



**Modélisation des Contaminations bactériennes
d'Origine fécale du Golfe d'Aigues-Mortes en vue
d'une gestion de risques en temps réel
MICROGAM**

Programme Liteau III
Rapport scientifique final – Partie 4
Synthèse, conclusions générales, perspectives

Patrick MONFORT, Responsable scientifique
Equipe « Pathogènes et Environnements »,
UMR N°5119 Université Montpellier 2 & 1 – CNRS – IRD - Ifremer
« Ecologie des Systèmes Marins Côtiers ».

N° de contrat : 0001138
Date du contrat : 26/12/2007

20 juin 2012

**Modélisation des Contaminations bactériennes
d'Origine fécale du Golfe d'Aigues-Mortes en vue
d'une gestion de risques en temps réel
MICROGAM**

**Programme Liteau III
Rapport scientifique final – Partie 4**

Synthèse, conclusions générales, perspectives

Patrick MONFORT, Responsable scientifique

UMR N°5119 Université Montpellier 2 & 1 – CNRS – IRD - Ifremer « Ecologie des Systèmes Marins Côtiers »

Yann LERREDE, UMR 5243 UM2 CNRS « GéoSciences Montpellier »

Marie-George TOURNOUD, UMR 5569 UNIVERSITE MONTPELLIER 2 & 1 CNRS IRD « HydroSciences Montpellier »

François VALETTE, UMR 5474 UM1 CNRS SupAgro INRA « LAMETA - Laboratoire Montpelliérain d'Economie Théorique et Appliquée »

Table des matières

1. <i>Le projet MICROGAM</i>	4
1.1. Le contexte.....	4
1.2. La demande sociétale.....	5
1.3. La démarche scientifique et le rapport avec les acteurs.....	5
2. <i>Synthèse des résultats</i>	7
2.1. Approfondir les connaissances sur le fonctionnement hydrodynamique du GAM – Evaluer la contamination du GAM et coupler le modèle hydrodynamique du GAM au modèle biologique de survie d’ <i>E. coli</i>	7
2.2. Déterminer et quantifier les flux contaminants microbiens aux moyens des deux indicateurs de contaminations fécales (<i>E. coli</i> et Entérocoques intestinaux) du bassin versant du GAM.	8
2.3. Relier les flux microbiens (bassin versant et émissaire) aux conditions météorologiques caractéristiques de la région.	11
2.4. Utiliser le modèle hydrodynamique du GAM pour simuler la diffusion des contaminations microbiennes à partir des flux entrants et suivant différents scénarios météorologiques caractéristiques de la région.	12
2.5. Utiliser les informations obtenues pour contribuer à établir le profil des eaux de baignade du littoral du GAM.....	13
2.6. Analyser les enjeux de la contamination microbienne.....	14
2.7. Evaluer la valeur économique de la qualité des eaux de baignade et évaluer les impacts des pollutions microbiennes sur l’économie	16
2.7.1. Etablir l’état des lieux de l’économie locale, évaluer les enjeux macro-économiques à long terme	17
3. <i>Conclusions générales</i>	19
4. <i>Perspectives : Création d’un Observatoire Hommes-Milieus</i>	21

1. Le projet MICROGAM

Le programme de recherche MICROGAM a été réalisé dans un contexte environnemental particulièrement complexe alors que la question centrale sur l'évaluation des contaminations bactériennes d'origine fécale du littoral du Golfe d'Aigues-Mortes (GAM) pouvait être considérée comme « banale » au vu des nombreuses études sur cette question déjà réalisées sur le littoral français méditerranéen ou atlantique par Ifremer ou des laboratoires universitaires/CNRS, notamment proche du Golfe d'Aigues-Mortes, comme l'étang de Thau. La complexité à la fois du bassin versant et de ses exutoires à la mer, du littoral lagunaire, des rapports entre les acteurs politiques, associatifs et administratifs (d'Etat ou des collectivités territoriales) et de la situation économique touristique ont donné au programme MICROGAM des problématiques scientifiques originales aussi bien en écologie microbienne, en hydrologie, en océanographie qu'en sciences sociales et humaines.

1.1. Le contexte

L'hydro-système :

Le Golfe d'Aigues-Mortes (GAM) est un espace maritime compris entre la Pointe de l'Espiguette, à l'Est, et le Cap de Sète, à l'Ouest, bordant un linéaire terrestre côtier de plus d'une vingtaine de kilomètres qui fait face à une large plateforme continentale peu profonde. Cette portion côtière est caractérisée par des formations littorales qui prennent souvent la forme de lidos de sables fins séparant les eaux marines des eaux lagunaires.

[Le site étudié est particulièrement complexe sur le plan hydrologique.](#) En effet, le bassin versant du Golfe d'Aigues-Mortes est constitué de nombreux fleuves côtiers dont certains prennent leur source dans le massif cévenole, et qui traversent les lagunes côtières avant de se jeter en mer. Ces lagunes communiquent avec la mer par des canaux appelés « graus ». Le canal du Rhône à Sète qui a été creusé au 19^{ème} siècle, traverse les lagunes, les mettant en communication entre elles et entre les fleuves côtiers canalisés (canal du Lez à Palavas, canal du Vidourle et du Vistre au Grau du Roi). Les fleuves côtiers sont soumis au régime de pluie méditerranéen caractérisé notamment par de fortes pluies responsables de crues brutales en fin d'été et en automne. Ces fortes orages de fin d'été et d'automne ont notamment lieu lors d'épisodes dits cévenoles durant lesquelles les entrées d'air maritime très chargées en humidité alimentent des pluies intenses au-dessus des Cévennes.

Le contexte économique :

Le littoral du Golfe d'Aigues-Mortes est caractérisé par le développement de stations balnéaires et plaisancières depuis les années 1960 que sont la Grande Motte et Port Camargue, créées *ex nihilo*. La dynamique touristique ainsi créée s'est répercutée sur les petites cités littorales préexistantes du Grau du Roi, de Carnon-Mauguio et de Palavas les Flots. A la différence d'autres littoraux, les villes d'importances sont situées à l'intérieur des terres (Montpellier, Nîmes).

Dans cette zone côtière, les périmètres conchylicoles, parcs de récifs immergés, gisements coquillers et petits métiers de la pêche, partagent l'espace avec 31 plages, 6 ports de plaisance totalisant 8160 anneaux d'amarrage et divers hébergements de centres de voiles, 10 sites de plongée sous-marine, 11 spots de windsurf-kitesurf-surf, 4 bases d'aviron de mer et kayak de mer. [Cette cohabitation mobilise une population de plaisanciers/estivants pouvant atteindre 300 000 habitants en pic de fréquentation. Premier contributeur de l'économie locale, le tourisme marin du Golfe d'Aigues-Mortes](#) repose sur la qualité du littoral côtier, de ses plages et de ses eaux de baignade qui sont exposés à des pollutions issues des activités sur le bassin versant continental ainsi que sur la bande côtière littorale.

Le contexte social et politique :

Le contexte social de la région languedocienne est caractérisé par l'activité viticole de l'intérieur des terres qui subit une crise importante, se traduisant par un changement d'usage des terres, par les activités de pêche et d'élevage conchylicole, par les activités touristiques du littoral, et enfin par les activités essentiellement tertiaires des agglomérations de Montpellier et de Nîmes. La région languedocienne est de plus marquée par une forte expansion de sa population et donc de l'habitat et des habitations, aussi bien dans l'agglomération de Montpellier, que dans l'ensemble de l'intérieur des terres.

Cette structuration est à l'origine de conflits d'usage ou de mauvaises perceptions des politiques publiques qui accompagnent ces changements structurels des activités économiques. Ces conflits, quel qu'en soient les origines, sont aussi portés par les acteurs politiques et associatifs.

Ainsi, la couleur politique des communes du littoral du GAM est différente de celle majoritaire dans la région Languedoc-Roussillon (Ville de Montpellier, Agglomération de Montpellier, Conseils généraux de l'Hérault et du Gard, Région Languedoc-Roussillon). [Cette situation d'opposition politique a été à l'origine du conflit entre, d'une part, les communes du littoral et les associations \(de pêcheurs, des usagers du GAM, de protection de la nature, ...\) et, d'autre part, l'Agglomération de Montpellier pour ce qui concerne le projet puis la réalisation de l'émissaire en mer de la station d'épuration de l'agglomération de Montpellier, Maéra.](#)

La nouvelle station d'épuration Maéra a été mise en service à l'automne 2005. Sa capacité de traitement est de 470 000 EH (équivalents habitants, plus que le nombre d'habitants de l'Agglomération). Les effluents sont rejetés au large de

Palavas à 30 m de profondeur par un émissaire sous-marin d'une longueur d'environ 10 km et muni à son extrémité d'un diffuseur. Le volume instantané rejeté varie de 1,5 m³/s en gravitaire à 4 m³/s par refoulement. Ce choix d'aménagement a été retenu sur le principe d'un important effet de dilution en mer et d'une configuration courantologique propre à minimiser les impacts polluants dans le milieu récepteur, d'après les études menées par Ifremer pour autorisation à ce rejet en mer. [Les recours portés par les associations ont différé de plus d'un an l'usage de l'émissaire, ce qui a conduit à continuer à rejeter les effluents de la nouvelle station dans le Lez, comme l'ancienne station.](#)

1.2. La demande sociétale

Il est important de comprendre la situation environnementale (écologique, sociétale et économique) complexe qui a mené à proposer le projet MICROGAM à Liteau III. En effet, lors de l'appel d'offre Liteau III, [ce sont les associations qui ont demandé aux laboratoires de recherche de proposer un projet pour évaluer les effets du rejet en mer de Maéra sur la qualité des eaux de baignade du littoral du GAM](#), bien qu'il existe un Comité de suivi du rejet en mer piloté par la Préfecture de l'Hérault. Les études d'impact imposées par arrêté préfectoral et menées par un bureau d'étude, et les mesures des paramètres physico-chimiques et microbiologiques menées par la station Maéra, sont présentées chaque année devant ce comité où siège l'ensemble des acteurs (services déconcentrés de l'Etat, collectivités territoriales concernées, associations, élus locaux).

L'originalité des programmes Liteau est de favoriser le rapprochement entre les scientifiques et l'ensemble des acteurs. [Quatre laboratoires de recherche ont relevé ce défi de proposer un programme de recherche à condition de dépasser la question initiale proposée par les associations](#), et de discuter des différentes préoccupations de gestion de la qualité sanitaire des eaux côtières du Golfe d'Aigues-Mortes (GAM) formulées d'une part par les associations d'usagers et d'autres parts par les collectivités territoriales.

- Est-ce que les apports contaminants microbiens du bassin versant du GAM (rejets dans les rivières et lagunes littorales, arrivées en mer par les embouchures, les graus et les ports, mise en place du rejet en mer de la station d'épuration de l'Agglomération de Montpellier) peuvent avoir une incidence sur la qualité des eaux côtières et sur leurs usages ? Quelles sont les sources contaminantes majoritairement responsables d'une éventuelle dégradation de la qualité sanitaire ? Quelles sont les influences des situations événementielles (orages) ?
- Est-ce que la nouvelle directive européenne sur les eaux de baignade peut changer le classement des sites balnéaires du GAM ? Peut-on commencer à déterminer les informations nécessaires à l'établissement des profils des eaux de baignade prévus dans cette directive ?
- Est-il possible d'avoir un outil d'aide à la décision qui permette d'appréhender des situations de crises (conditions météorologiques particulières) et/ou de comprendre les effets des différentes sources d'apports pour éventuellement mieux les gérer (par exemple en échelonnant des rejets grâce à des bassins tampons, ou en perfectionnant le traitement épuratoire de ces rejets) ?
- Peut-on définir une gestion prédictive spatio-temporelle de risques pour les différents usagers du GAM ?
- Quelles sont les conséquences d'une fermeture de plage ou d'une pollution microbienne de la zone littorale sur l'économie locale basée majoritairement sur le tourisme et sur l'élevage et la cueillette de coquillage ?

1.3. La démarche scientifique, le rapport avec les acteurs, les soutiens financiers

Les quatre laboratoires de recherche de Montpellier ont traduit la demande des associations par des questions de recherche dont les résultats sont résumés dans la suite de cette synthèse. [L'originalité du projet tient à la fois à la situation complexe de l'hydro-système étudié \(évaluation des flux bactériens des exutoires à la mer du bassin versant, fleuves côtiers et graus\), aux conditions climatiques méditerranéennes \(périodes sèches, périodes de fortes pluies causes de crues\), à la situation hydrodynamique du Golfe d'Aigues-Mortes et à l'affluence touristique estivale.](#)

Une telle étude dans un contexte si complexe ne pouvait se réaliser qu'en collaboration entre des microbiologistes écologistes, des hydrologues, des océanographes physiques et des économistes qui ont proposé de répondre aux questions suivantes :

- Approfondir les connaissances sur le fonctionnement hydrodynamique du GAM.
- Déterminer et quantifier les flux contaminants microbiens aux moyens des deux indicateurs de contaminations fécales (*E. coli* et Entérocoques) du bassin versant du GAM.
- Relier les flux microbiens (bassin versant et émissaire) aux conditions météorologiques caractéristiques de la région.
- Utiliser le modèle hydrodynamique du GAM pour simuler la diffusion des contaminations microbiennes à partir des flux entrants et suivant différents scénarios météorologiques caractéristiques de la région.
- Coupler le modèle hydrodynamique du GAM au modèle biologique de survie d'*E. coli*.
- Utiliser les informations obtenues pour contribuer à établir le profil des eaux de baignade du littoral du GAM.
- Établir l'état des lieux de l'économie locale et analyser les enjeux de la contamination microbienne, évaluer les enjeux macro-économiques à long terme
- Évaluer la valeur économique de la qualité des eaux de baignade et évaluer les impacts des pollutions microbiennes sur l'économie.

L'enjeu du programme MICROGAM, au delà de sa réalisation scientifique, a donc été de réunir l'ensemble des acteurs bien qu'Ifremer, l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, l'Agglomération de Montpellier et la Région Languedoc-Roussillon n'étaient pas, initialement, très favorables au projet MICROGAM du fait de la présence des associations « anti-émissaire » comme partenaires du projet. La persévérance des scientifiques à communiquer l'avancée du programme et les résultats obtenus et à lier des contacts personnels avec les différentes parties a permis de concrétiser un rapport de confiance entre tous les acteurs et de les réunir. Une réunion finale du comité de pilotage prévu au dernier trimestre 2012 pour restituer l'ensemble des résultats, devrait permettre une discussion constructive et des perspectives nouvelles pour l'ensemble des acteurs. Quelques unes des perspectives possibles sont présentées à la fin de ce document.

Ce dernier comité de pilotage devrait réunir les scientifiques des équipes participantes, les administrations et les collectivités territoriales concernées (DDASS 34, DIREN, DRE, DDAF, Agence de l'Eau, Conseil Général 34 et 30, Région Languedoc-Roussillon, Agglomération de Montpellier, Communauté de communes de l'Etang de l'Or, Ville du Grau du Roi, Ville de la Grande Motte, Ville de Palavas), les services du ministère en charge de l'Eau, la SDEI partenaire du projet, et les associations (CAPNUBAM et ARP).

Le projet MICROGAM est un programme ambitieux qui a nécessité des moyens humains et financiers importants. Afin de compléter les moyens financiers du ministère indispensables pour réaliser le projet (notamment pour instrumenter les sites étudiés), nous avons fait appel à des aides supplémentaires. Le financement final se compose de :

- Ministère MEEDDAT : **153 130 € TTC**
- Université Montpellier 2 : **20 000 € TTC**
- Région Languedoc-Roussillon (Financement ARPE) : **30 000 € HT**
- INEE (Institut Ecologie Environnement) du CNRS : deux ans de salaire CDD Ingénieur embauché de juin 2009 à mai 2011, soit **74 000 €** (salaire plus charge).

Soit une subvention total de **277 130 €** dont 55% du Ministère, 7,2% de l'UM2, 10,8% de la Région LR et 26,7% de l'INEE-CNRS.

MICROGAM a de plus bénéficié des campagnes océanographiques HYGAM financées par l'INSU (Institut des Sciences de l'Univers) du CNRS qui ont permis les mesures *in situ* lors de campagnes à la mer dans le Golfe d'Aigues-Mortes (4 campagnes en 2008 et 2 en 2009), à bord du NO Téthys II du CNRS.

Le projet MICROGAM n'a pu être réalisé sans la contribution d'un nombre important (et plus que prévu initialement) d'enseignants-chercheurs de l'université de Montpellier 2 et 1, de chercheurs du CNRS et d'ingénieurs et techniciens de l'université de Montpellier 2 et 1, du CNRS et de l'IRD. De nombreux étudiants ont réalisé leur stage dans le cadre des travaux de MICROGAM. Du personnel CDD a aussi largement contribué aux études. L'aide financière de l'INEE du CNRS a été indispensable pour le salaire d'un ingénieur en CDD. Des matériels complémentaires pour sortir sur le terrain appartenant au CNRS ou à l'IRD (véhicules, zodiacs, ADCP de surface, ...) ont permis de réaliser les campagnes de mesure sur le littoral. La disponibilité du navire océanographique de l'INSU a été indispensable pour réaliser les campagnes à la mer.

Il est important de souligner ici ces contributions en personnel. Sans eux et sans les aides complémentaires pour instrumenter le littoral, le projet MICROGAM ne pouvait être réalisé. Il est bien sûr évident que le financement Liteau était primordial pour financer MICROGAM. Mais il est clair que nous n'avions pas envisagé l'envergure de ce projet sur le terrain. Dans un tel cas, une telle proposition n'aurait sans doute pas vu le jour !

Sans vouloir calculer le coût réel du projet qui dépasse de loin le coût prévisionnel global (hors salaires de l'Etat ou salaires inclus), nous tenons à souligner l'importance des financements récurrents des laboratoires publics de recherche qui ont permis de réaliser ce programme. Sans eux, il ne sera plus possible à l'avenir d'envisager de telles études.

Enfin si l'aide financière de la Région était une nécessité absolue qui a permis d'investir dans du matériel automatisé de mesure et de prélèvement, il est regrettable que celle-ci ait refusé le soutien à une demande d'une allocation de Thèse classée prioritaire par l'Université Montpellier 2. La formation d'un étudiant par la recherche aurait été un élément valorisant supplémentaire à ce programme MICROGAM. La problématique du jeu des acteurs dans le contexte du littoral est sans doute la cause de ce refus.

2. Synthèse des résultats

Cette synthèse permet de donner l'essentiel des résultats qui répondent aux objectifs scientifiques proposés dans le programme MICROGAM. Les détails des informations acquises et des analyses sont dans les parties 1, 2 et 3 du rapport final.

2.1. Approfondir les connaissances sur le fonctionnement hydrodynamique du GAM – Evaluer la contamination du GAM et coupler le modèle hydrodynamique du GAM au modèle biologique de survie d'*E. coli*

L'équipe d'océanographie physique du laboratoire Géosciences avait initié des études de l'hydrodynamisme du Golfe d'Aigues-Mortes antérieures aux travaux de MICROGAM. Ces études, HYGAM (HYdrodynamique du Golfe d'Aigues-Mortes), financées notamment par l'INSU-CNRS, ont permis de connaître le fonctionnement hydrodynamique du GAM dans un contexte de régression du littoral sableux et de travaux de rechargement en sable du littoral.

Les financements supplémentaires obtenus auprès de l'Université Montpellier 2, ont permis de contribuer au financement du socle de mouillage de l'ADCP de fond mis à l'eau en 2008 à proximité de l'émissaire en mer de la station d'épuration Maéra, à 20 m de fond. Les mesures issues de cet appareil sont des données en continu de courants et de caractéristiques de houle.

Le modèle de circulation océanique côtière Symphonie a été mis à profit dans le projet MICROGAM, et a permis la mise en place du protocole de simulation numérique. Les entrées du modèle sont les flux atmosphériques, notamment les vents, les conditions aux limites ouvertes vers le large mais aussi les débits des fleuves. Le modèle permet de simuler l'évolution temporelle des courants sur une période donnée et sur la zone du GAM.

L'étape suivante a consisté à réaliser une simulation réaliste sur la période août-novembre 2008, grâce aux collaborations avec le laboratoire d'aérodynamique de Toulouse qui fournit les flux atmosphériques (issues du modèle Aladin de Météo-France) et les conditions aux limites ouvertes au large (issues de simulation Symphonie à plus grandes échelles). Les données acquises et synthétisées par l'équipe d'hydrologues du laboratoire HydroSciences dans le cadre du projet MICROGAM ont été utilisées pour simuler les débits des fleuves et dans les graus. Pour la période août-novembre 2008, les données *in-situ* ont été comparées aux résultats du modèle et ont permis d'obtenir une idée de la qualité de la simulation. Cette simulation hydrodynamique a alors été utilisée pour simuler la dispersion des effluents rejetés en mer pendant cette période.

MICROGAM a profité des campagnes à la mer HYGAM pour réaliser des mesures *in situ* des concentrations en coliformes thermo-tolérants (*E. coli*) et en streptocoques fécaux (Entérocoques intestinaux), et des paramètres océanographiques (courantologie, température, salinité). Ces données ont été utilisées pour tester le modèle de dispersion. Les mesures *in situ* des concentrations bactériennes ont été comparées aux résultats du modèle.

Les mesures microbiologiques réalisées à bord d'un navire océanographique par l'équipe de microbiologistes du laboratoire Ecosym, lors des campagnes HYGAM, montrent deux zones de contamination dans le GAM : au niveau de l'émissaire de Maéra, à 10km de la côte, et au niveau du littoral de Palavas à Port Camargue en face des exutoires du bassin versant.

Au niveau de l'émissaire, les valeurs mesurées dépendent de la dispersion du panache et des prélèvements. Elles fluctuent entre 0 et 100 *E.coli*/100 mL, et entre 0 et 50 Streptocoques fécaux (SF) /100 mL, aussi bien au fond qu'en surface. La contamination est présente au dessus de l'émissaire, cependant elle reste très faible du fait de la dispersion/dilution du panache.

Le long du littoral, en période sèche estivale et automnale (Mai et Août 2008, Septembre et Octobre 2009), quelques points de très faible contamination (< 5 *E. coli* et SF/100 mL) sont détectés. Durant la période pluvieuse automnale d'octobre 2008, quelques points de faible contamination (< 30 *E. coli* et SF /100 mL) sont mesurés. Lors des fortes orages de novembre 2008, les mesures montrent une contamination le long du littoral en face des exutoires de Palavas, de Carnon et du Grau du Roi, plus élevées même si elles restent faibles (entre 10 et 60 *E. coli*/100mL, et entre 10 et 150 SF/100 mL).

La simulation hydrodynamique utilisée pour simuler la dispersion des effluents rejetés en mer consistait dans un premier temps à ne considérer que les termes d'« advection », de « diffusion » et de « sources ». Dans un deuxième temps, il a été introduit dans le modèle les termes de mortalité de la bactérie (qui correspondent aux termes de « puits ») due aux effets des facteurs environnementaux, afin de ne pas considérer les apports de *E. coli* comme des particules neutres.

Le modèle mathématique ainsi construit permet de réaliser une simulation numérique de la diffusion des apports d'*E. coli* par les sources que sont l'émissaire en mer, d'une part, et les exutoires du bassin versant, d'autre part, tenant compte des conditions météorologiques et courantologiques. Un ensemble de simulations permettant de tester un certain nombre de paramètres a été réalisé et comparé aux résultats des mesures *in situ* dans le GAM.

Afin d'utiliser ce modèle à partir des flux entrants dans le GAM selon différents scénarios météorologiques caractéristiques de la région, il a été nécessaire de modéliser les flux aux exutoires du bassin versant.

2.2. Déterminer et quantifier les flux contaminants microbiens aux moyens des deux indicateurs de contaminations fécales (*E. coli* et Entérocoques intestinaux) du bassin versant du GAM.

Principe du choix des sites de mesure

L'inventaire rapide des sources de contamination par les bactéries témoins de contamination fécale (BTCF) sur le bassin versant du Golfe d'Aigues-Mortes et la collecte de données réglementaires sur ces sources, a permis de réaliser une première estimation du flux potentiel de contamination à l'aval de ce bassin versant. Cependant, il est important de souligner que le lien entre ce potentiel de contamination théorique et ce qui arrive réellement à la rivière, puis aux exutoires, est difficile à faire.

En effet si les flux de contamination arrivant à l'exutoire de chaque bassin versant dépendent largement de la contamination générée principalement par les activités domestiques et les élevages, différents processus vont affecter la persistance et la survie des BTCF tout au long de leur transfert de la source de contamination à la rivière, puis au Golfe d'Aigues-Mortes.

Parmi les facteurs responsables de leur disparition ou de leur survie dans l'environnement, il y a le temps de transit, le phénomène de dilution, la sédimentation, les radiations solaires dont les UV, la température et la salinité. L'attachement sur des particules et la matière organique sont des facteurs qui peuvent favoriser la survie des BTCF. Bien que les abondances des BTCF diminuent rapidement par mortalité dès la sortie du système hôte, le tube digestif, certains individus peuvent mieux survivre que d'autres, voire se multiplier dans certaines conditions bien particulières. Ainsi certains travaux ont montré que *E. coli* présente dans certains sédiments riches en matière organique, et dans certaines conditions particulièrement favorables, peut voir sa population augmenter au cours du temps.

Si elles ne sont pas entraînées vers l'aval par la vitesse de l'écoulement, les BTCF souvent associées à des particules vont sédimenter dans le fond du lit des rivières créant ainsi un « réservoir » dans les sédiments. Lors de fortes précipitations, les BTCF stockées dans les sédiments seront alors entraînées par les crues, créant ainsi un phénomène de lessivage du bassin versant.

A l'exutoire d'un bassin versant, la dynamique des BTCF dépend ainsi des caractéristiques du bassin, c'est-à-dire de la morphologie, des pratiques agricoles, de la localisation des sources de pollution par rapport aux rivières, mais aussi du comportement hydrologique du bassin. A cela s'ajoute la complexité des interactions entre les différentes espèces bactériennes et les facteurs environnementaux.

Il est à ce jour très difficile d'évaluer l'effet combiné de ces processus pour déterminer sur le bassin versant la dynamique des BTCF. **C'est pourquoi dans le cadre du programme MICROGAM, il a été choisi de mettre en place des suivis et des observations *in situ* aux exutoires du bassin versant du GAM.** Considérant en effet dans le cadre des objectifs proposés, qu'il est nécessaire de connaître les flux entrant de BTCF dans le GAM pour déterminer ensuite leur devenir, les flux aux exutoires sont la résultante des processus de survie des BTCF sur le bassin versant.

Les sites d'observation et les mesures

L'inventaire réalisé précédemment sur les sources des apports de pollution au Golfe d'Aigues-Mortes depuis le bassin versant a permis de définir 3 types de sites d'observation et de prélèvement :

- Les exutoires des fleuves côtiers : Lez à Palavas-les-Flots, le système Vidourle-Vistre au Grau du Roi avec un suivi en amont (Portes du Vidourle). Plus le Canal de l'Espiguette (communication avec les étangs à l'Est du Grau du Roi) afin de vérifier si ce canal contribue aux apports.
- Les exutoires des lagunes : le Canal de Carnon (sortie de l'étang de Mauguio), le grau de l'étang du Prévost, le Grau des Abîmes (sortie de l'étang du Ponant).
- Les ports : Palavas les Flots, Carnon, la Grande Motte et Port Camargue.

Les campagnes de prélèvement ont pour objectif de déterminer des flux de contamination bactérienne instantanée sous des conditions hydrologiques différentes. Lors de chaque campagne, il a donc été nécessaire de prélever un certain nombre d'échantillons en vue d'analyse microbiologique et de mesurer des débits instantanés au point de prélèvement.

La mesure des débits instantanés a été réalisée selon le principe de l'effet doppler par ADCP. L'ADCP mesure les débits par exploration du champ de vitesse. Son fonctionnement est basé sur la propagation et la réflexion des ondes acoustiques sur les particules en suspension dans l'eau (effet Doppler). Deux types d'appareil ont été utilisés selon la profondeur de l'eau et/ou l'existence d'un pont.

L'objectif des campagnes de prélèvement étant l'estimation de la contamination fécale arrivant dans le Golfe d'Aigues-Mortes, les mesures et les prélèvements ont été réalisés en régime sortant. Les eaux aux différents exutoires observés sont soumises non seulement aux phénomènes de marée - même si les marées en Méditerranée sont faibles - mais aussi en raison de leur caractère plus ou moins saumâtre, à des stratifications liées aux différences de température et de salinité, stratifications pouvant également être modifiées par le vent. Des mesures de salinité et de température ont été réalisées *in situ* à l'aide d'un conductimètre de terrain modèle 315i (WTW). Afin de tenir compte de ces phénomènes lors des prélèvements d'eau, et pour avoir une concentration bactérienne représentative de la colonne d'eau et de l'ensemble de la section étudiée, la section a été divisée en 8 compartiments selon la largeur du grau ou du canal, et selon la profondeur, le but étant d'estimer une concentration moyenne.

Les dates des campagnes ont été fixées dans l'objectif d'observer les conditions suivantes :

- juin-juillet-août = saison estivale sèche, qui correspond à de faibles débits, et à une forte fréquentation touristique.
- octobre-novembre = automne, qui correspond à la période des crues rapides.
- janvier = hiver, qui correspond à la période de hautes eaux et des températures basses.

En période de crue, les débits et la qualité des eaux peuvent varier dans des temps très courts. L'estimation des flux de contaminants arrivant dans le Golfe d'Aigues-Mortes, pendant ces périodes, a nécessité non seulement de faire des prélèvements à faible pas de temps mais aussi de connaître les débits en continu.

[Les financements supplémentaires obtenus auprès de l'Université Montpellier 2 et de la Région Languedoc-Roussillon, ont permis de financer l'équipement de cinq stations en matériel de mesures en continu et en préleveurs automatiques](#) : le Lez à Palavas, le Canal de Carnon (exutoire de l'étang de Mauguio), le canal au Grau du Roi sur le canal, le Vidourle aux portes du Vidourle et au lieu dit « Bar à Guêpes ».

En vue de caractériser les apports au Golfe d'Aigues-Mortes lors des épisodes pluvieux importants, un certain nombre de crues ont été échantillonnées aux stations de Palavas, de Carnon, et du Grau du Roi. Les échantillons sont prélevés soit manuellement soit à l'aide d'un échantillonneur automatique et à des pas de temps variables : pas de temps horaire en montée de crue et de 2 à 4 heures en décrue.

Afin de caractériser le système au moment des campagnes de prélèvement les données de deux stations pluviométriques Météo France ont été utilisées dans cette étude : la station de Montpellier Fréjorgues et la station de Nîmes-Courbessac. Les données de ces stations ont été utilisées pour calculer les hauteurs de pluie le jour de la campagne de prélèvement et les 5 et les 10 jours précédant les campagnes.

Pluies, débits, crues

Les campagnes spatiales ont été menées pendant les mois de juin, juillet, octobre et novembre 2008 et janvier et octobre 2009. La situation hydrologique moyenne durant ces campagnes caractérisée par le débit moyen mensuel indique que le niveau des écoulements était élevé pour les mois de juin et juillet 2008 ainsi que novembre 2008 et janvier 2009. Sur les fleuves Vidourle et Lez les débits moyens de juin et juillet 2008 et janvier 2009 correspondent aux maximums observés sur la période 1999-2010. De même, durant le mois de novembre 2008, le débit mensuel approchait le maximum de la période 1999-2010. Les conditions d'écoulement en octobre 2008 étaient représentatives de la moyenne relevée sur la période 1999-2010. Au contraire le débit moyen du mois d'octobre 2009 est proche du minimum observé sur la période 1999-2010.

Les conditions d'écoulement durant les journées de collecte d'échantillons couvrent une gamme de débit de 450 L/s à 29 m³/s à la station du Lez et 125 L/s à 193 m³/s à la station du Vidourle. Les prélèvements ont été réalisés durant les diverses phases de l'écoulement, pendant les périodes de basses eaux, de hautes eaux, de montée de crue et aussi durant la phase de récession.

Le débit à lui seul ne suffit pas pour traduire les conditions d'écoulement sur le bassin. La pluviométrie relevée le jour de la campagne de mesure et la pluviométrie des jours précédents sont indicatives de la situation hydrométéorologique. Compte tenu du temps de réponse des bassins versants, ce sont les conditions de pluviométrie de la veille mais aussi des jours précédents qui ont été retenus pour caractériser les conditions d'écoulement le jour du prélèvement. Les hauteurs

de pluie mesurées, la veille de la collecte (P1j), les 5 jours qui précèdent (P2-6j) et du septième au onzième jour précédent la collecte (P7-11j) sont les caractéristiques retenues pour définir une typologie des jours de prélèvement.

Les campagnes de mesures ont été réalisées dans diverses situations pluviométriques : la pluviométrie des 11 jours avant la journée de campagne s'étend de 0 mm (48 jours consécutifs sans pluie journalière supérieure à 1mm) à des cumuls de pluie dépassant 100 mm (P11j = 122 mm, le 12/11/08 à Montpellier). Durant la saison estivale, les campagnes de mesures ont été réalisées sous conditions pluvieuses (16 et 23-6-2008) et des périodes de temps sec (30-6, 8-7 et 29-8-2008). En automne, les campagnes sont associées à des conditions allant de situations de faible pluviométrie (P11j = 3 mm) à des situations très humides (P11j = 122 mm). La pluviométrie des campagnes d'hiver correspond à deux situations distinctes, une faible pluviométrie les 13 et 19-01-2009 (P11j= 5 mm) et une forte pluviométrie les 27 et 28-01-2009 (P11j= 67 mm).

Dans le Lez à Palavas, les crues de Novembre 2010 et Mars 2011 présentent des caractéristiques bien distinctes. La crue de Novembre 2010 est le résultat d'un épisode pluvieux avec une forte hauteur précipitée (127mm) pendant une très courte période (quelques heures), alors que la situation de Mars 2011 correspond à une pluie soutenue sur plusieurs jours (4 jours) et une hauteur précipitée totale du même ordre de grandeur (135,7mm). Le débit pointe est 30 m³/s pendant la crue de Novembre 2010 et 70 m³/s pendant la crue de Mars 2011.

Le débit transitant par la branche du Vidourle qui rejoint le canal du Grau du Roi atteint des valeurs pointes entre 100 m³/s (crue Mars 2011) et 200 m³/s (crue Novembre 2010). Dans le grau des Abîmes le débit de pointe est proche de 280 m³/s pour les deux crues échantillonnées (Novembre 2010 et Mars 2011).

Variabilité de la mesure des concentrations bactériennes

Il est important de considérer la variabilité spatio-temporelle de la concentration dans les sites de prélèvement. Les observations réalisées permettent de rendre compte d'une part de la variabilité de la concentration des bactéries témoins de contamination fécale dans une section d'écoulement et d'autre part la variabilité temporelle sur une courte période (quelques heures) de la concentration moyenne dans une section.

Ces observations mettent en évidence la difficulté de caractériser précisément le niveau de contamination à partir d'un seul échantillonnage de section. Cependant la fluctuation à faible pas de temps des concentrations reste dans l'ordre de grandeur de la variabilité de la concentration dans la section (i.e. une unité log). Dans la suite, nous retiendrons une unité log comme ordre de grandeur de l'incertitude associée à une estimation de la concentration moyenne dans la section.

Flux de contamination bactérienne

Le flux de polluants transportés par une rivière en une section donnée est défini comme le produit du débit de la rivière, en cette section, par la concentration en éléments dans l'eau. Le flux est mesuré à un instant donné : c'est une mesure instantanée.

Le flux total estimé de BTCF (Coliformes Thermo-Tolérants, CTT, et Streptocoques fécaux, SF) vers les Golfe d'Aigues-Mortes a été estimé pour cinq campagnes : trois durant l'automne (22/10/08 ; 12/11/08 et 14-16/10/09), une durant la saison estivale (23-30/06/08) et les 27-28/01/09 durant l'hiver.

Le flux total estimé varie entre 0,9 et 5,7 10¹³ CTT/h et 0,1 et 6,5 10¹³ SF/h. A l'exception de la situation pluvieuse (le 22/10/08), le flux de CTT est toujours supérieur au flux de SF. **Le flux total et la contribution relative du bassin versant augmentent avec la pluviométrie.** La contribution relative de MAERA est plus marquée pour les CTT par rapport aux SF. La part de flux apportée par la station de traitement MAERA représente 15% à 97% du total pour les CTT (1% à 86% pour les SF). **La contribution relative de MAERA est largement majoritaire dans des situations de temps secs.** Dans des situations de fortes pluviométries, la plus grande part des flux provient des écoulements du bassin versant. **Le flux en provenance du seul fleuve Lez ou du seul fleuve Vidourle est supérieur à la contribution de la station MAERA.** La part en provenance des Grau (Grau du Prévost, Canal de Carnon) est généralement faible, 10% au plus, quelque soit la situation hydrométéorologique.

2.3. Relier les flux microbiens (bassin versant et émissaire) aux conditions météorologiques caractéristiques de la région.

Flux de contamination bactérienne et conditions hydrométéorologiques

L'analyse précédente ne permet pas de démontrer une tendance saisonnière des flux de contamination mais met cependant en évidence une proportionnalité du flux à la situation hydrométéorologique caractérisée par la pluviométrie. Une typologie de la situation pluvieuse antérieure au jour de d'échantillonnage a été choisie afin de proposer une caractérisation des flux de contaminants. La pluviométrie du jour précédent le prélèvement et des jours antérieurs a été retenue comme indicateur de la situation hydrométéorologique. La typologie de la pluie de chacune des journées de campagne est déterminée à partir des pluies mesurées à la station météorologique de Montpellier-Fréjorgues pour les sites de Palavas à Carnon (Lez) et à la station météorologique de Nîmes pour les sites du Grau du Roi (Vidourle et Vistre).

Pendant les campagnes spatiales de mesures, les flux journaliers se situent entre 10^{10} et 10^{15} bactéries /j pour les CTT et les SF au niveau des exutoires directs et entre 10^8 et $5 \cdot 10^{14}$ bactéries /j au sortir des graus. On remarque une nette décroissance des flux journaliers avec la typologie des précipitations. Pendant les situations pluvieuses, le niveau moyen des flux est de 10^{14} CTT/j. Lorsque les pluies antérieures s'atténuent, le niveau moyen des flux est réduit d'un facteur 100 (10^{12} bactéries/j). Dans les situations de basses eaux ou d'étiage le niveau moyen de flux est divisé par 10, de l'ordre de 10^{11} bactéries CTT/j. Cette diminution du flux avec la diminution de la pluviométrie antérieure est observée au niveau des exutoires de fleuve et au niveau des graus.

Extrapolation des flux de contamination dans un objectif de simulation

La classification des précipitations met en évidence le lien entre le niveau des flux aux exutoires du Golfe d'Aigues-Mortes et les conditions antérieures de pluie sur le bassin versant. Sur la base de ces constatations, nous proposons un mode d'extrapolation des flux journaliers en fonction des cumuls pluviométriques sur le bassin. L'extrapolation a été conduite sur l'année 2009 qui a été retenue pour la simulation hydrodynamique de la dispersion des contaminants dans le Golfe d'Aigues Mortes.

L'extrapolation des flux a permis de générer des séries chronologiques de flux qui sont utilisées pour la simulation numérique de dispersion des contaminants bactériens dans le Golfe d'Aigues Mortes.

A l'échelle du bassin versant du GAM, la contribution du complexe Vidourle-Vistre est fortement majoritaire et représente 83% de la totalité des apports en SF et 62% des apports en CTT du bassin versant vers le GAM. Le second contributeur est le fleuve Lez qui génère 18% des apports de CTT et 10% des apports en SF. Le flux annuel de CTT provenant du rejet de la station MAERA est au même niveau que celui du fleuve Lez. Cependant, le rejet de la station ne contribue qu'à 3% des apports de SF. Les apports par le Canal de Carnon et le grau du Prévost sont mineurs (de 1 à 2% du total).

La répartition des flux selon la situation pluviométrique démontre que quel que soit l'exutoire considéré, les apports « hors crue » représentent une très faible proportion du flux total. Ce sont les événements pluvieux qui sont à l'origine de la majorité des apports de bactéries au GAM. En effet pendant les diverses phases de crue qui ne représentent au maximum que 20% de jours de l'année, c'est de 92 à 99% de l'apport total annuel qui transitent par les divers exutoires.

2.4. Utiliser le modèle hydrodynamique du GAM pour simuler la diffusion des contaminations microbiennes à partir des flux entrants et suivant différents scénarios météorologiques caractéristiques de la région.

La simulation des flux bactériens du bassin versant permet d'entrer ces données dans le modèle de dispersion du Golfe d'Aigues-Mortes et de simuler la dispersion des flux des contaminants bactériens d'origine fécale. Cette simulation de la dispersion des contaminants bactériens permet de prendre en compte différentes situations météorologiques et courantologiques, et d'évaluer la contamination sur le littoral et dans l'ensemble du Golfe d'Aigues-Mortes. La simulation numérique permet d'évaluer la dispersion des flux et donc le devenir des coliformes thermo-tolérants (CTT) en concentration en différents points du littoral et en mer du Golfe d'Aigues-Mortes.

Simulation de la contamination en CTT sur le littoral du GAM sur la période juillet-décembre 2009

Les résultats de la simulation montre que les rejets en mer contaminent très faiblement le littoral au niveau de la Grande Motte, moins de 1 log, soit 10 CTT/100mL, lorsque le modèle ne tient pas compte de la mortalité bactérienne. Lorsque le modèle est couplé avec le modèle biologique de mortalité bactérienne, l'estimation de la contamination par l'émissaire est nulle ou pratiquement nulle (7 jours < à 1 CTT/100/mL) sur la durée étudiée de Juillet à Décembre 2009. Ainsi, les rejets en mer de Maéra ne contaminent pas le littoral au niveau de la Grande Motte grâce au seul effet de dilution (sans mortalité) des rejets, ce qui est encore plus évident en tenant compte de la mortalité bactérienne. Les rejets en mer de Maéra ne contaminent pas non plus, le littoral au niveau de Palavas-les-Flots et de Port Camargue.

Les résultats de la simulation des apports du bassin versant montrent une contamination des eaux du littoral au niveau de la Grande Motte qui fluctue entre 0 et 4 log (1 à 10 000 CTT/100mL) lorsque le modèle ne tient pas compte de la mortalité bactérienne. En tenant compte de l'effet des facteurs environnementaux sur la survie de *E. coli*, la contamination est moindre, avec des valeurs inférieure à 100 CTT/100mL mais l'ampleur des fluctuations reste identique. Les pics de contamination correspondent aux périodes pluvieuses. Au niveau de Palavas et de Port Camargue de Juillet, il existe une faible contamination causée par les apports du bassin versants en général comprises entre moins de 10 et moins de 100 CTT/100mL. Des pics de contamination entre moins de 100 et moins de 1000 à 10 000 CTT/100mL sont provoquées par les périodes de pluie.

Les valeurs estimées de la contamination en CTT par les modèles de dispersion dans le GAM sont conformes à celles mesurées *in situ* lors des campagnes en mer.

Simulation dans un scénario pénalisant de la contamination en CTT sur le littoral du GAM sur la période juillet-décembre 2009

La simulation est faite soit à partir des flux de CTT émis par le rejet en mer de la station Maéra dans le cas d'un scénario pénalisant d'une concentration élevée et constant de CTT, soit à partir des flux émis par le bassin versant du GAM (grau du Prévost, Lez à Palavas, Canal de Carnon, Grau des Abîmes et Grau du Roi).

Dns le cas d'un scénario pénalisant d'une concentration élevée et constante de $5,8 \cdot 10^6$ CTT/100 mL, les rejets en mer de Maéra ne contaminent pas le littoral au niveau de la Grande Motte et de Palavas (< à 1 CTT/100/mL). Seuls les apports du bassin versant par le Lez, le Vidourle et le Vistre et les Graus des lagunes du littoral du GAM ont un effet que la qualité des eaux, qui restent cependant à des niveaux très faibles de concentration en CTT, en général moins de 100 CTT/100 mL, sauf en période de crues.

2.5. Utiliser les informations obtenues pour contribuer à établir le profil des eaux de baignade du littoral du GAM.

L'objectif de MICROGAM n'était pas d'établir le profil des eaux de baignades du littoral du GAM. Cependant, toutes les informations obtenues qui caractérisent notamment les apports contaminants microbiologiques sur le littoral en fonction des conditions de pluie, sont des informations qui intéressent les administrations qui doivent établir le profil des eaux de baignade du GAM.

C'est pour cela que dès la soumission du projet MICROGAM à Liteau III, la Communauté de Commune de l'Etang de l'Or est partenaire du projet. Son représentant, Ingénieur responsable du service des eaux et environnement des milieux aquatiques, a participé à toutes les discussions : élaboration du projet, comités de pilotage, réunions des équipes scientifiques durant l'exécution du programme.

A sa demande, nous avons fourni à l'automne 2010, quelques informations sur les données sur les flux microbiologiques entrants dans le GAM, à un bureau d'étude chargé d'établir le profil des eaux de baignade du littoral.

L'ensemble du rapport une fois validé par le Ministère sera communiqué à la Communauté de Commune de l'Etang de l'Or qui pourra, en relation avec les scientifiques, et en fonction des publications scientifiques en cours, utiliser les informations pour contribuer à l'amélioration du profil des eaux de baignade du littoral. Le rapport sera aussi disponible comme base d'études ultérieures sur le bassin versant ou sur le littoral pour l'Agence de l'Eau et Ifremer.

Une partie de ces informations importantes est contenue dans le chapitre du rapport sur la description du bassin versant du GAM. Nécessaires pour bien connaître son fonctionnement, mais pas indispensables pour déterminer les flux aux exutoires comme nous les avons établis, ces informations acquises portent sur :

- Les caractéristiques physiques du bassin versant du golfe d'Aigues-Mortes,
- L'hydrographie du bassin versant du golfe d'Aigues-Mortes,
- Les origines (urbaine, agricole, industrielle, touristique) de la contamination sur les bassins versants,
- Les flux potentiels de contamination bactérienne sur le bassin versant du GAM (Stations d'épuration, assainissement autonome, élevage, ...).

2.6. Analyser les enjeux de la contamination microbienne

Afin d'analyser les enjeux de la contamination microbienne, deux enquêtes ont été réalisées auprès des usagers sur les plages dans l'objectif de connaître leur perception de la qualité des eaux de baignade. Cette enquête avait aussi un autre objectif particulièrement original. Après discussion de la problématique sanitaire avec les microbiologistes du laboratoire Ecosym, il est devenu intéressant de connaître les apports contaminants par les baigneurs. L'objectif de l'enquête a donc aussi visé à évaluer les comportements des usagers des plages sur le plan de la satisfaction de leurs besoins naturels.

Préférences et perception des plages

Les résultats des questionnaires montrent que les touristes et les locaux ont les mêmes préférences pour les activités et les services à proximité de la plage. On voit aussi qu'aucune des activités ne semble indispensable pour les usagers. Les snacks, les restaurants et les vendeurs ambulants sont néanmoins souhaités. Par contre il semble que les plagistes sont peu souhaités, voir pas du tout. Les services qui semblent absolument souhaités sur les plages concernent leur propreté (leur nettoyage, et les poubelles) et la sécurité (les postes de secours, les maîtres nageurs et la surveillance). **Les commodités comme les douches, les toilettes et les chemins aménagés sont aussi des services fortement souhaités par les usagers.** Par contre des services comme les cabines, les consignes et les espaces pour animaux ne sont pas souhaités sur les plages du GAM.

Les usagers ont aussi des préférences très marquées sur l'esthétique d'une plage qui sont similaires pour les touristes et les locaux. Une belle plage se définit donc comme une grande plage naturelle de sable fin. **Le résultat marquant est que dans cette « photo de la plage idyllique » se trouvent les sanitaires et les douches.** En effet, suivant les usagers, ces derniers critères entrent dans la définition d'une belle plage. À l'inverse, on se rend compte que les plages de galets qui occupent une partie non négligeable des plages du Languedoc Roussillon ne sont pas appréciées par les usagers.

La qualité des plages est aussi perçue comme bonne par l'ensemble des usagers. Les plages les plus belles sont celles de l'Espiguette qui ressortent statistiquement comme les seules jugées comme très satisfaisantes. La Grande Motte et Palavas les Flots sont, elles, jugées satisfaisantes. Les autres plages semblent moins bien perçues que les précédentes.

Contamination des plages par les usagers

Durant l'été 2008, des plages situées à Palavas ont été contaminées par des matières fécales. La conséquence directe de cette contamination a été la fermeture des plages aux baigneurs. Dans notre étude, nous émettons l'hypothèse que les causes de telles pollutions sont les baigneurs qui, concrètement, vont faire leurs besoins dans l'eau et plus particulièrement leurs selles. Dans cette partie, nous testons cette hypothèse et analysons les possibilités d'un nouvel événement de contamination comme celui-ci (Risque de récurrence).

Le premier constat est que plus de la moitié de la population d'usagers a déjà eu l'occasion d'observer de telles pollutions dans l'eau dans laquelle ils se baignent. **La prise en compte de ce risque a des impacts sur leurs habitudes de baignades car 56% des personnes ont répondu qu'elles n'iraient pas se baigner si elles apercevaient de telles pollutions dans l'eau et ce, même si le risque pour la santé est nul.** On peut donc en déduire que des problèmes de pollution fécale pourraient avoir des impacts sur la réputation des plages locales et à terme avoir des impacts économiques.

Il est certes très délicat de déterminer les réelles causes de pollutions qui avaient provoqué la fermeture des plages en 2008. Mais il ne reste pas moins intéressant de connaître la perception que les usagers ont de ces dernières. **Or on constate que 25% des personnes interrogées imaginent crédible que ces pollutions proviennent des baigneurs eux-mêmes.** Certes, il y a plus de personnes qui pensent que ces pollutions proviennent des stations d'épurations (32%) ou des bateaux (28%). Ainsi nous avons demandé aux usagers quelles étaient leurs habitudes, ainsi que celles de leurs enfants, quant à l'utilisation des toilettes pour uriner et pour aller à la selle. La question était posée sous la forme du scénario du type : qu'est ce que vous feriez si ... ? Nous avons proposé quatre lieux où faire ses besoins : restaurants de plage, maisons, mer et dunes.

Les personnes interrogées n'ont pas, pour la majorité, l'habitude d'aller aux restaurants de plage uniquement pour utiliser les toilettes. Pourtant dans les scénarios proposés, une certaine proportion d'usagers est susceptible d'y aller. Cette proportion varie suivant le besoin naturel. **En effet, lorsqu'il s'agit d'uriner, 27% des usagers vont à la toilette, quel que soit le prix à payer. Lorsqu'il s'agit d'aller à la selle, 60% des usagers seraient prêts à payer pour aller aux toilettes dans un restaurant de plage, et 6% disent que ça dépendra du prix.** Quant aux parents, ils ne réagissent pas de la même façon pour eux que pour leurs enfants. En effet, on note que 18% des parents sont prêts à payer une consommation dans un café pour que leurs enfants profitent des toilettes pour uriner alors qu'ils ne le feraient pas pour eux. Ce chiffre tombe à 8% lorsqu'il s'agit d'aller à la selle.

Une autre solution proposée aux usagers est de savoir s'ils consentiraient à rentrer chez eux pour profiter des toilettes. Dans ce cas, le taux de consentement à rentrer à la maison est fonction des distances à parcourir. **Plus les gens sont logés loin de la plage et moins ils vont consentir à rentrer faire leurs besoins à la maison.**

La mer est l'endroit le plus pratique pour faire ses besoins dans un scénario où il n'y aurait pas de toilette à proximité. C'est un endroit facile d'accès et gratuit, où il est aisé de s'isoler du monde en s'éloignant au large par exemple. **54% des personnes qui ont répondu au questionnaire consentent à aller uriner dans la mer et 4% consentent à aller à la selle dans l'eau. Les parents sont 67% à inciter leurs enfants à aller dans la mer pour uriner et 5% des parents auront tendances à inciter leurs enfants à aller à la selle dans la mer.**

Du fait de la proximité avec la plage, les dunes sont aussi un lieu envisagé par les usagers comme des toilettes naturelles. **Ainsi on trouve que 42% des personnes interrogées consentiraient à aller uriner dans les dunes. Par contre 60% des parents inciteraient leurs enfants à aller dans les dunes. Une partie importante, 19%, des personnes interrogées consentiraient aussi à aller à la selle dans les dunes. 28% des parents emmèneraient leurs enfants à la selle dans les dunes.**

Présence ou pas de toilettes et risque de récurrence d'utiliser la mer ou les dunes

L'enquête a révélé que 73% des personnes interrogées n'utilisaient pas les toilettes des plages. Les trois raisons les plus souvent citées sont : parce qu'elles sont sales, parce qu'il n'y en a pas et par principe. Lors de nos enquêtes nous avons relevé la disponibilité et la qualité des toilettes sur chacune des plages et force est de constater que les inquiétudes des usagers se confirment. En effet nous avons tout d'abord observé qu'il existe des plages non équipées de toilette comme au Petit et Grand Travers et à l'Espiguette côté camping. Nous avons aussi noté que les toilettes n'étaient pas bien distribuées ou indiquées sur les plages de la Grande Motte, de Carnon, de Palavas-les-Flots ou du Grau du Roi rive gauche. Enfin nous avons relevé que des toilettes pouvaient être inutilisables comme celles de l'Espiguette (côté parking). Finalement les toilettes les plus propres que nous avons observées, se trouvent à Villeneuve-lès-Maguelone, au Grau du Roi rive droite et à Port Camargue. Or à Villeneuve-lès-Maguelone, les toilettes sont nettoyées le matin ce qui a pour conséquence que dès midi, les toilettes sont sales et le papier toilette manque. Ce dernier problème se retrouve aussi au Grau du Roi rive droite et à Port Camargue bien que les toilettes soient à nettoyage automatique.

Ainsi le faible nombre de toilettes disponibles ou utilisables nous conduit à considérer avec intérêt nos scénarios sur l'utilisation des restaurants de plages, de rentrer chez eux, d'aller dans la mer ou d'aller dans les dunes. Or chacun de ces moyens pour aller à la toilette est substituable l'un à l'autre. Ainsi il nous faut analyser les préférences des usagers sur chacun de ces lieux pour connaître la probabilité d'occurrence d'aller déféquer dans l'eau comparer aux autres possibilités.

Lors de l'enquête, nous n'avons pas demandé directement aux usagers de hiérarchiser ces lieux car nous avons supposé que les réponses auraient été biaisées par la bienséance. Nous avons aussi émis l'hypothèse que les usagers qui avaient répondu « aller à la selle dans l'eau » avaient répondu qu'ils n'allaient pas à la selle autre part et donc ce qui nous permettrait de conclure qu'il y a un risque significatif de nouvelles pollutions fécales.

L'analyse des questionnaires montre clairement que les personnes qui ont répondu oui à la question « allez vous déféquer dans la mer ? » ont aussi répondu oui à la question « allez vous déféquer dans les dunes ? ». Ils ont aussi répondu non à la question concernant l'utilisation des restaurants. Par contre il est difficile d'affirmer si ces mêmes personnes rentreront ou non chez elles.

Quels sont les risques de récurrences ? La réponse va dépendre de plusieurs facteurs : la proximité des dunes et la proximité du logement. Les plages où les dunes apparaissent comme importantes sont à Villeneuve-lès-Maguelone, au Petit et Grand Travers, au Grau du roi rive droite et à l'Espiguette. Par contre, les dunes sont largement moins importantes à Palavas, à Carnon, au Grau du roi rive gauche et à Port Camargue. On peut donc estimer que sur ces dernières plages, il y a des risques de pollutions fécales de la mer par les baigneurs. Ces risques sont amplifiés car se sont sans doute les plages les plus fréquentées de la région. Un point important à noter est la présence des enfants qui amplifie le risque de récurrence.

2.7. Evaluer la valeur économique de la qualité des eaux de baignade et évaluer les impacts des pollutions microbiennes sur l'économie

Le service rendu par le type d'écosystème que représente la mer profite à de millions de baigneurs. Ceux-ci peuvent venir de très loin pour goûter aux douceurs marines. Cette affluence a créé une activité économique liée au service écosystémique qu'est la baignade. Lorsque la qualité de l'eau est mauvaise, de sorte que les autorités sont obligées d'en fermer l'accès, alors quels sont les impacts économiques ? L'impact économique de la fermeture d'une plage du GAM se mesure de deux façons : 1) évaluation des pertes de chiffre d'affaires pour les commerces alentour et 2) pertes en bien être des consommateurs du service « baignade ». Pour la première méthode, il suffit d'évaluer le chiffre d'affaires journalier des commerces sur le littoral. La seconde estimation peut se trouver en utilisant la méthode des coûts de transport. Afin de s'assurer de la bonne qualité de l'eau, il y a un moyen sûr qui est de mettre en place des toilettes sur tout le littoral. L'installation est coûteuse. La question est de savoir combien les citoyens seraient prêts à payer ? La méthode utilisée est l'évaluation contingente.

Impact sur les commerces d'une fermeture de plage

L'exemple des plages de Palavas-les-Flots est significatif. La capacité d'accueil de cette ville balnéaire est de 2030 emplacements dans les campings et 209 chambres d'hôtel. Pour simplifier le calcul, on pose trois hypothèses : 1) le taux de remplissage est de 100%, 2) les emplacements et chambres d'hôtel sont occupés par un couple et 3) toutes ces personnes consomment à Palavas-les-Flots (une personne dépense en moyenne 213 € lorsqu'elle vient dans le Languedoc-Roussillon). **Suivant ces conditions, le chiffre d'affaires théorique journalier serait de 204 645 euros.** Si ces conditions sont les mêmes de mai à septembre alors le gain serait supérieur à 30 millions d'euros à la fin de la saison.

L'emploi pour les restaurants et les hôtels en France concerne 3,5% des actifs, soit à peu près 900 000 personnes. **Sur le GAM, cet indicateur passe à 7%.** À Palavas-les-Flots, le nombre d'actifs est de 1867 personnes dont 130 travaillent dans les hôtels et restaurants. Si on suppose que chaque commerce n'embauche qu'une personne, que le taux horaire est de 9 € alors **la fermeture d'une plage durant une journée coûtera 9 400 € au total.** Il est évident que ces calculs ne sont que des indicateurs de l'impact économique du tourisme sur les commerces. Ils nécessitent une évaluation comptable largement approfondie qui n'est pas l'objet de cette étude.

Impact sur les usagers d'une fermeture de plage

Plus les usagers habitent loin de la mer et/ou plus les coûts de transport sont élevés, moins ils vont venir à la mer. De même, les usagers vont avoir tendance à éviter les parkings payants. De plus, les foyers qui ont beaucoup d'enfants ont tendance à diminuer leur séjour à la plage. **Les usagers vont augmenter leur séjour lorsque les plages sont non aménagées, c'est à dire « naturelles », ce qui est une situation majeure des plages du GAM.** Les usagers âgés vont rester plus longtemps sur les plages du GAM. **Plus les foyers sont riches et moins ils viennent sur le GAM.**

La demande pour l'accès aux plages est forte. Elle se mesure par les coûts que les consommateurs sont prêts à consentir pour accéder à ce service. La méthode la plus révélatrice de ces coûts est celle de l'évaluation des coûts de transport. Les coûts marchands sont le prix total du péage et de l'essence et les coûts non-marchands sont le temps passé pour voyager. Ce dernier est mesuré en termes de kilomètres (km) en supposant que plus les km sont élevés et plus le temps passé à voyager est long. **En moyenne, les visiteurs sont prêts à déboursier 0,16 € par km.** L'évaluation économique de la baignade est dérivée de la fonction de demande et se mesure en terme de surplus du consommateur (SC). **Le bien être social dû essentiellement à la baignade dans le GAM se mesure donc en faisant la somme des SC des 6 millions de touristes présents chaque été. On estime ainsi le bien être social apporté par la baignade à 366 millions d'euros.**

Consentement à l'installation de toilettes de plage

L'impact sur le bien-être du service écosystémique que représente le littoral du GAM est donc important à l'échelle d'une région comme le Languedoc-Roussillon. S'impose donc la nécessité de protéger voire d'améliorer la qualité de l'eau de baignade. Pour cela, une solution testée lors de cette enquête est de la mise en place des toilettes publiques sur la plage. L'objectif est de calculer combien les usagers seraient prêts à payer pour améliorer la qualité de l'eau et quel sera l'impact sur leur SC (surplus du consommateur).

Les résultats de l'enquête montrent que les personnes interrogées sont prêtes à payer, en moyenne par visite de toilettes publiques, 1,171 € (médiane = 0,5 €). Les valeurs les plus élevées peuvent atteindre 20 € et les minimales 0 €. Si on multiplie la moyenne par le nombre de total de touriste (6 millions), on obtient 7 millions d'euros qui pourraient contribuer au budget des collectivités locales pour le financement et l'entretien de toilettes publiques sur les plages. Cependant il existe le risque que le consentement à payer les toilettes sur la plage ne représente pas exactement le consentement à payer dans une situation de nécessité et de choix d'utiliser la mer ou les dunes sans payer. Ce qui aurait pour conséquence d'investir dans des toilettes non utilisées. Une réflexion devient nécessaire pour un tel investissement : nombre de toilettes, type de système, entretien, usage, investissement public.

2.7.1. Etablir l'état des lieux de l'économie locale, évaluer les enjeux macro-économiques à long terme

La modélisation MEPP (Modélisation Economique Physique et Prospective) s'appuie sur les principes du modèle dit "à productions jointes", ou modèle de VON NEUMAN-SRAFFA, pour représenter l'ensemble des activités liées à la présence d'une population sur un territoire en rendant compte de la nature et de l'importance : des ressources exploitées, des équipements installés, et enfin des flux de biens et services échangés sur ce territoire (entre les activités locales) et avec l'extérieur (importations et exportations).

L'adaptation du modèle de référence MEPP-Thau au cas des économies et territoires du GAM a seulement nécessité le recueil de données concernant en particulier, au niveau de chacune des communes du territoire visé:

- l'usage des sols (surfaces construites, terres agricoles, sol non aménagé) ;
- les populations résidentes *permanentes* (actifs et non actifs, en distinguant chez les actifs trois catégories socio-professionnelles : agriculteurs, ouvriers & employés, cadres), ainsi que les *saisonniers* (touristes et travailleurs saisonniers) ;
- les principales activités productives assez clairement identifiées par l'INSEE et suivies par ses systèmes de données statistiques, dans les principaux secteurs (agriculture, services) ;
- et enfin, avec des marges d'incertitude, les principaux équipements collectifs requis pour un bon fonctionnement du tout (routes, systèmes de transport, centres de traitement des ordures ménagères, stations d'épuration des eaux usées, ...).

Un bon calage du modèle a ainsi pu être obtenu rapidement, prouvant la pertinence l'idée de considérer que les principales activités à l'œuvre sur l'ensemble des communes du GAM n'étaient guère différentes, au niveau de leur fonctionnement, de leurs homologues du bassin de Thau. Ce calage laisse toutefois voir comme possibles de très nombreuses variantes d'organisation respectant les contraintes introduites, permettant en particulier différentes affectations du sol et du travail non exploités par les activités de base, ce qui implique que dans un second temps les possibilités d'exploitation du modèle à des fins prospectives sont limitées.

Bien qu'il soit évident qu'une augmentation sensible de la fréquence et/ou de l'intensité des pollutions observées puisse à plus ou moins long terme conduire à une réduction elle aussi très sensible de la fréquentation des plages, puis par là à un déclin des activités liées au tourisme, il est clair que les mécanismes de « désaffection » correspondants, de ressort essentiellement sociologique et psychologique, sont extrêmement difficiles à cerner.

On ne peut donc ici que proposer d'envisager, par simulation des scénarios correspondants sur MEPP, qu'ils soient plus ou moins importants, faisant suite à une dégradation plus ou moins importante de la situation actuelle sur ce plan des pollutions (ou, dans l'autre sens, à une amélioration), mais sans bien sûr préciser à quel niveau de pollution correspond chaque niveau simulé de dégradation (ou d'amélioration). Dans chaque scénario ainsi défini, il devient possible de calculer les principaux impacts des changements en question : impact économique, perçu à travers le solde des échanges monétarisés entre la GAM et le reste du monde ; impact social, perçu à travers les variations du niveau global de l'emploi ; impact environnemental, perçu à travers les quantités de pollutions émises (eaux usées produites, CO₂) ; et enfin, impacts divers, notamment en termes d'aménagement (constructions, réseaux) et de transports.

Impact économique d'une réduction des activités liées au tourisme

On observe que, d'après MEPP, une réduction des activités liées au tourisme correspondant à la disparition de 1000 emplois dans ce secteur à partir de son niveau actuel conduirait à une diminution de 45 M Euros du volume des surplus d'échanges du territoire du GAM avec le reste du monde (soit 45 000 euros par emploi). Cette estimation, qui intègre les effets directs et les effets induits, confirme une forme de « rentabilité globale pour l'économie locale » élevée - et à première vue sans égale dans le reste de l'économie locale, par rapport à ce critère hautement symbolique - de cette activité. Il est également à noter que cet impact marginal (au sens mathématique) n'est pas indépendant du niveau de l'activité, et qu'il s'aggrave lorsqu'elle tend à disparaître, pour atteindre plus que le double (94 K€) de sa valeur initiale (43 K€) au voisinage du maximum.

Impact social d'une réduction des activités liées au tourisme

On ne saurait ici prétendre que le modèle MEPP est à même de traiter de façon convenable les questions d'emploi : il ne peut donc que suggérer de façon comptable, dans l'esprit d'une froide prospective à caractère purement technique, que tout changement des structures productives implique aussi forcément, tôt ou tard, des changements d'affectation des emplois.

Dans le cas présent, on observe que le déclin du tourisme induit d'abord une diminution du nombre total d'emplois mobilisés (à raison de 1,2 emploi « perdu ailleurs » par emploi perdu dans le tourisme), mais que passé un certain stade, i.e. sous environ 50% de son niveau actuel, il produit un effet contraire (à raison de 0,35 emplois « recréés ailleurs » par emploi perdu dans le tourisme).

Impact environnemental d'une réduction des activités liées au tourisme

Avec les mêmes réserves que plus haut quant à la valeur qu'il convient d'accorder aux chiffres obtenus, on peut tirer de MEPP un certain nombre d'indications sur le sens de l'évolution, lors des changements envisagés, des bilans de gestion de toutes les ressources (autres que le travail) échangées ou partagées entre les activités décrites. Ceci concerne en particulier l'eau, l'énergie et les déchets (au sens large) - ressources auxquelles MEPP est particulièrement attentif, du fait de l'importance de leur influence sur plusieurs dimensions essentielles de la qualité de l'environnement. On ne présentera ici, à titre d'exemple, que ce qui concerne la production d'eaux usées (principal déterminant des capacités d'épuration à mettre en place) et les émissions de CO₂ par l'ensemble des activités (ne serait-ce que pour montrer, sachant l'attention qu'on leur porte par ailleurs, qu'on peut aussi bien les estimer).

Ici encore, on note que le modèle MEPP, sous la contrainte qui lui est imposée de ne pas laisser apparaître de surplus d'eaux usées (ce qui correspondrait à des rejets d'eaux usées non traitées), adapte systématiquement les capacités d'épuration aux besoins. [Le développement du tourisme, source d'un développement global sur le territoire du GAM, entraîne donc l'augmentation de la capacité des stations actuelles. A l'inverse, un déclin des activités touristiques fait apparaître une surcapacité de traitement.](#)

On relève que les dernières étapes du développement du tourisme (entre 4 000 à 7 000 emplois) a pour conséquence accessoire, et entre autres, [une augmentation plus importante des émissions globales de CO₂ au niveau du GAM \(8 tonnes par emploi\) que celle qu'on aurait pu observer aux premiers stades de son évolution \(1 tonne par emploi entre 0 et 2 000 emplois\).](#) La portée opérationnelle de cette information reste bien entendu très limitée, sauf à rendre compte de la complexité de l'élaboration des bilans correspondants, qui par construction intègrent le fonctionnement de tous les systèmes productifs (agriculture, habitat, transports, ...).

3. Conclusions générales

Le programme MICROGAM a répondu aux objectifs que les scientifiques avaient fixés à partir de la demande des associations locales. La question majeure pour les associations était de savoir si les rejets en mer de l'émissaire de la station d'épuration de l'Agglomération de Montpellier peuvent contaminer les plages du littoral du Golfe d'Aigues-Mortes (GAM).

Au vue des résultats, la réponse est non car d'une part, la modélisation de la dispersion en mer des bactéries témoin de contamination fécale (BTCF) contenues dans l'effluent et d'autre part, le phénomène de mortalité bactérienne conduit à des concentrations de niveau nul ou non détectable le long du littoral du GAM.

Si l'émissaire en mer pouvait être une préoccupation pour les associations et les acteurs politiques du littoral du GAM, les scientifiques avaient posé la question des apports contaminant par le bassin versant. La quantification des flux aux exutoires du bassin versant dans un contexte hydrologique particulièrement complexe tel que représenté par les fleuves côtiers, les lagunes, les graus et le canal du Rhône à Sète a été un pari majeur pour la réussite du programme MICROGAM. Les nombreuses mesures dans des conditions météorologiques diverses (vent de nord, vent du sud, période sèche, période de pluies intenses, crues) et l'instrumentation de certains exutoires (mesures de débit, préleveurs automatiques) ont permis d'avoir des mesures et leur variabilité des flux de BTCF. Ce travail a permis de simuler les flux de BTCF en relation avec les conditions météorologiques caractéristiques de la région.

D'après les résultats, il est clair que les contributions du bassin versant sont les plus importantes. Ce sont les événements pluvieux qui sont à l'origine de la majorité des apports de bactéries témoins de contamination fécale au GAM. Pendant les diverses phases de crue qui ne représentent au maximum que 20% de jours de l'année, c'est de 92 à 99% de l'apport total annuel qui transitent par les divers exutoires. Ainsi, il existe bien une contamination du littoral du GAM dont les origines sont les apports du bassin versant. Cette contamination reste cependant très faible et bien en dessous des normes de qualité de la directive cadre européenne (eaux de baignade excellente).

Ces résultats montrent bien que le « lessivage » du bassin versant au moment des crues conduit à une augmentation rapide des concentrations de BTCF aux exutoires, ce qui est un phénomène classique dans un système soumis à des conditions climatiques de type méditerranéen. Il apparaît cependant, que les pics de concentration qui suivent les pics de crue, ne sont pas suivis d'une diminution rapide de la concentration en BTCF. Ainsi, les concentrations restent à un niveau élevé durant l'ensemble de l'épisode pluvieux en général de moins d'une semaine.

Ces observations conduisent à se poser la question de la contamination microbiologique d'origine fécale de l'ensemble du bassin versant. Le programme MICROGAM ne pouvait répondre à cette question bien qu'une étude sur les flux potentiel de contamination microbienne a permis de décrire la situation des différentes sources de contamination (stations d'épuration, rejets, élevages, ...).

Ces travaux mettent en évidence la vulnérabilité du littoral à des apports brutaux de contamination au moment des orages et des crues. Ils montrent aussi que malgré des efforts importants de traitement des eaux usées comme la station Maéra, il existe toujours une contamination du bassin versant. Il devient nécessaire d'envisager de futures études considérant que le bassin versant du GAM est soumis à une forte augmentation de l'habitat dispersé sous la pression d'une forte croissance de la démographie. Ces nouveaux habitats s'accompagnent bien souvent de mise en place de systèmes de traitement autonome qui peuvent être une des causes de contamination diffuse du bassin versant. La problématique des pluies d'orage dans les villes et villages (séparation ou pas des eaux de pluie) devra être aussi pris en considération.

Le littoral du Golfe d'Aigues-Mortes est soumis à une très forte affluence touristique en période estivale (6 millions de touristes), la population de plaisanciers/estivants pouvant atteindre 300 000 habitants en pic de fréquentation. Ce tourisme sur le littoral du GAM génère une valeur économique majeure pour la Région Languedoc-Roussillon. Cette affluence a créé une activité économique liée au service écosystémique qu'est la baignade. Lorsque la qualité de l'eau est mauvaise, de sorte que les autorités sont obligées d'en fermer l'accès, les résultats de l'étude montrent alors des impacts économiques importants sur les activités liées aux tourisms (restauration, hôtellerie, ...). L'étude sur les enjeux à long terme montre bien qu'une telle diminution des activités touristiques serait la cause de pertes d'emplois liés directement à ces activités, mais aussi d'emplois autres en nombre encore plus important.

Cette forte affluence des touristes sur les plages du GAM a conduit à se poser une question qui n'était pas envisagée dans le projet MICROGAM. En effet, considérant ce nombre important de personnes qui passe une partie voir la journée entière sur les plages dont la grande majorité n'a aucun aménagement sanitaire, la question se posait d'évaluer la contribution des baigneurs à la contamination des eaux et des dunes du littoral du GAM. Une enquête auprès des usagers a donc été organisée dont l'objectif était de connaître leurs préférences et leur perception des plages. Les résultats particulièrement originaux de cette enquête confirment ce qui est connu. Des chiffres sont produits :

- 54% des personnes qui ont répondu au questionnaire consentent à aller uriner dans la mer et 4% consentent à aller à la selle dans l'eau. Les parents sont 67% à inciter leurs enfants à aller dans la mer pour uriner et 5% des parents auront tendances à inciter leurs enfants à aller à la selle dans la mer.
- 42% des personnes interrogées consentent à aller uriner dans les dunes. Par contre 60% des parents incitent leurs enfants à aller dans les dunes. Une partie importante, 19%, des personnes interrogées consentent aussi à aller à la selle dans les dunes. 28% des parents emmèneraient leurs enfants à la selle dans les dunes.

Si uriner dans la mer ou dans les dunes ne pose pas en principe de problème sur le plan microbiologique (sauf infection urinaire), aller à la selle en mer ou dans les dunes contribue à des apports en bactéries témoins de contamination fécale. Considérant l'affluence touristique, il est évident que cette auto-contamination par les baigneurs pose un problème de santé publique qui pour le moment n'est absolument pas considéré par les autorités administratives. Sur le plan pratique, la conclusion de ce rapport est qu'il y a urgence à considérer l'installation de toilettes publiques sur les plages du GAM. Une réflexion devient nécessaire pour un tel investissement : nombre de toilettes, type de système, entretien, usage, investissement public. De notre point de vue, l'installation de toilettes à accès gratuit, nettoyées plusieurs fois par jour et en nombre suffisant pour éviter un déplacement non incitatif est indispensable pour améliorer la qualité des eaux de baignade. De telles installations pourraient aussi donner une autre perception des plages bénéfique sur le plan touristique.

4. Perspectives : Création d'un Observatoire Hommes-Milieux

Les résultats du programme MICROGAM ouvrent de nouvelles perspectives pour des questions scientifiques. Rappelons que le Golfe d'Aigues-Mortes (GAM), qui s'étend sur la marge occidentale du delta du Rhône, est une zone de transition terre-mer caractérisée par des formations littorales qui prennent souvent la forme de lidos de sables fins séparant les eaux marines des eaux lagunaires. Doté d'un riche patrimoine historique et naturel, ce littoral est depuis longtemps considéré comme un véritable gisement d'opportunités halieutiques et touristiques. A partir des années 1960, d'ambitieuses entités balnéaires et plaisancières (La Grande Motte et Port Camargue) sont apparues dans le cadre d'une dynamique touristique qui s'est répercutée sur les cités littorales préexistantes de Grau du Roi, Carnon-Mauguio, et Palavas.

La prospérité de ces stations balnéaires, imaginées par des architectes d'avant-garde en réponse à une demande sociétale avide de détente et d'évasion, repose étroitement sur la jouissance de l'eau en tant qu'élément visuel et support d'activités récréatives. Le GAM est ainsi devenu une zone touristique de premier plan : une des premières concentrations territoriales de ports de plaisance en Europe, 240 000 lits touristiques, 110 millions de nuitées annuelles, plus d'une centaine de structures intervenant dans les pratiques nautiques, plages et plans d'eau très fréquentés et supports d'une grande diversité d'activités et d'évènements sportifs et festifs (régates, courses de voile, wake board, wake skate, windsurf-kitesurf-surf, aviron de mer, kayak, pêche de loisir, traditionnelles joutes, etc.).

Par ailleurs, ce littoral se caractérise aussi par des villes moyennes situées non pas sur le littoral mais en retrait, avec Montpellier et Nîmes en tête de la hiérarchie. Ces villes, dont la population est en progression ininterrompue depuis plusieurs décennies, impriment leur dynamique sur les bassins versants de tradition essentiellement viticole qui forment l'arrière-pays. Ces derniers connaissent à la fois une déstructuration due à la crise viticole et une restructuration des villages par l'arrivée massive de nouveaux habitants : néo ruraux ayant une activité dans les villes, retraités ou vacanciers. Cette pression urbaine (l'Hérault qui comptait moins de 500 000 habitants en 1954 devrait dépasser les 1,350 million en 2030) soumet le littoral et les lagunes à de nouvelles contraintes qui ne sont plus celles du développement initial des années 60.

La problématique de l'urbanisation littorale méditerranéenne nécessite absolument des recherches interdisciplinaires et un suivi sur le long terme au sein d'un dispositif de type Observatoire Hommes-Milieux (OHM). Conformément aux principes fondateurs d'un OHM, outil créé par l'Institut Ecologie-Environnement (INEE) du CNRS, la façade maritime méditerranéenne de la France se caractérise par une très forte structuration par les activités humaines et par un évènement de nature à rompre ou modifier cet effet structurant. Le fait structurant est la pression urbaine qui se développe depuis plusieurs décennies et qui reste très active aujourd'hui. L'évènement est le changement d'approche - sinon de paradigme - amorcé en France au cours de la décennie 2000 concernant la gestion des espaces côtiers, à savoir la gestion intégrée des zones côtières (GIZC).

La GIZC permet aux acteurs locaux de s'emparer de la question littorale et de s'engager dans des projets de territoires associant la terre et la mer et autorisant des innovations pour mieux encadrer l'urbanisation littorale qui se poursuit. L'OHM « Littoral Méditerranéen » propose d'observer cette situation nouvelle à travers cinq thèmes principaux : qualité des milieux ; gestion et protection des espaces et des milieux ; services éco-systémiques et aménités environnementales ; risques et fonctionnements des territoires ; qualité de vie.

L'Observatoire Hommes-Milieux du littoral méditerranéen a été conjointement créé par l'INEE et l'INSHS (Institut des Sciences Humaines et Sociales) du CNRS, le 1er janvier 2012. Il étudiera les effets de la mise en œuvre d'une gestion intégrée de la zone côtière (GIZC) face au fait structurant que constitue l'urbanisation et les pressions anthropiques côtières en Méditerranée (<http://www.ohm-inee.cnrs.fr/spip.php?article360>).

L'observation et la recherche menées dans le cadre de cet OHM concernent le littoral méditerranéen de la France, étudié à travers trois sites composant un large gradient d'urbanisation et de pression anthropique. Du plus urbanisé au moins soumis aux pressions humaines, ces sites sont : l'agglomération marseillaise au sens large, depuis les bassins portuaires de Fos-sur-Mer à l'Ouest jusqu'à La Ciotat à l'Est ; le golfe d'Aigues-Mortes, de Sète au Grau du Roi, y compris les lagunes littorales et les bassins versants associées ; les rivages de Balagne et de la périphérie sud de Bastia, en Haute-Corse. Les espaces et milieux étudiés correspondent à l'interface entre les domaines marin et terrestre, c'est-à-dire le rivage mais également les zones terrestres et marines qui s'influencent mutuellement de part et d'autre du trait de côte, tant sur les plans écologiques, hydrologiques ou sociétaux (<http://www.ohm-inee.cnrs.fr/spip.php?rubrique115>).

La participation du site du GAM à cet OHM a été proposée comme une suite aux résultats et conclusions du programme MICROGAM. Patrick Monfort, responsable scientifique de MICROGAM, est un des directeurs-adjoints pour le site du GAM dans le cadre de l'OHM « Littoral Méditerranéen ». Les projets scientifiques qui seront initiés par l'OHM seront présentés pour des soutiens financiers auprès du Ministère en charge de l'Environnement, de la Région Languedoc-Roussillon et des systèmes de financement de la recherche. Comme pour Liteau, l'OHM réunira dans ses réflexions l'ensemble des acteurs : associations, collectivités territoriales, services de l'Etat, élus locaux, ...