

Développement d'une approche innovante pour la modélisation des sources pollution microbiologique sur le bassin versant de la lagune de Thau

Innovative development for a modelling approach of the microbiological pollutant sources in the watershed of the Thau lagoon

M. Raymond*, S. Delichère**, C. Boudong *, Z-X. Fang**, N. Peyron *

Organismes et adresses (méls)

* Egis Eau 78 Allée John Napier 34965 Montpellier-Cédex2, France :

mireille.raymond@egis.fr ; camille.boudong@egis.fr, nellypeyron@yahoo.fr

**BRL Ingénierie 1105 av Pierre Mendès France 30000 Nîmes, France

zhong-xue.fang@brl.fr ; stephane.delichere@brl.fr

RÉSUMÉ

Le programme de recherche et développement OMEGA Thau (Outil de Management Environnemental et de Gestion de l'Avertissement sur le bassin de Thau) est destiné à concevoir, développer et valider un système de management des risques de contaminations microbiologiques des zones d'élevage conchylicole et des zones de baignade de la lagune de Thau. Ce projet est porté par le Syndicat Mixte du Bassin de Thau (SMBT), et regroupe des partenaires techniques sur la lagune et le bassin versant (Ifremer, Egis Eau, BRLi, CABT, CCNBT, AERM&C).

La lagune reçoit les apports d'un bassin versant superficiel de 340 km², recouvrant 16 communes, pour une population totale permanente de 115 000 habitants (incluant la ville de Sète), qui s'accroît jusqu'à 240 000 habitants en période estivale. Les sources de pollution microbiologique de la lagune modélisées sont les rejets des stations d'épuration, les déversements par les réseaux d'assainissement collectif, le lessivage des zones urbaines et rurales, ainsi que les stocks-rivières essentiellement constitués par les rejets de station d'épuration pendant les périodes de temps sec. Les autres sources de pollution microbiologique identifiées (rejets des industries et des systèmes d'assainissement autonome) ont été évaluées sur la base de données bibliographiques. La modélisation, avec un calage sur les données acquises lors des campagnes de mesures, a permis de hiérarchiser les sources de pollution du bassin versant. Les limites de cette modélisation sont mises en évidence et une analyse des incertitudes permet d'évaluer la sensibilité des résultats obtenus.

ABSTRACT

The objective of the program of research and development OMEGA Thau (Tool for Environmental Management and Management Advice on the Thau lagoon) is to design, develop and validate a system of risk management of microbiological contamination of shellfish farming areas and of bathing in the lagoon of Thau. This project is supported by the Syndicat Mixte du Bassin de Thau (SMBT), and includes technical partners on the lagoon and catchment (Ifremer, Egis Water BRLi, BTWC, CCNBT, AERM & C).

The lagoon receives input from a watershed superficial 340 km², covering 16 municipalities, for a total permanent population of 115 000 inhabitants (including the city of Sète), which increases to 240 000 inhabitants in summer. The sources of microbiological pollution of the lagoon are modelled discharges from sewage treatment plants, discharges from sewage collective leaching of urban and rural, as well as stocks, mainly consisting of river discharges station d 'sewage during periods of dry weather. Other sources of microbiological contamination identified (industrial waste and sewerage systems) were evaluated on the basis of bibliographic data. Modelling, a calibration on the data acquired in measurement campaigns, helped to prioritise the sources of pollution in the watershed. The limitations of this model are highlighted and an uncertainty analysis for assessing the sensitivity of the results obtained.

MOTS CLES

Continuum aquatique « bassin versant / lagune », pollution microbiologique, déversements réseaux d'assainissement, rejets stations d'épuration, lessivage urbain, lessivage rural, relargage stocks-rivières

1 CONTEXTE ET OBJECTIFS DU PROJET

Dans le cadre du Contrat Qualité Thau, dont l'objectif est une reconquête de la qualité microbiologique du Bassin de Thau, le projet OMEGA Thau (Outil pour le Management Environnemental et la Gestion des Avertissements), vise à élaborer un outil d'aide à la décision pour les investissements publics sur le bassin versant, ainsi qu'un système d'anticipation des risques de pollution microbiologique à destination des usagers (conchyliculteurs, communes) et gestionnaires de la lagune de Thau. Ce projet est porté par le Syndicat Mixte du Bassin de Thau (SMBT), et regroupe des partenaires techniques sur la lagune et le bassin versant (Ifremer, Egis Eau, BRLi, CABT, CCBNT, AERM&C).

Une des étapes du projet visait à construire un outil de modélisation qui permette de simuler le « parcours » des contaminants microbiologiques depuis leur source de production sur le bassin versant jusque dans les zones de production conchylicoles dans la lagune. Cet outil est constitué de deux modèles : un modèle « bassin versant » dont une des finalités sera de fournir les flux de pollution au modèle « lagune » qui simule le transport et la dispersion de ces contaminants dans les eaux de l'étang, les deux modèles étant compatibles en terme de variables simulées.

Le développement et les résultats obtenus du modèle « bassin versant », font l'objet du présent article.

2 MODELISATION : METHODOLOGIE, CALAGE ET INCERTITUDES

En **temps de pluie**, les modèles détaillés mis en œuvre afin de représenter les différents processus en jeu pour chaque source de pollution bactériologique ont exploité à la fois les données issues des campagnes de mesure du projet et des données issues de travaux antérieurs ou bibliographiques. Basés sur un découpage du bassin en sous-bassins versants, ils fournissent par conséquent des estimations des différentes pollutions générées au niveau de chaque sous-bassin versant. Plus particulièrement, les processus modélisés sont :

- les déversements éventuels au droit de certains postes de relevage (eaux usées et unitaires),
- les rejets des stations d'épuration,
- le lessivage urbain,
- le lessivage rural,
- le relargage des stocks-rivières.

Les rejets associés à l'assainissement autonome et aux campings, ainsi que les rejets industriels n'ont pas fait l'objet de modélisation spécifique. Les valeurs prises en compte sont issues de la bibliographie disponible sur le sujet.

En **temps sec**, les rejets de pollution microbiologiques modélisés sont constitués :

- des rejets des stations d'épuration,
- des rejets accidentels, dus à des pannes de postes de relevage des eaux usées.

Le modèle « bassin versant » est un modèle conceptuel, spatialisé et évènementiel qui simule en temps de pluie à un pas de temps infra-horaire les apports en eau douce et en *Escherichia coli* du bassin versant superficiel aux exutoires lagunaires.

Pour chaque sous-bassin secondaire, les productions des versants en termes d'écoulement et d'apports diffus en bactéries (lessivage des zones rurales et urbaines) sont calculées et injectées au niveau des nœuds exutoires.

Dans les biefs de rivières, des nœuds intermédiaires ont été ajoutés, pour y injecter les apports ponctuels en eau et en bactéries (exemple : rejet de station d'épuration, rejet de poste de relevage). Dans chaque tronçon de cours d'eau, les transferts des écoulements et des bactéries sont calculés.

Pour chaque processus modélisé, on s'est attaché à estimer les incertitudes associées, afin de mieux appréhender les limites de la modélisation.

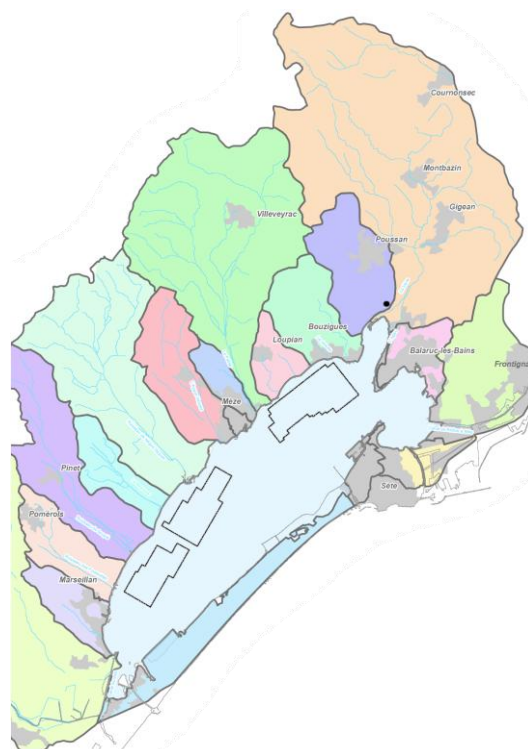


Figure 1 : bassin versant de la lagune de Thau – principaux sous-bassins versants

2.1 Principes de modélisation

Le tableau ci-après indique les principes de modélisation retenus pour chaque processus représenté.

Processus	Principes de modélisation
Pluie-débit	<ul style="list-style-type: none"> • Découpage en sous-bassins versants, 3 types de bassins : urbain, rural, mixte • Modèle événementiel, pas de temps infra-horaire • Fonction de production : modèle du Soil Conservation Service (SCS) • Fonction de transfert : modèle de Nash (réservoirs linéaires en cascade) • Propagation en rivière : Muskingum
Déversements des réseaux eaux usées et unitaires	<ul style="list-style-type: none"> • Modélisation des 8 chaînes de postes de relevage (PR) présentant des déversements en période de pluie (68 PR modélisés) • Prise en compte du nombre de pompes et de leur capacité maximale, de la taille de la bête et des niveaux d'arrêt-démarrage des pompes, des débits d'eaux usées et d'eaux parasites de temps sec, de la surface active • Modèle détaillé existant pour le réseau unitaire de la Ville de Sète • Pollution déversée estimée en tenant compte de la dilution des eaux usées, eaux de pluie et eaux parasites.
Lessivage urbain et rural	<ul style="list-style-type: none"> • 2 phénomènes modélisés : accumulation se produisant pendant la période sèche précédant la pluie, sur la surface du bassin versant et dans le réseau qui le draine et reprise (lessivage, entraînement, érosion) pendant la pluie • Facteur d'accumulation prenant en compte la production journalière des espèces présentes sur le bassin ainsi que l'efficacité et la fréquence du nettoyage. La production journalière de chaque espèce animale a été estimée en appliquant un ratio par rapport à la production humaine [18] [20] [22]

	<ul style="list-style-type: none"> • Un bruit de fond a été pris en compte pour le lessivage rural [19]
Rejets des stations d'épuration (STEP)	<ul style="list-style-type: none"> • Relations empiriques entre l'antécédent pluviométrique et le débit sortant d'une part et la concentration sortante en <i>E. coli</i> d'autre part [16] • Différenciation entre temps sec et temps de pluie. Le flux de temps sec est trop faible pour atteindre l'étang mais alimente les stocks-rivières • Relations intégrant le temps de réponse (décalage entre la pluie et sa répercussion sur le débit et la concentration en sortie de station) de 1 à 3 jours selon la station ainsi que le seuil de réactivité (cumul de pluie à partir duquel on note une augmentation significative des flux en sortie), les valeurs maximales retenues correspondant aux valeurs maximales observées
Relargage des stocks-rivières	<ul style="list-style-type: none"> • Stock de bactéries calculé en considérant l'apport journalier de temps sec en sortie de STEP (distinction entre été et hiver) en dissociant les bactéries attachées aux MES et les bactéries libres dans la colonne d'eau [19] • Evolution du stock régie par une cinétique de mortalité du 1^{er} ordre avec un temps de survie pris égal à 120 jours [15] • Phénomène d'autoépuration dans la rivière (avec T90=100h), l'écoulement étant insuffisant pour mettre les particules en mouvement (<100 l/s) • En période de pluie, la variable de forçage de l'érosion du stock est le débit du cours d'eau avec un débit seuil de début d'érosion pris égal à 100 l/s [2] [8], et un coefficient d'érosion de 1500 [1000 ; 2000] (100 l/s)⁻¹, paramètre-clé du calage. Les bactéries apportées en temps de pluie ne participent pas au stock.

2.2 Calage des modèles

Les problématiques et les résultats du calage pour chaque processus modélisé sont présentés :

Résultats du calage	Exemple de résultat
<p>Pluie-débit</p> <ul style="list-style-type: none"> • Critère de Nash moyen sur l'ensemble des points de calage de 60% (résultat médiocre dû notamment au fait que les évènements suivis lors de la campagne de mesure du projet sont relativement faibles en terme d'intensité pluviométrique). • Modèle calé plutôt en « débit de pointe » qu'en « volume d'écoulement » suite aux tests faits par l'Ifremer avec le modèle « lagune » 	<p><i>Fig. 2 : Graphique de calage du modèle pluie-débit</i></p>
<p>Déversements réseaux EU et unitaires (PR)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le calage a essentiellement consisté à obtenir une cohérence entre les périodes de déversements calculées et les durées d'alarme haute ou de déversements observées, en ajustant la valeur de la surface active. Les durées d'alarme haute ne sont pas toujours significatives d'un déversement. • Pour les réseaux unitaires (Sète, centre-ville de Marseillan), la surface active est a priori mieux connue. De plus sur ces réseaux, des évaluations des débits déversés sont maintenant effectuées, mais n'étaient pas disponibles pour les premières campagnes. 	<p><i>Fig. 3 : Graphique de déversements potentiels PR</i></p>

Résultats du calage	Exemple de résultat																																												
<p>Lessivage urbain</p> <ul style="list-style-type: none"> Le bassin versant du Bourbou à Loupian (P31bis) a été utilisé comme bassin pilote (mesures spécifiques réalisées). Les mesures de suivi ponctuel réalisées sur d'autres sous-bassins pluviaux ont permis de préciser le calage (notamment les données mesurées sur le bassin des Fontailles et au niveau des émissaires pluviaux des ports de Marseillan et Mèze). 	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Observation</th> <th>Simulation</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Apport en <i>E. coli</i> total (log[u])</td> <td>11.90</td> <td>11.93</td> </tr> <tr> <td>Flux maximum en <i>E. coli</i> (cf.u)</td> <td>1.98E+07</td> <td>2.01E+07</td> </tr> </tbody> </table> <p>Fig. 4 : Graphique de calage du lessivage urbain</p>		Observation	Simulation	Apport en <i>E. coli</i> total (log[u])	11.90	11.93	Flux maximum en <i>E. coli</i> (cf.u)	1.98E+07	2.01E+07																																			
	Observation	Simulation																																											
Apport en <i>E. coli</i> total (log[u])	11.90	11.93																																											
Flux maximum en <i>E. coli</i> (cf.u)	1.98E+07	2.01E+07																																											
<p>Lessivage rural</p> <ul style="list-style-type: none"> Bassins versants du Nègues-Vacques (P1) et du Rural de Marseillan (P140) utilisés comme bassins-tests pour estimer les paramètres de calage du modèle. <p>Le calage est globalement difficile, sur l'exemple ci-contre, les mesures ne sont pas effectuées en continu et certains pics peuvent être occultés. Néanmoins, l'ordre de grandeur des apports microbiologiques est bien reproduit.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Observation</th> <th>Simulation</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Apport en <i>E. coli</i> total (log[u])</td> <td>9.80</td> <td>9.69</td> </tr> <tr> <td>Flux maximum en <i>E. coli</i> (cf.u)</td> <td>1.27E+05</td> <td>1.10E+05</td> </tr> </tbody> </table> <p>Fig. 5 : Graphique de calage du lessivage rural</p>		Observation	Simulation	Apport en <i>E. coli</i> total (log[u])	9.80	9.69	Flux maximum en <i>E. coli</i> (cf.u)	1.27E+05	1.10E+05																																			
	Observation	Simulation																																											
Apport en <i>E. coli</i> total (log[u])	9.80	9.69																																											
Flux maximum en <i>E. coli</i> (cf.u)	1.27E+05	1.10E+05																																											
<p>Stations d'épuration</p> <p>Pour chaque station d'épuration, le modèle a été calé en débit et en concentration en <i>E. coli</i> pour chaque événement ayant dépassé le seuil pluviométrique entraînant une « réponse » de la STEP (augmentation sensible du flux en sortie).</p>	<p>Fig. 6 : Graphique de calage de rejet de STEP</p>																																												
<p>Stocks-rivière</p> <ul style="list-style-type: none"> La contribution des stocks-rivières est maximale pour la première crue d'automne suivant une longue période de temps [2] [8]. Or aucune crue de ce type n'a été mesurée pendant les campagnes OMEGA Thau. Les données disponibles pour ce type de crue concernent 3 crues de fin de période d'étiage suivies sur le bassin de la Vène (HydroSciences Montpellier). Le travail de modélisation réalisé sur les chaînes de PR du bassin de la Vène (en l'état au moment de chaque événement), les rejets de STEP, le lessivage urbain, le lessivage rural ont permis de fournir une estimation de ces flux et d'effectuer la comparaison par rapport à l'apport total mesuré (cf. tableau ci-contre). 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Évènement</th> <th>22 sept. 2003</th> <th>13-14 sept. 2004</th> <th>13-14 sept. 2006</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>durée de temps sec (j)</td> <td>103</td> <td>125</td> <td>227</td> </tr> <tr> <td>pluie bassin (mm)</td> <td>137</td> <td>121</td> <td>102</td> </tr> <tr> <td>débit de pointe (m3/s)</td> <td>13.4</td> <td>20.5</td> <td>13.0</td> </tr> <tr> <td>volume de crue (1000*m3)</td> <td>1646</td> <td>486</td> <td>401</td> </tr> <tr> <td>apport <i>E. coli</i> STEP simulé (log[u])</td> <td>13.4</td> <td>13.1</td> <td>13.0</td> </tr> <tr> <td>apport <i>E. coli</i> PR simulé (log[u])</td> <td>14.7</td> <td>14.4</td> <td>14.4</td> </tr> <tr> <td>apport <i>E. coli</i> Lessivage Urbain simulé (log[u])</td> <td>12.6</td> <td>12.3</td> <td>12.7</td> </tr> <tr> <td>apport <i>E. coli</i> Lessivage Rural simulé (log[u])</td> <td>12.2</td> <td>11.9</td> <td>12.3</td> </tr> <tr> <td>apport <i>E. coli</i> total simulé (log[u])</td> <td>14.9</td> <td>14.5</td> <td>14.4</td> </tr> <tr> <td>apport <i>E. coli</i> total mesuré (log[u])</td> <td>14.8</td> <td>14.2</td> <td>14.4</td> </tr> </tbody> </table> <p>Tab. 1 : Tentative de mise en évidence du relargage des stocks-rivières sur le bassin de la Vène pour les premières crues d'automne de septembre 2003, 2004 et 2006 .</p> <ul style="list-style-type: none"> La modélisation, sans prise en compte du relargage par les stocks-rivières, restituée de manière tout-à-fait satisfaisante les apports globaux mesurés à l'exutoire. 	Évènement	22 sept. 2003	13-14 sept. 2004	13-14 sept. 2006	durée de temps sec (j)	103	125	227	pluie bassin (mm)	137	121	102	débit de pointe (m3/s)	13.4	20.5	13.0	volume de crue (1000*m3)	1646	486	401	apport <i>E. coli</i> STEP simulé (log[u])	13.4	13.1	13.0	apport <i>E. coli</i> PR simulé (log[u])	14.7	14.4	14.4	apport <i>E. coli</i> Lessivage Urbain simulé (log[u])	12.6	12.3	12.7	apport <i>E. coli</i> Lessivage Rural simulé (log[u])	12.2	11.9	12.3	apport <i>E. coli</i> total simulé (log[u])	14.9	14.5	14.4	apport <i>E. coli</i> total mesuré (log[u])	14.8	14.2	14.4
Évènement	22 sept. 2003	13-14 sept. 2004	13-14 sept. 2006																																										
durée de temps sec (j)	103	125	227																																										
pluie bassin (mm)	137	121	102																																										
débit de pointe (m3/s)	13.4	20.5	13.0																																										
volume de crue (1000*m3)	1646	486	401																																										
apport <i>E. coli</i> STEP simulé (log[u])	13.4	13.1	13.0																																										
apport <i>E. coli</i> PR simulé (log[u])	14.7	14.4	14.4																																										
apport <i>E. coli</i> Lessivage Urbain simulé (log[u])	12.6	12.3	12.7																																										
apport <i>E. coli</i> Lessivage Rural simulé (log[u])	12.2	11.9	12.3																																										
apport <i>E. coli</i> total simulé (log[u])	14.9	14.5	14.4																																										
apport <i>E. coli</i> total mesuré (log[u])	14.8	14.2	14.4																																										

Résultats du calage	Exemple de résultat
<p>Au final, la modélisation du relargage par les stocks-rivières est rendue extrêmement difficile et se base uniquement sur les ordres de grandeur fournis dans la littérature [15], [16] et [17] en maximisant leur contribution et en supposant que les stocks sont alimentés uniquement par les rejets de stations d'épuration.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Les apports en E. coli par les déversements des réseaux d'assainissement (valeurs en rouge) masquent complètement les contributions des autres sources de pollution, ce qui ne permet pas de mettre en évidence l'importance du relargage par les stocks-rivières à l'exutoire.

Suite au calage des paramètres pour chaque processus, les mesures de suivi de flux globaux aux exutoires ont permis une harmonisation des paramètres et une vérification de la cohérence du calage à l'échelle globale du bassin de Thau. En effet, pour certains processus notamment le lessivage urbain et rural, peu de mesures représentatives d'une seule source de pollution sont disponibles.

Les figures 7 et 8 montrent la comparaison des pollutogrammes observés et calculés pour 2 points de suivi. Dans le cas de la figure 7, aucun rejet de PR n'est constaté, le pollutogramme est bien reproduit par les contributions des autres sources de pollution. Dans le cas de la figure 8, les rejets des PR masquent presque totalement les rejets des autres sources de pollution. Le pollutogramme total est correctement reproduit.

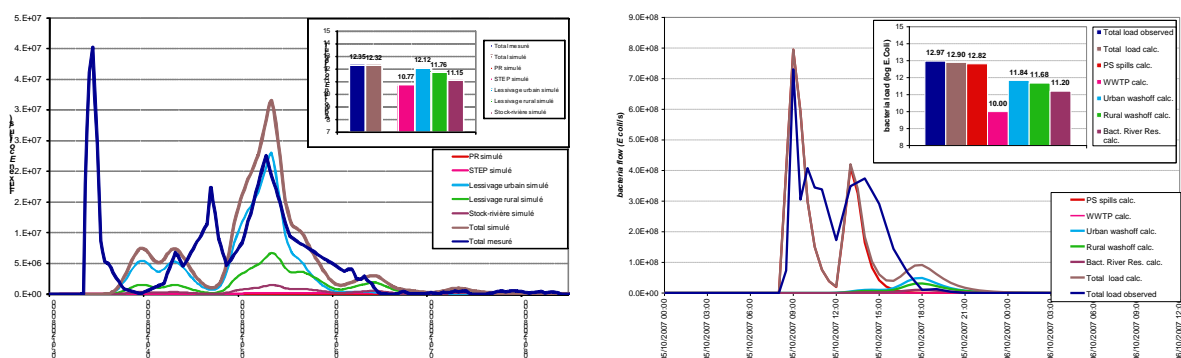


Fig. 7 et 8 : Graphiques de calage des apports en E. coli

Cette étape de calage, associée aux hypothèses nécessaires pour l'évaluation de certains paramètres nous a conduit à effectuer des tests de sensibilité de ces paramètres, afin d'évaluer les incertitudes associées à cette modélisation.

2.3 Evaluation des incertitudes

Le tableau ci-après résume, pour chaque processus, les principales sources d'incertitude et l'estimation qui peut en être faite.

Sources d'incertitude et évaluation des incertitudes
<p>Pluie-débit : On retient une incertitude d'environ 20% sur le débit de pointe et de 30% sur le volume.</p>
<p>Déversements PR réseaux EU et unitaires</p> <p>De nombreux facteurs sont source d'incertitudes pour la modélisation des déversements des PR :</p> <ul style="list-style-type: none"> manque fréquent d'informations de base telles que les volumes réels transités dans les réseaux (débits des pompes souvent basés sur les valeurs théoriques), durées réelles de déversement durant les campagnes inconnues pour une majorité de PR, la durée d'alarme haute constitue une borne supérieure (les durées de déversement calculées sont en moyenne égales à 20% des durées d'alarme haute constatées), variabilité des débits d'eaux usées (journée, saison) et des concentrations en <i>E. coli</i>. <p>L'incertitude est au moins de l'ordre de 0.5 à 1 log <i>E. coli</i>.</p>
<p>Lessivage urbain</p>

Sources d'incertitude et évaluation des incertitudes

Des tests de sensibilité ont été conduits en se plaçant dans les conditions de l'évènement de projet de période de retour 2 ans en période « hors saison » (durée de temps sec de 65 jours) et un bassin générant un apport en *E. coli* de 12.5 log[u]/j dans ces conditions (cas des bassins du Port de Mèze) :

- variation de +/-10% du coefficient d'entraînement : +/-0.1 log,
- variation de +/-10% du coefficient de disparition : +/-0.1 log,
- variation de +/-10% sur le pourcentage d'efficacité de nettoyage : +/-0.2 log,
- passage d'une fréquence de nettoyage d'une fois tous les 3 jours à une fois par jour : -0.4 log,
- passage d'une durée de temps sec de 65 jours (hiver) à 120 jours (été) : +0.5 log.

Compte tenu de cette analyse, on peut considérer que les estimations fournies par la modélisation du lessivage urbain sont valables à ± 0.8 log près.

Lessivage rural

Des tests de sensibilité ont été conduits en se plaçant dans les conditions de l'évènement de projet de période de retour 2 ans en période « hors saison » (durée de temps sec de 65 jours, cf. 6.1) et un bassin générant un apport en *E coli* d'environ 10 log[u]/j dans ces conditions. Compte tenu de cette analyse, on peut considérer que les estimations fournies par la modélisation du lessivage rural sont valables à ± 1.5 log près.

Stations d'épuration

On estime l'incertitude sur les rejets de stations d'épuration à ± 0.5 log.

Stocks-rivière

Des tests de sensibilité ont été conduits en se plaçant dans les conditions de l'évènement de projet de période de retour 2 ans en période estivale (durée de temps sec de 115 jours) et un bassin générant un apport en *E coli* d'environ 13 log[u]/j. Dans ces conditions (cas du bassin de la Vène) :

- variation de +/-10% du coefficient d'entraînement : +/-0.01 log,
- passage d'une durée de temps sec de 120 jours (été) à 65 jours (hiver) : -0.6 log,
- passage d'un T90 de 100h à 5h pour les particules libres : -0.3 log,
- passage d'une durée de survie de 120 jours (pour 5°C) à 30 jours (pour 20°C) pour les particules attachées : -0.8 log.

Compte tenu de cette analyse, on peut considérer que les valeurs fournies par la modélisation pour le relargage des stocks-rivières peuvent conduire à une surestimation jusqu'à 2 log.

2.4 Limites des modèles

Les modèles mis en œuvre se sont basés à la fois sur des données, de natures diverses, et sur les informations bibliographiques disponibles.

Les phénomènes en jeu sont complexes, et certains encore mal connus font l'objet de recherches, en particulier l'évolution des bactéries dans les sédiments des rivières. Le contexte méditerranéen est également très spécifique, et doit être pris en compte lors de l'application de certains modèles issus de la littérature.

De plus, certains événements aléatoires non négligeables tels que des pannes sur des postes de relevage, ou des stationnements temporaires d'oiseaux viennent perturber les modes de fonctionnement « nominaux » des différentes sources de pollution.

Dans le cadre du programme Omega Thau, les campagnes de mesure ont apporté des éléments précieux de connaissance qui ont pu être exploités pour le calage des modèles, cependant les événements mesurés ont été de faible importance (inférieurs à la période de retour 2 ans), d'où une extrapolation nécessaire pour évaluer les comportements pour des événements de période de retour 2 et 5 ans. De plus, les événements les plus forts des campagnes se situent quasiment tous en hiver

avec une période sèche antérieure relativement courte, ce qui entraîne des incertitudes sur les paramètres de l'accumulation en période sèche pour le lessivage, tant urbain que rural, et sur la variation des paramètres hydrobiologiques selon la saison. La crue d'automne de septembre 2006 (données sur la Vène dans le cadre du PNEC, 2009), ainsi que les deux crues plus anciennes de septembre 2003 et septembre 2004 ([1] et [2]) ont heureusement pu être exploitées pour l'évaluation des processus de stock-rivières, mais les déversements des PR de la chaîne de Gigean étaient encore importants à cette époque, et les phénomènes purement liés aux stocks-rivières sont masqués par ces déversements.

Le suivi a concerné principalement les exutoires, complétés par un suivi des STEP (mais au pas de temps journalier), et par des mesures sur certains sous-bassins et points particuliers. Ces mesures qui ciblaient le suivi d'une source particulière de pollution ont pu être utilement exploitées. Par exemple, le suivi du sous-bassin versant de Loupian a été utilisé pour le calage du lessivage urbain, mais là aussi, les épisodes observés utilisables sont faibles au regard de l'extrapolation nécessaire pour des pluies plus intenses de période de retour 2 ans et 5 ans.

Des mesures spatialement plus denses et sur de plus longues périodes d'observation couvrant différentes situations météorologiques auraient permis de mieux sectoriser certains comportements et de différencier certains flux de pollution pour clarifier les apports des différents sous-bassins versants (par exemple, les relargages de stocks-rivières et les déversements de certains PR).

De plus, certaines données de base nécessaires pour évaluer les déversements des réseaux d'assainissement collectif manquent souvent de précision, alors qu'il s'agit souvent d'une source de pollution prépondérante. Le suivi de ces réseaux est en amélioration constante de la part des gestionnaires, et des données plus précises ont pu être exploitées pour certains PR.

Des analyses de sensibilité ont par conséquent été réalisées pour l'interprétation des résultats, et notamment la comparaison des flux de pollution provenant des différentes sources.

3 APPLICATION ET RESULTATS

3.1 Evaluation des pollutions pour les pluies de projet

Les modèles ont été mis en œuvre pour estimer les hydrogrammes et pollutogrammes aux exutoires (points d'entrée dans la lagune) pour les pluies de projet de période de retour 2 ans et 5 ans. Les périodes hors saison (octobre à mai) et saison estivale (juin à septembre) ont été distinguées du fait de la variation importante des pollutions générées par les processus de lessivage et de relargage des stocks-rivière entre ces deux périodes. La durée de temps sec précédant la pluie est en effet un facteur déterminant pour l'estimation de ces pollutions.

Les tableaux 2 et 3 fournissent les apports journaliers de pollution microbiologique estimées pour chaque source de pollution, ainsi que les valeurs totales, en Log *E. coli*.

3.2 Hiérarchisation des sources de pollution sur le bassin versant

La hiérarchisation des différentes sources de pollution bactériologique en temps de pluie par exutoire met en évidence la prépondérance de la pollution générée par les PR, pour la majorité des exutoires, sauf pour les secteurs où des centres urbains importants apportent une pollution due au lessivage urbain prépondérante (Balaruc et Sète – Ile de Thau). Ensuite, les sources de pollution classées globalement par ordre d'importance décroissante sont les STEP, le lessivage urbain, les rejets ANC et campings, le lessivage rural et le relargage des stock-rivières. Selon les exutoires, ce classement peut cependant varier, mais les rejets des PR représentent souvent plus de 80% de la pollution rejetée.

Une distinction a été faite entre période estivale et période « hors saison », pour tenir compte de la variation importante des rejets du lessivage urbain et du relargage des stock-rivières entre ces 2 situations. En période estivale, les rejets dus au lessivage urbain sont plus importants, et s'approchent pour certains exutoires des rejets des déversements des PR, qui restent cependant presque toujours prépondérants. L'estimation de la pollution due au relargage des stock-rivières les place souvent en 2ème ou 3ème position en période estivale.

En période « hors saison », les rejets des stations d'épuration en temps de pluie sont souvent du même ordre de grandeur que les rejets dus au lessivage urbain, et se placent pour certains exutoires

en seconde position (seuls 6 exutoires sur 20 sont concernés par des rejets de STEP).

Entre les pluies de projet de période de retour 2 ans et 5 ans, l'accroissement des rejets de pollution est relativement faible : en moyenne +0.1 à +0.2 log *E. coli*, pour les rejets des PR et le lessivage urbain. L'accroissement le plus fort est celui des rejets dus aux STEP : +0.4 à +0.5 log *E. coli*.

T = 2 ans Hors saison	Apport en <i>E. coli</i> (log[u]/j)							
	Rejets stations d'épuration	Déversements réseau EU	Rejets ANC & camping	Rejets industriels	Lessivage urbain	Lessivage rural	Relargage stocks-rivières	Total
Grau du XV	-	13.8	13.2	12.5	12.3	10.1	-	13.9
Canal du Midi	-	14.5	-	-	12.7	10.8	-	14.5
Port de Marseillan	-	13.8	-	-	12.6	10.0	-	13.9
Fontanilles	-	13.1	11.6	-	11.5	10.1	-	13.1
Soupié	12.2	13.4	11.0	10.7	11.1	10.5	11.1	13.4
Mayroual	-	-	11.4	10.7	-	10.0	-	11.5
Nègues-Vacques	9.3	-	-	-	11.0	10.8	8.0	11.2
Aygues-Vacques	11.7	-	-	-	12.4	10.5	10.4	12.5
Port de Mèze	-	13.1	-	-	12.5	-	-	13.2
Sesquier	-	13.7	-	-	12.5	9.9	-	13.7
Pallas	11.9	13.8	12.1	-	11.8	11.4	11.2	13.8
Bourbou	-	13.1	-	-	11.3	9.5	-	13.1
Joncas	-	12.5	-	-	11.6	10.2	-	12.5
Moulières	12.5	13.4	-	-	12.2	11.1	11.3	13.5
Vène	12.4	13.9	12.9	-	12.3	11.6	11.7	14.0
Pointe de Balaruc	-	-	-	-	12.0	-	-	12.0
Pasteur	-	12.5	-	-	12.7	10.0	-	12.9
Canal du Rhône à Sète	-	13.9	12.1	-	12.6	10.7	-	14.0
La Plagette	-	14.8	12.1	12.2	14.0	-	-	14.9
Ile de Thau	-	13.5	-	-	13.7	-	-	13.9
TOTAL	12.9	15.2	13.5	12.7	14.2	12.0	12.0	15.2

T = 2 ans Saison estivale	Apport en <i>E. coli</i> (log[u]/j)							
	Rejets stations d'épuration	Déversements réseau EU	Rejets ANC & camping	Rejets industriels	Lessivage urbain	Lessivage rural	Relargage stocks-rivières	Total
Grau du XV	-	13.8	13.2	12.5	13.4	10.7	-	14.0
Canal du Midi	-	14.5	-	-	13.8	11.4	-	14.6
Port de Marseillan	-	13.8	-	-	13.7	10.5	-	14.1
Fontanilles	-	13.1	11.6	-	11.9	10.7	-	13.1
Soupié	12.2	13.4	11.0	10.7	11.5	11.0	12.2	13.5
Mayroual	-	-	11.4	10.7	-	10.5	-	11.5
Nègues-Vacques	9.3	-	-	-	11.3	11.3	9.2	11.6
Aygues-Vacques	11.7	-	-	-	12.8	11.0	11.6	12.9
Port de Mèze	-	13.1	-	-	13.0	-	-	13.3
Sesquier	-	13.7	-	-	12.9	10.5	-	13.8
Pallas	11.9	13.8	12.1	-	12.1	12.0	12.5	13.9
Bourbou	-	13.1	-	-	11.8	10.1	-	13.1
Joncas	-	12.5	-	-	12.0	10.8	-	12.6
Moulières	12.5	13.4	-	-	12.6	11.6	12.5	13.5
Vène	12.3	13.9	12.9	-	12.6	12.2	13.0	14.1
Pointe de Balaruc	-	-	-	-	12.9	-	-	12.9
Pasteur	-	12.5	-	-	13.6	10.6	-	13.6
Canal du Rhône à Sète	-	13.9	12.1	-	13.4	11.2	-	14.1
La Plagette	-	14.8	12.1	12.2	14.5	-	-	15.0
Ile de Thau	-	13.5	-	-	14.2	-	-	14.3
TOTAL	12.9	15.2	13.5	12.7	14.8	12.6	13.3	15.3

Tab. 2 et 3 : Apports en *E. coli* à la lagune pour une pluie de période de retour 2 ans.

Il est également intéressant de constater que les différences en termes d'apports en *E. coli* sont faibles entre les résultats obtenus pour les événements de périodes de retour 2 ans et 5 ans (+0.2 log environ), malgré une augmentation importante des apports en eau douce (+50% en moyenne). Ceci peut s'expliquer par une durée de la crue peu différente donc des quantités d'*E. coli* relativement constantes et une durée de lessivage efficace peu variable.

Malgré les faibles différences en termes d'apports en *E. coli*, le traitement de la problématique sera donc plus ardu pour l'évènement quinquennal que pour l'évènement biennal du fait de l'importance accrue des volumes d'eau à stocker ou à traiter.

4 CONCLUSIONS

L'analyse des incertitudes évaluées pour chaque processus ne conduit pas à remettre en cause fondamentalement ces conclusions, cependant les écarts relatifs peuvent être modifiés, notamment pour les sources de pollution les plus importantes pour lesquelles les écarts sont relativement faibles pour certains exutoires (notamment rejets de PR et lessivage urbain en période estivale pour les exutoires de Sète, Port de Mèze, Port de Marseillan et Grau du XV).

Un point important est également à souligner : la hiérarchisation finale des sources de pollution vis à vis de la lagune doit prendre en compte la sensibilité de chaque exutoire vis à vis de la pollution des zones conchylicoles. Pour cela, un croisement est en cours entre les résultats du modèle lagune (simulation des hydrogrammes des pluies de projet et détermination des seuils de contamination pour

chaque exutoire ou chaque ensemble d'exutoires), et les résultats des modèles « bassin versant ». Ainsi, certains exutoires apportant des quantités importantes de pollution, ne seront peut-être pas prioritaires dans le programme de travaux du fait de leur faible impact sur la contamination microbiologique des zones conchylicoles.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Grillot Christine, Décembre 2006. *Mémoire de Thèse. Université Montpellier 2. Fonctionnement hydrologique et dynamique des nutriments d'une rivière intermittente en étiage et en crue* : 294 p.
- [2] Chu Yin, Octobre 2006. *Mémoire de Thèse. Université de Montpellier 2. Flux de polluants en crue sur des petits bassins versants côtiers méditerranéens. Sources, estimations et modélisation* : 166 p.
- [3] Alric Renaud, Septembre 2006. *Mémoire de Thèse. Université de Montpellier 2. Analyse comparée des processus d'infiltration et des caractéristiques hydriques des sols du bassin versant de la Vène*
- [4] David Arthur, 2005. *Mémoire de DEA. Sciences de l'Eau dans l'Environnement Continental. Université de Montpellier 2. Processus d'accumulation et de remobilisation de nutriments dans les sédiments d'une rivière temporaire en étiage* : 66 p.
- [5] Jouret Thomas, 2004. *Mémoire de DEA. Sciences de l'Eau dans l'Environnement Continental. Université de Montpellier 2. Etude des flux de pollution dans une rivière temporaire en milieu méditerranéen* : 90 p.
- [6] Payraudeau Sylvain, Mai 2002. *Mémoire de Thèse. Université de Montpellier 2.. Modélisation distribuée des flux d'azote sur des petits bassins versants méditerranéens* : 450 p.
- [7] Chunbin Ge, 1988. *Mémoire de Thèse. Université de Montpellier 2. Contribution à la modélisation physico-chimique de l'étang de Thau* : 324 p.
- [8] Tournoud M.-G., Chahinian N., Perrin J.-L., Picot B., Septembre 2008. *13th World Water Congress, Montpellier. Coupled water flow and quality modelling of an intermittent French river : The Vène* : 15 p.
- [9] Tournoud M.-G., Perrin J.-L., Picot B., Salles C., Got P., Caro A., Rodier C., Grillot C., Chu Y., Septembre 2008. *13th World Water Congress, Montpellier. Impact of the biological behaviour on pollutant dynamics in an intermittent Mediterranean River (Vène, France)* : 12 p.
- [10] Loubersac L., Do Chi T., Fiandrino A., et al., 2007. *Transitional Waters Monographs. Microbial contamination and management scenarios in a Mediterranean coastal lagoon (Etang de Thau, France): application of a Decision Support System within the Integrated Coastal Zone Management context* : p.107-127.
- [11] Chu Y., Tournoud M.-G., Perrin J.-L., Picot B., Got P., Caro A., Trousselier M., 2006. Soumis à Water Research. *Bacterial contamination in Mediterranean coastal rivers : low flow and floods* : 15 p.
- [12] Chu Y., Tournoud M.-G., Got P., Salles C., Trousselier M., 2006. Soumis à Water Research. *Bacterial loads during flood events in Mediterranean coastal rivers* : 15 p.
- [13] Martin Plus, Isabelle La Jeunesse, Fayçal Bouraouic, Jose-Manuel Zaldivard, Annie Chapellee and Pascal Lazuref, Mars 2006. *Ecological Modelling. Modelling water discharges and nitrogen inputs into a Mediterranean lagoon Impact on the primary production* : p. 69-89.
- [14] Salles C., et al., 2003. *Congrès international de l'IWA « Diffusion Pollution, Dublin. Diffuse and point source pollution at catchment scale : a statistical quantifying tool* : p. 99-104
- [15] Got P., Caro A., Devèze M., Tournoud M.G., Perrin J.L., Bancon C., Trousselier M., 2007. *Accumulation et survie des coliformes thermotolérants dans les sédiments d'une rivière La Vène, principal affluent du bassin versant de l'étang de Thau.*
- [16] Chocat B., 1997. *Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement.* Technique et Documentation, Londres, New York, Paris.
- [17] Garcia-Armisen T., 2006. *Etude de la dynamique des Escherichia coli dans les rivières du bassin de la Seine.*
- [18] Bougeard M., Dupont S., Gnouma R., Le Saux J.C., Pommepuy M., 2008. Définition d'une méthodologie de suivi des contaminations fécales du bassin versant à la mer.
- [19] Servais P., Billen G., Garcia-Armisen T., George I., Goncalves A., Thibert S., 2009. *La contamination microbienne du bassin de la Seine.*
- [20] Geldreich E.E., 1966. *Sanitary significance of fecal coliforms in environment.* Federal Water Pollution Control Administration Publications W.P.
- [21] Wilkinson J., Jenkins A., Wyer M., Kay D., 1995. Modelling fecal coliform concentrations in streams. Institute of Hydrology, Report n°127
- [22] Fujioka M., Jaynes J.B., Goto T., 1995. *Early even-skipped stripes act as morphogenetic gradients at the single cell level to establish engrailed expression.*
- [23] Liu Y., Soonthornnonda P., Li J., Christensen E. R., 2009. *Stormwater pollution characterized by GIS determined source areas and runoff volumes.* Environ. Pollut.