variations séculaires | 233 |
| 5.2.5. Théories planétaires utilisées pour les éphémérides de la <i>Connais-</i> <i>sance des temps</i> jusqu'en 2005 | 239 |
| 5.2.6. Théories planétaires récentes | 243 |
| 5.2.7. Éléments moyens des planètes | 251 |
| 5.2.8. Expressions numériques des éléments moyens | 253 |

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--|------------|
| 5.2.9. Éphémérides approchées | 270 |
| 5.3. Le mouvement de la Lune | 276 |
| 5.3.1. Caractéristiques de l'orbite lunaire | 276 |
| 5.3.2. Les principales perturbations | 280 |
| 5.3.3. Les éléments moyens | 286 |
| 5.3.4. Périodes de révolution caractéristiques du mouvement de la Lune | 291 |
| 5.3.5. Les éphémérides de la Lune | 291 |
| 5.4. L'éphéméride INPOP | 302 |
| 5.4.1. Les différentes versions d'INPOP de 2003 à 2015 | 304 |
| 5.4.2. La version INPOP17a | 316 |
| 6. Satellites naturels des planètes | 321 |
| 6.1. Introduction | 321 |
| 6.1.1. Dynamique | 321 |
| 6.1.2. Objectifs | 322 |
| 6.1.3. Plan | 324 |
| 6.2. Historique | 324 |
| 6.2.1. La découverte | 324 |
| 6.2.2. Modélisations | 326 |
| 6.3. Classification | 327 |
| 6.4. La réalisation et la réduction des observations | 329 |
| 6.4.1. L'instrument méridien | 329 |
| 6.4.2. Le micromètre et l'héliomètre | 331 |
| 6.4.3. L'imagerie | 332 |
| 6.4.4. Les phénomènes | 341 |
| 6.4.5. Les rapprochements | 342 |
| 6.4.6. La radioscience | 342 |
| 6.4.7. Les observations disponibles | 345 |
| 6.4.8. Précision et exactitude des observations | 345 |
| 6.5. La modélisation dynamique | 348 |
| 6.5.1. Les forces en présence | 348 |
| 6.5.2. Les méthodes de résolutions des équations du mouvement | 350 |
| 6.5.3. Ajustement des paramètres orbitaux sur les observations | 359 |
| 6.6. Les différents systèmes | 364 |
| 6.6.1. Satellites de Mars | 364 |
| 6.6.2. Satellites galiléens | 374 |
| 6.6.3. Satellites de Jupiter | 387 |

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|---|------------|
| 6.6.4. Satellites de Saturne | 394 |
| 6.6.5. Satellites d'Uranus | 441 |
| 6.6.6. Satellites de Neptune | 451 |
| 6.6.7. Satellites de Pluton | 457 |
| 6.6.8. Satellites lointains irréguliers | 460 |
| 6.7. Représentation des éphémérides | 469 |
| 6.7.1. Introduction | 469 |
| 6.7.2. Échelle de temps | 470 |
| 6.7.3. Calcul des coordonnées | 470 |
| 6.7.4. Précision et exactitude des éphémérides | 470 |
| 6.7.5. Représentation des éphémérides | 482 |
| 6.8. Conclusion | 491 |
| 7. Petits corps du Système solaire et planètes naines | 493 |
| 7.1. Introduction | 493 |
| 7.2. Historique | 494 |
| 7.2.1. Les comètes, de l'Antiquité à nos jours | 494 |
| 7.2.2. Les astéroïdes et autres petits corps, une affaire moderne | 496 |
| 7.2.3. Origine | 499 |
| 7.2.4. Les satellites d'astéroïdes | 499 |
| 7.3. Nomenclature | 502 |
| 7.4. Propriétés des petits corps | 503 |
| 7.4.1. Propriétés dynamiques | 503 |
| 7.4.2. Propriétés de surface | 505 |
| 7.4.3. Propriétés physiques | 508 |
| 7.4.4. Propriétés des satellites | 511 |
| 7.5. Fondamentaux des éphémérides de position | 513 |
| 7.6. Détermination des orbites | 513 |
| 7.6.1. Méthodologie | 513 |
| 7.6.2. Sources des données orbitales | 515 |
| 7.6.3. Précision des orbites | 515 |
| 7.7. Calcul des éphémérides de position | 518 |
| 7.7.1. Équations du mouvement | 519 |
| 7.7.2. Forces non gravitationnelles | 521 |
| 7.7.3. Résolution des équations du mouvement | 525 |
| 7.7.4. Calcul des conditions initiales | 526 |

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--|------------|
| 7.8. Calcul du flux apparent | 527 |
| 7.8.1. Réflexion du spectre solaire | 528 |
| 7.8.2. Émission thermique | 530 |
| 7.9. Satellites d'astéroïdes | 531 |
| 7.9.1. Détermination des paramètres orbitaux | 531 |
| 7.9.2. Orbites et éphémérides proposées par l'IMCCE | 532 |
| 7.9.3. Caractéristiques dynamiques des systèmes d'astéroïdes multiples | 533 |
| 8. Satellites artificiels | 547 |
| 8.1. Introduction | 547 |
| 8.2. Considérations dynamiques | 548 |
| 8.2.1. Les lois de Kepler pour le satellite artificiel | 548 |
| 8.2.2. Orbites perturbées avec précession et termes périodiques | 552 |
| 8.2.3. Orbites précises | 555 |
| 8.2.4. Approches numériques, semi-analytiques, analytiques | 556 |
| 8.2.5. Différentes définitions de périodes pour l'observation | 559 |
| 8.2.6. Spécificités des orbites interplanétaires | 560 |
| 8.3. Familles de satellites artificiels | 561 |
| 8.3.1. Orbites circulaires et quasi circulaires | 561 |
| 8.3.2. Orbites excentriques | 564 |
| 8.3.3. Points de Lagrange | 565 |
| 8.4. Considérations géométriques | 571 |
| 8.4.1. Latitudes géocentrique et géodésique | 571 |
| 8.4.2. Nadir et trace pour un satellite artificiel | 572 |
| 8.4.3. Projection des trajectoires en repère terrestre | 573 |
| 8.4.4. Variations d'altitude d'un satellite quasi circulaire | 578 |
| 8.4.5. Visibilité des satellites artificiels depuis le sol | 580 |
| 8.4.6. Configurations d'éclairement des satellites, éclipses | 584 |
| 8.5. Catalogues de satellites | 589 |
| 8.5.1. Le catalogue des « Deux Lignes NORAD » (TLE) | 589 |
| 8.5.2. Exemples d'évolution à long terme des paramètres orbitaux | 594 |
| 9. Corrections pour la réduction | 597 |
| 9.1. Introduction | 597 |
| 9.2. Corrections pour les étoiles | 597 |
| 9.2.1. Présentation des effets physiques | 597 |
| 9.2.2. Formulaire classique pour le calcul des corrections stellaires | 605 |

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|---|------------|
| 9.2.3. Formulaire relativiste pour le calcul des corrections stellaires . . . | 613 |
| 9.3. Corrections pour les corps du Système solaire | 616 |
| 9.3.1. Généralités | 616 |
| 9.3.2. Formulaire classique pour le Système solaire | 618 |
| 9.3.3. Formulaire relativiste pour le Système solaire | 621 |
| 9.4. La réfraction astronomique | 623 |
| 9.4.1. Historique | 623 |
| 9.4.2. Effets globaux | 626 |
| 9.4.3. Théorie approchée | 628 |
| 9.4.4. Atmosphère sphérique | 630 |
| 10. Phénomènes astronomiques | 645 |
| 10.1. Introduction | 645 |
| 10.2. Phases de la Lune | 645 |
| 10.2.1. Présentation générale | 645 |
| 10.2.2. Durée des phases lunaires | 648 |
| 10.2.3. Durée de la lunaison | 650 |
| 10.3. Lever, coucher et passage au méridien | 655 |
| 10.3.1. Passages au méridien | 655 |
| 10.3.2. Temps solaire et jour solaire | 657 |
| 10.3.3. Levers et couchers | 666 |
| 10.4. Durée du jour et crépuscules | 675 |
| 10.4.1. Durée du jour | 675 |
| 10.4.2. Crépuscules | 679 |
| 10.5. Grandes oppositions périhéliques de Mars | 686 |
| 10.5.1. Introduction | 686 |
| 10.5.2. Retour des oppositions | 687 |
| 10.5.3. Parallaxe de Mars | 691 |
| 10.6. Passages | 694 |
| 10.6.1. Introduction | 694 |
| 10.6.2. Conditions des passages | 696 |
| 10.6.3. Succession des passages | 700 |
| 10.6.4. Recherche des passages planétocentriques | 707 |
| 10.6.5. Passages topocentriques | 713 |
| 10.7. Phénomènes des satellites de planètes | 719 |
| 10.7.1. Les éclipses et les occultations par la planète | 719 |
| 10.7.2. Les phénomènes mutuels | 725 |

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|---|------------|
| 10.8. Occultations stellaires | 743 |
| 10.8.1. Introduction | 743 |
| 10.8.2. Géométrie des phénomènes | 743 |
| 10.8.3. Recherche systématique | 744 |
| 10.8.4. Prédiction géocentrique | 746 |
| 10.8.5. Circonstances générales | 747 |
| 10.8.6. Facteur de qualité | 751 |
| 10.8.7. Prédiction des rapprochements | 752 |
| 11. Les éclipses de Soleil et de Lune | 753 |
| 11.1. Introduction | 753 |
| 11.2. Précision du calcul des éclipses | 754 |
| 11.3. Récurrence des éclipses | 756 |
| 11.3.1. Le saros | 756 |
| 11.3.2. L'exeligmos | 758 |
| 11.3.3. Cycles de saros | 759 |
| 11.4. Les éclipses de Soleil | 760 |
| 11.4.1. Les méthodes de calcul des éclipses de Soleil | 764 |
| 11.4.2. Conditions d'existence d'une éclipse de Soleil | 765 |
| 11.4.3. Théorie générale des éclipses de Soleil | 770 |
| 11.4.4. Éléments de Bessel et éléments auxiliaires | 778 |
| 11.4.5. Circonstances générales d'une éclipse | 779 |
| 11.4.6. Circonstances locales de visibilité d'une éclipse | 782 |
| 11.4.7. Instant du maximum de l'éclipse | 786 |
| 11.4.8. Instants de début et de fin d'éclipse | 787 |
| 11.4.9. Forme de l'ombre | 788 |
| 11.4.10. Largeur de la bande de centralité et taille de l'ombre sur la ligne de centralité | 789 |
| 11.4.11. Durée d'une éclipse | 790 |
| 11.4.12. Grandeur d'une éclipse | 790 |
| 11.4.13. Degré d'obscuration | 791 |
| 11.4.14. Autre mode de calcul de l'obscuration et de la grandeur d'une éclipse pour un observateur | 794 |
| 11.4.15. Angle de position | 796 |
| 11.4.16. Cartes d'éclipse | 797 |
| 11.4.17. Exemple : éclipse annulaire du 1 ^{er} septembre 2016 | 804 |
| 11.5. Les éclipses de Lune | 806 |
| 11.5.1. Conditions d'une éclipse de Lune | 807 |
| 11.5.2. Calcul d'une éclipse de Lune | 815 |

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|---|------------|
| 11.5.3. Phases d'une éclipse de Lune | 817 |
| 11.5.4. Angle de position | 817 |
| 11.5.5. Grandeur d'une éclipse de Lune | 818 |
| 11.6. Carte de visibilité d'une éclipse de Lune | 818 |
| 12. Éphémérides physiques | 821 |
| 12.1. Introduction | 821 |
| 12.2. Systèmes de rotation | 822 |
| 12.2.1. Définitions | 822 |
| 12.2.2. Cas des planètes et de leurs satellites | 823 |
| 12.2.3. Cas particulier de la Lune | 824 |
| 12.2.4. Cas des petits corps | 826 |
| 12.3. Paramètres des éphémérides physiques | 826 |
| 12.4. Systèmes de coordonnées | 827 |
| 12.4.1. Coordonnées planétocentriques | 827 |
| 12.4.2. Coordonnées planétographiques | 828 |
| 12.4.3. Exceptions | 828 |
| 12.5. Calcul des éphémérides physiques | 829 |
| 12.5.1. Points subobservateur (SEP) et subsolaire (SSP) | 830 |
| 12.5.2. Angle de position du pôle Nord | 832 |
| 12.5.3. Angle de phase | 832 |
| 12.5.4. Rayon angulaire apparent | 833 |
| 12.6. Rendu visuel des formes | 833 |
| 12.6.1. Équateur d'intensité | 834 |
| 12.6.2. Conditions d'illumination et observation | 835 |
| 12.6.3. Lois de diffusion | 836 |
| 12.6.4. Orientation et tracé du modèle dans le plan du ciel | 839 |
| 12.7. Paramètres de rotation | 842 |
| 12.8. Paramètres de forme | 854 |
| 13. Calendrier et saisons | 863 |
| 13.1. Introduction | 863 |
| 13.2. Calcul de la durée de l'année tropique | 864 |
| 13.2.1. Année tropique et années des saisons | 864 |
| 13.2.2. Durée de l'année tropique | 869 |

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|---|-----|
| 13.3. Les calendriers perpétuels | 874 |
| 13.3.1. Les calendriers lunaires perpétuels | 874 |
| 13.3.2. Les calendriers solaires perpétuels | 876 |
| 13.3.3. Les calendriers luni-solaires perpétuels | 877 |
| 13.4. Le calendrier julien | 878 |
| 13.4.1. Genèse | 878 |
| 13.4.2. Réforme julienne | 879 |
| 13.4.3. Ère chrétienne et style de l'année | 880 |
| 13.4.4. Dérive calendaire | 880 |
| 13.5. Le calendrier grégorien | 881 |
| 13.5.1. La réforme grégorienne | 881 |
| 13.5.2. Le cycle de 33 ans | 882 |
| 13.5.3. Le cycle de 128 ans | 883 |
| 13.6. Date des saisons | 883 |
| 13.6.1. Dates de l'équinoxe de printemps | 884 |
| 13.6.2. Dates du solstice d'été | 885 |
| 13.6.3. Dates de l'équinoxe d'automne | 885 |
| 13.6.4. Dates du solstice d'hiver | 885 |
| 13.6.5. Durées des saisons | 885 |
| 13.7. Date de Pâques | 886 |
| 13.7.1. Les différentes Pâque(s) | 888 |
| 13.7.2. Date de Pâques dans le comput dionysien | 891 |
| 13.7.3. La réforme grégorienne et le nouveau comput | 896 |
| 13.7.4. Formulaires de la date de Pâques | 907 |

Annexe

| | |
|--|------------|
| A. Changements de coordonnées | 913 |
| A.1. Notions générales | 913 |
| A.1.1. Coordonnées cartésiennes et coordonnées polaires/sphériques | 913 |
| A.1.2. Transformation des coordonnées sous l'effet de rotation des axes | 914 |
| A.1.3. Représentation des coordonnées sur la sphère | 915 |
| A.2. Coordonnées usuelles | 916 |
| A.2.1. Coordonnées liées à un système de référence terrestre | 916 |
| A.2.2. Coordonnées liées à un système de référence céleste | 917 |
| A.3. Relations entre systèmes de coordonnées | 922 |
| A.3.1. Relations entre coordonnées équatoriales et coordonnées écliptiques | 922 |
| A.3.2. Relations entre coordonnées équatoriales et horizontales | 923 |

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|---|-------------|
| A.3.3. Relations entre coordonnées ICRS, BCRS, GCRS et ITRS . . . | 925 |
| Références bibliographiques | 927 |
| Glossaire | 981 |
| Index | 1015 |