

## **Table des matières**

Liste des figures

Liste des tableaux



|  |           |
|--|-----------|
| <b>Introduction</b>  | <b>1</b>  |
| <b>Partie A : Etude bibliographique</b>  | <b>3</b>  |
| <i>A1. Définition des concepts de bassin versant, de système et de modèle</i>  | <i>7</i>  |
| <i>A1-1. Le bassin versant : un cadre physique</i>                             | <i>7</i>  |
| <i>A1-2. Approche systémique du fonctionnement du bassin versant</i>           | <i>8</i>  |
| <i>A1-3. Du système au modèle</i>  | <i>10</i> |
| <i>A1-4. Conclusion</i>  | <i>11</i> |
| <br>   |           |
| <i>A2. Le cycle de l'azote à l'échelle du bassin versant</i>                   | <i>15</i> |
| <i>A2-1. Le cycle de l'azote</i>   | <i>15</i> |
| <i>A2-2. Variables d'entrée du cycle de l'azote</i>                            | <i>17</i> |
| A2-21. Apports anthropiques  | 17        |
| A2-22. Apports naturels  | 17        |
| <i>A2-3. Variables de forçage</i>  | <i>18</i> |
| <i>A2-4. Processus associés au cycle de l'azote</i>                            | <i>18</i> |
| A2-41. Processus de transformation de l'azote                                  | 18        |
| A2-42. Processus de transport de l'azote                                       | 19        |
| <i>A2-5. Variables d'état</i>  | <i>20</i> |
| <i>A2-6. Variables de sortie</i>   | <i>21</i> |
| <i>A2-7. Conclusion</i>  | <i>21</i> |
| <br>   |           |
| <i>A3. Les modèles de flux d'azote à l'échelle du bassin versant</i>           | <i>25</i> |
| <i>A3-1. Introduction</i>  | <i>25</i> |
| <i>A3-2 Représentation de l'espace</i>   | <i>27</i> |
| A3-21. Les modèles globaux (lumped models)                                     | 27        |
| A3-22. Les modèles physiques spatialisés (Physically-based distributed models) | 30        |
| A3-23. Les modèles conceptuels spatialisés (semidistributed conceptual models) | 33        |
| <i>A3-3 Discrétisation temporelle</i>  | <i>37</i> |
| A3-31. Modèles événementiels   | 37        |
| A3-32. Modèles continus  | 38        |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>A3-4. Approche par objets d'étude</b>  | <b>39</b> |
| A3-41. Du modèle agronomique parcellaire aux modèles de petits bassins versants agricoles | 40        |
| A3-42. Modèle de dynamique de l'azote dans le réseau hydrographique                       | 42        |
| A3-43. Modèles de gestion de la qualité de l'eau  | 43        |
| <b>A3-5. Conclusion</b>   | <b>45</b> |
| <br>  |           |
| <b>A4. Premières pistes pour le choix du modèle</b>                                       | <b>49</b> |
| <br>  |           |
| <b>Partie B : Matériels et méthodes</b>   | <b>51</b> |
| <br>  |           |
| <b>B1. Données disponibles sur la zone d'étude</b>  | <b>55</b> |
| <b>B1-1. Caractéristiques physiques des bassins</b>                                       | <b>56</b> |
| B1-11. Topographie  | 56        |
| B1-12. Contexte hydrogéologique   | 58        |
| B1-13. Pédologie  | 59        |
| B1-14. Occupation du sol  | 60        |
| <b>B1-2. Variable d'entrée « masses d'azote »</b>   | <b>62</b> |
| B1-21. Apports agricoles  | 63        |
| B1-22. Apports industriels et domestiques   | 63        |
| <b>B1-3. Variables de forçage</b>   | <b>66</b> |
| <b>B1-4. Variables de sortie</b>  | <b>67</b> |
| <b>B1-5. Conclusion</b>   | <b>68</b> |
| <br>  |           |
| <b>B2. Présentation des quatre bassins versants modélisés</b>                             | <b>71</b> |
| <b>B2-1. Caractéristiques physiques et anthropiques des bassins d'étude</b>               | <b>72</b> |
| <b>B2-2. Dynamique des flux d'azote sur les bassins d'étude</b>                           | <b>77</b> |
| B2-21. Comportement général des bassins   | 77        |
| B2-22. Analyse des événements échantillonnés  | 80        |
| <b>B2-3. Conclusion</b>   | <b>86</b> |

|   |            |
|---|------------|
| <b><i>B3. Développement du modèle d'exportation d'azote POL</i></b>                     | <b>89</b>  |
| <b><i>B3-1. Pourquoi un modèle de flux ?</i></b>  | <b>89</b>  |
| <b><i>B3-2. Hypothèses du modèle POL</i></b>  | <b>91</b>  |
| <b><i>B3-3. Formalisme mathématique</i></b>   | <b>95</b>  |
| B3-31. Fonction de production   | 95         |
| B3-32. Fonction de transport  | 97         |
| <b><i>B3-4. Environnement de développement</i></b>                                      | <b>99</b>  |
| <b><i>B3-5. Fonctionnement du modèle POL</i></b>  | <b>100</b> |
| <b><i>B3-6. Conclusion</i></b>  | <b>101</b> |
| <br>  |            |
| <b><i>Partie C : Application du modèle POL</i></b>                                      | <b>105</b> |
| <br>  |            |
| <b><i>C1. Etude de sensibilité du modèle POL en mode événementiel</i></b>               | <b>109</b> |
| <b><i>C1-1. Application du modèle POL sur un bassin élémentaire</i></b>                 | <b>109</b> |
| C1-11. Découpage de l'espace du bassin élémentaire                                      | 109        |
| C1-12. Fonction de forçage pluviométrique   | 110        |
| C1-13. Etat initial des sous-bassins de production                                      | 111        |
| C1-14. Valeur du seuil de déclenchement de la crise                                     | 112        |
| C1-15. Pas de calcul de modèle  | 112        |
| C1-16. Conclusion   | 112        |
| <b><i>C1-2. Variables de calage du modèle et fonction objectif</i></b>                  | <b>113</b> |
| C1-21. Caractéristiques de l'épisode test   | 115        |
| C1-22. Résultats du calage du modèle élémentaire avec l'épisode test                    | 116        |
| C1-23. Conclusion   | 117        |
| <b><i>C1-3 Revue rapide des tests de sensibilité</i></b>                                | <b>118</b> |
| C1-31. Stratégies locales et globales   | 118        |
| C1-32. Exploration systématique et aléatoire  | 119        |
| <b><i>C1-4. Choix de la méthode d'exploration de domaine des paramètres</i></b>         | <b>120</b> |
| C1-41. Définition des conditions d'application  | 120        |
| C1-42. Réponses du modèle lors d'une exploration systématique du domaine des paramètres | 124        |
| C1-43. Réponses du modèle lors d'une exploration aléatoire du domaine des paramètres    | 125        |
| C1-44. Conclusion   | 127        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>C1-5. Etude de sensibilité du modèle événementiel</b>  | <b>128</b> |
| C1-51. Questions posées   | 128        |
| C1-52. Cinq tests réalisés  | 128        |
| <b>C1-6. Conclusion</b>   | <b>156</b> |
| <br>  |            |
| <b>C2. Application du modèle POL sur les bassins d'étude</b>  | <b>161</b> |
| <b>C2-1. Choix du réseau de référence</b>   | <b>161</b> |
| <b>C2-2. Découpage spatial des 4 bassins d'étude</b>  | <b>161</b> |
| <b>C2-3. Caractéristiques des biefs de rivières et sous-bassins associés</b>                                    | <b>167</b> |
| <b>C2-4. Conclusion</b>   | <b>169</b> |
| <br>  |            |
| <b>C3. Confrontation du modèle POL aux données expérimentales</b>   | <b>173</b> |
| <b>C3-1. Calage du modèle événementiel</b>  | <b>174</b> |
| C3-11. Prétraitements sur les données   | 174        |
| C3-111. Calcul des masses et durées observées   | 174        |
| C3-112. Choix des épisodes de crues   | 176        |
| C3-113. Choix des constantes MIN et MAX   | 178        |
| C3-12. Calage du modèle bassin par bassin   | 180        |
| C3-121. Protocole   | 180        |
| C3-122. Résultats   | 180        |
| C3-123. Conclusion  | 181        |
| C3-13. Calage du modèle crue par crue   | 182        |
| C3-131. Protocole   | 182        |
| C3-132. Résultats   | 185        |
| C3-134. Prise en compte des incertitudes sur la masse et la durée lors<br>du calage des paramètres              | 191        |
| C3-135. Conclusion  | 199        |
| <b>C3-2. Application du modèle POL</b>  | <b>200</b> |
| C3-21. Recherche des relations de précaractérisation de T et N  | 200        |
| C3-211. Précaractérisation du paramètre T   | 200        |
| C3-212. Précaractérisation du stock d'azote N   | 205        |
| C3-213. Conclusion  | 211        |
| C3-22. Application du modèle POL sur une succession d'épisodes de pluie   | 212        |
| C3-221 Comparaison du flux simulé par rapport au suivi régulier   | 212        |
| C3-222 Transposition du modèle POL au bassin du Dardaillon  | 215        |
| C3-221. Premières estimations des masses exportées sur les bassins de<br>Thau et de l'Or à l'aide du modèle POL | 217        |
| C3-224. Conclusion  | 222        |
| <b>C3-3 Conclusion</b>  | <b>223</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>Conclusion générale</b>   | <b>225</b> |
| <b>Bibliographie</b>   | <b>233</b> |
| <b>Table des matières</b>  | <b>255</b> |
| <b>Table des sigles et glossaire</b>   | <b>269</b> |
| <b>Annexes</b>   | <b>277</b> |
| Annexe 1 : Caractéristiques des modèles de flux d'azote  | 281        |
| Annexe 2 : Extraction des unités fonctionnelles du modèle  | 347        |
| 2A : Concepts liés aux Systèmes d'information Géographique et intérêt du couplage « SIG - Modèle hydrologique/qualité de l'eau »       | 349        |
| 2B : Méthode d'extraction automatique des unités fonctionnelles (biefs de rivières et sous-bassin versants associés) à partir d'un MNT | 363        |
| 2C : Méthode de correction du MNT pour améliorer la qualité des réseaux hydrographiques extraits                                       | 377        |
| Annexe 3 : Apports d'azote anthropiques sur les bassins  | 383        |
| 3A : Evaluation des apports d'azote d'origine agricole   | 385        |
| 3B : Evaluation des rejets ponctuels domestiques et industriels  | 399        |
| 3C : Caractéristiques du SIRS (Système d'Information à Référence Spatiale) développé   | 411        |
| Annexe 4 : Caractéristiques des 20 crues échantillonnées   | 413        |

## Liste des figures

### *Partie A : Etude bibliographique*

---

|   |    |
|---|----|
| Figure A1-1 : Limites d'un bassin versant d'après ROCHE (1963).....   | 7  |
| Figure A1-2 : Illustration du caractère très atténuant du système bassin versant (cas de la crue du Salaison - 52 km <sup>2</sup> - du 5 septembre 1999)..... | 9  |
| Figure A1-3 : Composants du cycle de l'azote à l'échelle du bassin versant .....  | 15 |
| Figure A2-4 : Devenir de l'azote sur le bassin versant .....  | 16 |
| Figure A3-5 : Structures du modèle hydrologique GR5 et du modèle Nitrate dérivé d'après MA, (1991).....   | 28 |
| Figure A3-6 : Prise en compte de l'occupation du sol pour le calcul des apports d'azote dans le modèle Nitrate (MA, 1991).....                                | 29 |
| Figure A3-7 : Modèle SHETRAN (EWEN et al., 2000) et module d'azote associé NITS (BIRKINSHAW et EWEN, 2000a) .....   | 31 |
| Figure A3-8 : Mise en œuvre des deux concepts de segmentation du bassin .....   | 34 |
| Figure A3-9 : Structure du modèle HSPF d'après KAUARK LEITE, (1990) .....   | 41 |
| Figure A1-10 : Champ d'application des modèles de flux d'azote (cf. annexe 1).....  | 45 |

### *Partie B : Matériels et méthodes*

---

|   |    |
|---|----|
| Figure B1-1 : Localisation et topographie des deux sites d'étude .....  | 57 |
| Figure B1-2 : Contexte hydrogéologique des deux sites d'étude.....  | 59 |
| Figure B1-3 : Occupation du sol du bassin versant de l'étang de l'Or et de Thau .....   | 61 |
| Figure B1-4 : Pratiques agricoles sur le bassin de l'Or (DAURIAC, 2000).....  | 63 |
| Figure B2-5 : Localisation des caves coopératives et des rejets de stations d'épuration sur le bassin de l'Or et de Thau..... | 64 |
| Figure B1-6 : Localisation des pluviomètres et pluviographes.....   | 66 |
| Figure B2-7 : Localisation des quatre bassins d'étude.....  | 71 |
| Figure B2-8 : Caractéristiques morphologiques des bassins.....  | 72 |
| Figure B2-9 : Caractéristiques hydrographiques des bassins.....   | 73 |
| Figure B2-10 : Caractéristiques hydrogéologiques des bassins .....  | 74 |
| Figure B2-11 : Occupation du sol .....  | 75 |
| Figure B2-12 : Localisation des caves coopératives et des rejets de stations d'épuration.....                                 | 76 |
| Figure B2-13 : Chronique pluie-débit et suivi régulier et événementiel.....   | 78 |
| Figure B2-14 : Flux des différentes formes de l'azote et concentration en azote total.....                                    | 79 |
| Figure B2-15 : Phénomène d'hystérésis « négatif » pour la crue du Salaison d'avril 2000 ....                                  | 84 |
| Figure B2-16 : Phénomène d'hystérésis « négatif » pour la crue du Salaison de mars 1999 ..                                    | 84 |
| Figure B3-17 : schématisation de l'azote sur le bassin .....  | 91 |
| Figure B3-18 : Découpage spatial en sous-bassin versant et bief de rivière.....   | 93 |
| Figure B3-19 : Composantes du flux à l'exutoire selon la pluie.....   | 94 |

|  |     |
|--|-----|
| Figure B3-20 : Production du flux d'azote sur un sous-bassin .....       | 95  |
| Figure B3-21 : Valeur de k déterminée par la fonction rampe.....         | 96  |
| Figure B3-22 : Réservoir Forçage pluviométrique .....                    | 97  |
| Figure B3-23 : Application de la fonction de transport sur un bief ..... | 99  |
| Figure B3-24 : Formalisme mathématique du modèle POL .....               | 103 |

## ***Partie C : Application du modèle***

|   |     |
|---|-----|
| Figure C1-1 : Représentation fonctionnelle du bassin en sous-bassins et biefs associés.....   | 110 |
| Figure C1-2 : Forçage pluviométrique .....  | 110 |
| Figure C1-3 : Répartition du stock global déterminé lors du calage.....   | 111 |
| Figure C1-4 : Episode test.....   | 115 |
| Figure C1-5 : Comparaison des deux types de variables de calage .....   | 115 |
| Figure C1-6 : Dynamique des flux observés et simulés avec la variable de calage flux<br>d'azote .....   | 116 |
| Figure C1-7 : Dynamique des flux observés et simulés avec les variables de calage<br>masse et durée .....   | 116 |
| Figure C1-8 : Exemple de résultat d'une étude globale de sensibilité d'une variable (cas<br>d'un modèle à deux paramètres).....                             | 119 |
| Figure C1-9 : Protocole de l'analyse graphique du domaine des réponses du modèle.....   | 123 |
| Figure C1-10 : Etendue du domaine "masse-durée" selon le pas d'analyse.....   | 124 |
| Figure C1-11 : Localisation des couples « masse-durée » obtenus pour les 65 536 jeux de<br>paramètres et un échantillon de 32 individus.....                | 125 |
| Figure C1-12 : Qualité d'exploration du domaine des réponses du modèle .....  | 126 |
| Figure C1-13 : Localisation des 4 000 couples par rapport aux limites obtenues par<br>analyse systématique .....  | 127 |
| Figure C1-14 : Localisation des valeurs des paramètres F et T pour chaque couple<br>« masse-durée ».....  | 130 |
| Figure C1-15 : Impact du paramètre T sur la dynamique des flux .....  | 131 |
| Figure C1-16 : Localisation des 5 couples tests.....  | 132 |
| Figure C1-17 : Dispersion des valeurs des paramètres T et F fournissant une réponse de<br>qualité (critère > 0.99) pour les 5 couples tests considérés..... | 132 |
| Figure C1-18 : Masse et durée pour une pluie horaire de 30 mm en fonction de MIN et<br>de MAX.....  | 133 |
| Figure C1-19 : Masse et durée pour une pluie horaire de 15 mm en fonction de MIN et<br>de MAX.....  | 134 |
| Figure C1-20 : Masse et durée pour une pluie horaire de 7.5 mm en fonction de MIN et<br>de MAX.....   | 134 |
| Figure C1-21 : Limites du domaine des couples « masse-durée » obtenues pour<br>différentes valeurs du stock d'azote N.....                                  | 136 |
| Figure C1-22 : Différences relatives sur les masses et durées avec $F = T = 1 \text{ h}^{-1}$ .....   | 137 |
| Figure C1-23 : Différences relatives sur les masses et durées avec $F = T = 0.5 \text{ h}^{-1}$ .....   | 137 |
| Figure C1-24 : Différences relatives sur les masses et durées avec $F = T = 0.1 \text{ h}^{-1}$ .....   | 137 |
| Figure C1-25 : Contribution du réseau en fonction de la répartition du stock d'azote .....  | 138 |

|  |     |
|--|-----|
| Figure C1-26 : Dispersion des valeurs du paramètre F selon que le stock d'azote N est fixé (1 kg/ha) ou calé (N [0 , 30] kg/ha).....     | 139 |
| Figure C1-27 : Dispersion des valeurs du paramètre T selon que le stock d'azote N est fixé (1 kg/ha) ou calé (N [0 , 30] kg/ha).....     | 139 |
| Figure C1-28 : Illustration de l'effet de compensation entre le paramètre F et le stock d'azote .....                                    | 140 |
| Figure C1-29 : Extension du domaine des réponses du modèle en fonction de la hauteur de pluie .....                                      | 142 |
| Figure C1-30 : Extension du domaine des réponses du modèle en fonction de la durée de l'épisode de pluie (hauteur de pluie = 20 mm)..... | 143 |
| Figure C1-31 : Extension du domaine des réponses du modèle en fonction de la pluie (lame précipitée = 30 mm) .....                       | 144 |
| Figure C1-32 : Classement des épisodes de pluie en fonction de l'extension du domaine des variables « masse-durée » .....                | 144 |
| Figure C1-33 : Découpage testé .....   | 145 |
| Figure C1-34 : Découpage testé .....   | 146 |
| Figure C1-35 : Comparaison des relations "sous-bassins - bief" .....   | 146 |
| Figure C1-36 : Différence relative des masses selon la surface des sous-bassins et la longueur des biefs.....                            | 147 |
| Figure C1-37 : Différence relative des durées selon la surface des sous-bassins et la longueur des biefs.....                            | 147 |
| Figure C1-38 : Comparaison des masses obtenues selon la surface des sous-bassins et la longueur des biefs.....                           | 148 |
| Figure C1-39 : Comparaison des durées obtenues selon la surface des sous-bassins et la longueur des biefs.....                           | 148 |
| Figure C1-40 : Différence relative des masses selon le nombre de sous-bassins et de biefs .....  | 150 |
| Figure C1-41 : Différence relative des durées selon le nombre de sous-bassins et de biefs .....  | 150 |
| Figure C1-42 : Comparaison des masses obtenues selon le nombre de sous-bassins et de biefs .....   | 151 |
| Figure C1-43 : Comparaison des durées obtenues selon le nombre de sous-bassins et de biefs .....   | 151 |
| Figure C1-44 : Différence relative des masses selon le mode de relation "bief - sous-bassin" .....                                       | 153 |
| Figure C1-45 : Différence relative des durées selon le mode de relation "bief - sous-bassin" .....                                       | 153 |
| Figure C1-46 : Comparaison des masses obtenues selon le mode de relation "bief - sous-bassin" .....                                      | 154 |
| Figure C1-47 : Comparaison des durées obtenues selon le mode de relation "bief - sous-bassin" .....                                      | 154 |
| Figure C2-1 : Comparaison du réseau de l'IGN et extrait du MNT .....   | 162 |
| Figure C2-2 : Amélioration de la géométrie du réseau extrait après modification du MNT .....   | 163 |
| Figure C2-3 : Découpage de l'espace sur les bassins du Salaison et de la Vène .....  | 164 |
| Figure C2-4 : Découpage de l'espace sur le bassin du Pallas .....  | 165 |
| Figure C2-5 : Découpage de l'espace sur le bassin du Dardaillon.....   | 166 |

|  |     |
|--|-----|
| Figure C3-6: Comparaison de l'influence du mode de calcul de la masse exportée .....   | 175 |
| Figure C3-7: Localisation des variables de sortie observées pour l'épisode S199909 par rapport aux 4 000 réponses du modèle..... | 177 |
| Figure C3-8 : Caractéristiques des 15 crues retenues pour la phase de calage en terme de masse et durée.....                     | 178 |
| Figure C3-9 : Valeur de k déterminée en fonction de $For$ par la fonction rampe.....   | 178 |
| Figure C3-10 : Etapes du protocole de calage de la méthode GLUEP .....   | 183 |
| Figure C3-11 : Distribution des valeurs de F pour les 15 crues.....  | 185 |
| Figure C3-12 : Détail de la distribution des valeurs de F pour les 15 crues .....  | 186 |
| Figure C3-13 : Distribution des valeurs de T pour les 15 crues.....  | 186 |
| Figure C3-14 : Distribution des valeurs de N pour les 15 crues .....   | 187 |
| Figure C3-15 : Compensation entre F et le stock d'azote (N) .....  | 187 |
| Figure C3-16 : Détail de la compensation F et N (pour F entre 0 et $0.2 \text{ h}^{-1}$ ) .....                                  | 188 |
| Figure C3-17 : Dispersion des valeurs de T pour les 15 crues ( $F = 0.04$ ).....   | 189 |
| Figure C3-18 : Dispersion des valeurs de N (stock d'azote) ( $F = 0.04$ ) .....  | 190 |
| Figure C3-19 : Hydrogramme de la crue de novembre 1999 sur le Salaison .....   | 192 |
| Figure C3-20 : Hydrogramme en échelle logarithmique de la crue de novembre 1999 sur le Salaison.....                             | 193 |
| Figure C3-21 : Estimation de la masse d'azote en fonction de la durée utilisée (crue de novembre 1999 sur le Salaison) .....     | 193 |
| Figure C3-22 : Protocole d'analyse de l'effet de la prise en compte des incertitudes lors du calage des paramètres.....          | 194 |
| Figure C3-23 : Comparaison des distributions des valeurs du paramètre F obtenues pour les trois configurations .....             | 195 |
| Figure C3-24 : Comparaison des distributions des valeurs du paramètre T obtenues pour les trois configurations .....             | 196 |
| Figure C3-25 : Comparaison des distributions des valeurs de la condition initiale N pour les trois configurations .....          | 197 |
| Figure C3-26 : Qualité de simulation de la masse .....   | 203 |
| Figure C3-27 : Qualité de simulation de la durée .....   | 203 |
| Figure C3-28 : Exemple du calcul du descripteur $Dp$ .....   | 205 |
| Figure C3-29 : Exemple de calcul du descripteur $Dp$ au début d'un épisode de pluie .....  | 206 |
| Figure C3-30 : Localisation des couples N médian - $Dp$ et droite de régression obtenues sur les 3 bassins.....                  | 208 |
| Figure C3-31 : Localisation des valeurs de $N^*$ .....   | 208 |
| Figure C3-32 : Simulation des durées pour les 15 crues.....  | 209 |
| Figure C3-33 : Simulation de la masse pour les 15 crues .....  | 209 |
| Figure C3-34 : Comparaison du flux d'azote simulé sur le Pallas (année 1994-1995) avec le flux observé.....                      | 212 |
| Figure C3-35 : Comparaison du flux d'azote simulé sur la Vène (année 1998-1999) avec le flux observé.....                        | 213 |
| Figure C3-36 : Comparaison du flux d'azote simulé sur le Salaison (année 1998-1999) avec le flux observé.....                    | 214 |
| Figure C3-37 : Comparaison du flux d'azote simulé sur le Dardaillon (année 1998-1999) avec le flux observé.....                  | 215 |
| Figure C3-38 : Comparaison du flux d'azote horaire simulé sur le Dardaillon (crue du 10/01/99) avec le flux observé .....        | 216 |

|  |     |
|--|-----|
| Figure C3-39 : Comparaison du flux d'azote horaire simulé sur le Dardaillon (crue du 04/05/99) avec le flux observé .....                | 216 |
| Figure C3-40 : Sous-bassins sur lesquels est appliqué le modèle POL .....  | 218 |
| Figure C3-41 : Répartition des apports d'azote à l'étang de Thau.....  | 220 |
| Figure C3-42 : Répartition des apports d'azote à l'étang de l'Or .....   | 220 |
| Figure C3-43 : Pourcentage des différents types d'apports sur le bassin de Thau et de l'Or pour les années 1998- 1999 et 1999-2000 ..... | 221 |

## Liste des tableaux

### *Partie A : Etude bibliographique*

### *Partie B : Matériels et méthodes*

|   |     |
|---|-----|
| Tableau B1-1 : Protocole d'acquisition des apports anthropiques d'azote sur le bassin .....                 | 62  |
| Tableau B1-2 : Protocoles d'échantillonnage .....   | 67  |
| Tableau B2-3 : Caractéristiques hydrologiques des 20 crues échantillonnées.....                             | 81  |
| Tableau B2-4 : Variation de la concentration en azote selon les crues et flux associé<br>sur le Pallas..... | 83  |
| Tableau B2-5 : Comparaison des flux journalier en crue, hautes et basses eaux.....                          | 86  |
| Tableau B3-6 : Exemples de modèles de qualité issus d'un modèle hydrologique .....                          | 90  |
| Tableau B3-7 : Différents types de pas de temps manipulés dans le modèle .....                              | 101 |

### *Partie C : Application du modèle*

|   |     |
|---|-----|
| Tableau C1-1 : Conditions d'application du modèle élémentaire.....                                  | 112 |
| Tableau C1-2 : Caractéristiques de l'épisode de crue .....  | 115 |
| Tableau C1-3 : Pas d'analyse et nombre de simulations associé.....                                  | 121 |
| Tableau C1-4 : Conditions d'application .....   | 123 |
| Tableau C1-5 : Conditions du test de sensibilité aux paramètres F et T.....                         | 129 |
| Tableau C1-6 : Caractéristiques des 5 couples tests .....   | 129 |
| Tableau C1-7 : Valeurs des paramètres pour les couples "masse-durée" en limite de<br>domaine .....  | 130 |
| Tableau C1-8 : Conditions du test de sensibilité des constantes MIN et MAX.....                     | 133 |
| Tableau C1-9 : Conditions du test de sensibilité sur l'importance du stock d'azote .....            | 135 |
| Tableau C1-10 : Conditions du test de sensibilité sur la répartition du stock d'azote .....         | 135 |
| Tableau C1-11 : Conditions du test de sensibilité sur l'ajustement des paramètres du<br>modèle..... | 135 |
| Tableau C1-12 : Conditions du test de sensibilité sur la variable de forçage .....                  | 141 |
| Tableau C1-13 : Conditions du test de sensibilité sur le découpage spatial du modèle.....           | 145 |
| Tableau C1-14 : Caractéristiques des objets hydrologiques manipulés .....                           | 145 |
| Tableau C1-15 : Caractéristiques des objets hydrologiques manipulés.....                            | 146 |
| Tableau C1-16 : Caractéristiques des objets hydrologiques manipulés .....                           | 146 |
| Tableau C2-1: Estimation des charges sortant des stations d'épuration .....                         | 167 |
| Tableau C2-2 : Pourcentage des cultures sur la surface totale agricole .....                        | 168 |
| Tableau C2-3 : Apport spécifique maximal en azote.....  | 169 |

|   |     |
|---|-----|
| Tableau C3-13 : Caractéristiques des distributions des paramètres pour les trois configurations.....  | 198 |
| Tableau C3-14 : Descripteurs de l'état initial et de l'épisode de pluie .....   | 200 |
| Tableau C3-15: Valeurs des descripteurs pour les 15 épisodes de crue.....   | 201 |
| Tableau C3-16 : Valeur du coefficient de détermination entre les descripteurs .....   | 201 |
| Tableau C3-17: Corrélations entre chaque descripteur et la valeur médiane de T .....  | 202 |
| Tableau C3-18: Valeurs de T* après régression et vérification ( $T \leq 1$ ) .....  | 202 |
| Tableau C3-19 : Résultats après précaractérisation de T ( $F = 0.04 \text{ h}^{-1}$ , T* et N médian).....  | 204 |
| Tableau C3-20 : Calcul des valeurs de Dp pour les 15 crues.....   | 206 |
| Tableau C3-21 : Corrélations entre les descripteurs .....   | 207 |
| Tableau C3-22 : Corrélations entre les descripteurs et la valeur de N médian .....  | 207 |
| Tableau C3-23 : Coefficients de régression entre la valeur médiane de N pour chaque crue et le descripteur composite Dp.....  | 207 |
| Tableau C3-24 : Résultats après précaractérisation de N ( $F = 0.04$ , T* et N*) .....  | 210 |
| Tableau C3-25 : Prise en compte des incertitudes sur les données observées .....  | 210 |
| Tableau C3-26 : Caractéristiques des stations ayant un rejet direct dans la lagune et estimation annuelles des masses d'azote rejetées (Source SATESE et Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse)..... | 217 |
| Tableau C3-27 : Charges sortantes des stations d'épurations ayant comme point de rejet un cours d'eau de l'étang de l'Or ou de Thau.....  | 219 |