

ETAPE 3 : Etablissement du modèle « Bassin Versant »

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS..... 5 2. PRESENTATION DU SITE D'ETUDE..... 6 2.1 Le système hydrographique du Bassin de Thau 6 2.1.1 Zone géographique étudiée : le bassin versant superficiel (340 km ²) 6 2.1.2 Contexte climatique méditerranéen 6 2.1.3 Sectorisation de la zone d'étude 8 2.2 Les sources de pollution microbienne sur le bassin versant superficiel 12 2.2.1 Sources ponctuelles 12 2.2.2 Sources diffuses 14 2.3 Les informations disponibles sur la zone d'étude 16 2.3.1 Recensement bibliographique 16 2.3.2 Inventaire des données 18 2.3.3 Critique des données 24 3. DESCRIPTION DES PHENOMENES ETUDIES..... 26 3.1 La dynamique des écoulements dans les rivières intermittentes 26 3.1.1 Processus de versant 26 3.1.2 Processus souterrains 26 3.1.3 Propagation des écoulements 27 3.2 La dynamique des <i>Escherichia coli</i> sur les petits bassins versants côtiers 27 3.2.1 Devenir des <i>E. coli</i> sur un bassin versant : comportement général 27 3.2.2 Cas particulier des petits bassins versants côtiers méditerranéens 28 3.3 Impact sur la modélisation 29 4. DESCRIPTION DU MODELE..... 31 4.1 Type de modèle 31 4.2 Structure du modèle 31 4.3 Principes et hypothèses de modélisation 32 4.3.1 Modélisation des écoulements 32 4.3.2 Modélisation de la pollution 35 4.4 Limites du modèle 38 5. VALIDATION DU MODELE 40 5.1 Hydrogrammes 40 5.2 Rejets de stations d'épuration 41 5.3 Lessivage urbain 42 5.4 Lessivage rural 44 5.5 Déversement par les réseaux d'assainissement collectif 45 5.5.1 Résultats de calage 45 5.5.2 Incertitudes 48 5.6 Relargage par stocks-rivieres 49 5.7 Pollutogrammes 50 6. SIMULATION DES EVENEMENTS DE PROJET 52 6.1 Hypothèses de base 52 6.1.1 Pluies de projet 52 6.1.2 Niveaux de l'étang 53 6.1.3 Hypothèses concernant les chaînes de PR et les stations d'épuration 53 6.1.4 Durée de la période de temps sec 53 6.2 Interfaçage avec modèle « lagune » 55 6.3 Simulation de l'évènement pluvieux de période de retour 2 ans 58 6.3.1 Apports en <i>E. coli</i> à la lagune 58 6.3.2 Hiérarchisation des exutoires lagunaires par source de pollution 64 6.4 Simulation de l'évènement pluvieux de période de retour 5 ans 65 6.4.1 Apports en <i>E. coli</i> à la lagune 65 6.4.2 Hiérarchisation des exutoires lagunaires par source de pollution 71 7. HYPOTHESES POUR LES SIMULATIONS EN PERIODE DE TEMPS SEC 72 8. CONCLUSIONS 73	
---	--

ANNEXE 1 : GRAPHIQUES DE CALAGE – HYDROGRAMMES..... 74

ANNEXE 2 : GRAPHIQUES DE CALAGE – REJETS DES STATIONS D’EPURATION 91

ANNEXE 3 : GRAPHIQUES DE CALAGE – POSTES DE RELEVAGE 102

ANNEXE 4 : GRAPHIQUES DE CALAGE – POLLUTOGRAMMES..... 119

FIGURES

Figure 1 : Schéma de principe du projet OMEGA-THAU. 5

Figure 2 : Chronogramme des étapes du projet OMEGA-THAU. 5

Figure 3 : Carte de localisation géographique du Bassin de Thau. 6

Figure 4 : Carte du système hydrographique du Bassin de Thau. 6

Figure 5 : Courbes de températures normales mensuelles à Sète calculées sur la période de 1949 à 2008. 7

Figure 6 : Histogramme des cumuls pluviométriques annuels à Sète sur la période de 1951 à 2008. 8

Figure 7 : Carte des bassins versants lagunaires. 9

Figure 8 : Carte d'implantation des profils en travers. 19

Figure 9 : Carte de localisation des pluviomètres (étape 2). 21

Figure 10 : Carte de localisation des points de suivi des débits des cours d'eau (étape 2). 22

Figure 11 : Schéma du comportement hydrologique du bassin versant. 26

Figure 12 : Schéma des processus régissant le devenir des bactéries fécales rejetées en rivière. 28

Figure 13 : Schéma du fonctionnement du bassin versant des lagunes. 30

Figure 14 : Aperçu de la structure du modèle. 31

Figure 15 : Schéma de la transformation pluie-débit. 32

Figure 16 : Organisation générale des calculs pour la transformation pluie-débit. 33

Figure 17 : Schéma de la propagation en rivière selon le modèle de Muskingum. 34

Figure 18 : Courbes des relations entre la pluie, le débit sortant et la concentration en sortie de station
d'épuration. 35

Figure 19 : Résultats du calage du lessivage urbain au point P31bis – Loupian-Bourbou – Octobre 2007. 42

Figure 20 : Résultats du calage du lessivage urbain au point P31bis – Loupian-Bourbou – Janvier 2008. 43

Figure 21 : Résultats du calage du lessivage urbain au point P31bis – Loupian-Bourbou – Novembre
2008. 43

Figure 22 : Résultats du calage du lessivage rural au point P1 – Nègues-Vacques – Janvier 2008. 44

Figure 23 : Résultats du calage du lessivage rural au point P140 – Rural de Marseillan – Novembre 2008. 44

Figure 24 : Hyétoigrammes de projet. 53

Figure 25 : Carte des 20 exutoires lagunaires. 55

Figure 26 : Hydrogrammes de projet de période de retour 2 ans. 56

Figure 27 : Hydrogrammes de projet de période de retour 5 ans. 57

Figure 28 : Apports en E. coli à la lagune pour l'évènement pluvieux de période de retour 2 ans en hors
saison. 60

Figure 29 : Apports en E. coli à la lagune pour l'évènement pluvieux de période de retour 2 ans en saison
estivale. 62

Figure 30 : Apports en E. coli à la lagune pour l'évènement pluvieux de période de retour 5 ans en hors
saison. 67

Figure 31 : Apports en E. coli à la lagune pour l'évènement pluvieux de période de retour 5 ans en saison
estivale. 69

TABLEAUX

Tableau 1 : Nomenclature Corine Land Cover 2006.....	8
Tableau 2 : Caractéristiques des sous-bassins versants.....	10
Tableau 3 : Stations d'épuration situées sur le bassin versant superficiel de l'étang de Thau.....	12
Tableau 4 : Populations raccordées et capacités de traitements des stations d'épuration « potentiellement impactantes ».....	12
Tableau 5 : Charges entrantes et sortantes en E. coli des stations d'épuration.....	13
Tableau 6 : Types de traitement épuratoire et performances d'élimination bactériennes.....	13
Tableau 7 : Apports en E. coli à l'étang de Thau des rejets des systèmes d'assainissement autonome.....	13
Tableau 8 : Apports en E. coli à l'étang de Thau des rejets des eaux industrielles.....	14
Tableau 9 : Populations humaines et canines des communes du Bassin de Thau.....	15
Tableau 10 : Sites d'élevage des communes du Bassin de Thau.....	15
Tableau 11 : Secteurs du bassin versant investigués au cours des évènements suivis durant l'étape 2.....	23
Tableau 12 : Valeurs usuelles du Curve Number de la méthode SCS.....	33
Tableau 13 : Paramètres empiriques pour la modélisation des stations d'épuration.....	35
Tableau 14 : Ratio entre la production animale de plusieurs espèces et la production humaine.....	37
Tableau 15 : Résultats du calage des apports en eau douce au point P5 – Aygues-Vacques.....	40
Tableau 16 : Résultats du calage des apports en eau douce au point P30 – Sesquier.....	40
Tableau 17 : Résultats du calage des apports en eau douce au point P30bis – Pallas.....	40
Tableau 18 : Résultats du calage des apports en eau douce au point P31bis – Loupian-Bourbou.....	40
Tableau 19 : Résultats du calage des apports en eau douce au point P41 – Joncas.....	40
Tableau 20 : Résultats du calage des apports en eau douce au point P57triA – Vène.....	40
Tableau 21 : Résultats du calage des apports en eau douce au point P58 – Agau-Canal du Moulin.....	41
Tableau 22 : Résultats du calage des apports en eau douce au point P157 – Fontanilles.....	41
Tableau 23 : Résultats du calage des apports en eau douce au point P158 – Soupié.....	41
Tableau 24 : Résultats du calage du rejet de la STEP de Montbazin.....	41
Tableau 25 : Résultats du calage du rejet de la STEP de Gigean-Embosque.....	41
Tableau 26 : Résultats du calage du rejet de la STEP de Poussan-Bouzigues.....	41
Tableau 27 : Résultats du calage du rejet de la STEP de Mèze-Loupian.....	42
Tableau 28 : Résultats du calage du rejet de la STEP de Villeveyrac.....	42
Tableau 29 : Résultats du calage du rejet de la STEP de Pinet-Pomerols.....	42
Tableau 30 : Résultats du calage pour la chaîne de PR de Marseillan.....	45
Tableau 31 : Résultats du calage pour la chaîne de PR de Pinet-Pomerols.....	45
Tableau 32 : Résultats du calage pour la chaîne de PR de Mèze.....	46
Tableau 33 : Résultats du calage pour la chaîne de PR de Villeveyrac.....	46
Tableau 34 : Résultats du calage pour la chaîne de PR de Poussan-Bouzigues.....	46
Tableau 35 : Résultats du calage pour la chaîne de PR de Montbazin.....	47
Tableau 36 : Résultats du calage pour la chaîne de PR de Balaruc Les Bains, Balaruc le Vieux et La Peyrade.....	47
Tableau 37 : Résultats du calage pour la chaîne de PR de Sète.....	48
Tableau 38 : Synthèse des apports en log E.Coli des déversements des PR par bassin versant pour les campagnes de mesure.....	48
Tableau 39 : Mise en relation des durées de déversement calculées, avec les durées d'alarme haute enregistrées dans le cadre de la télésurveillance.....	48
Tableau 40 : 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.....	50
Tableau 41 : Apports globaux en E. coli – Octobre 2007.....	50
Tableau 42 : Apports globaux en E. coli – Janvier 2008.....	50
Tableau 43 : Apports globaux en E. coli – Novembre 2008.....	51
Tableau 44 : Apports globaux en E. coli – Février 2009.....	51
Tableau 45 : Coefficients a et b de Montana à Mauguio (aéroport Montpellier-Fréjorgues).....	52
Tableau 46 : Quantiles de précipitations à Sète (Sémaphore).....	52
Tableau 47 : Quantiles du niveau de l'étang de Thau.....	53

Tableau 48 : Durées de temps secs maximales en saison estivale et hors saison.....	54
Tableau 49 : Débit de pointe et volume maximal en 24h pour les crues de période de retour 2 et 5 ans.....	55
Tableau 50 : Apports en E. coli à la lagune pour l'évènement pluvieux de période de retour 2 ans en hors saison.....	58
Tableau 51 : Apports en E. coli à la lagune pour l'évènement pluvieux de période de retour 2 ans en saison estivale.....	58
Tableau 52 : Hiérarchisation des sources de pollution par exutoire lagunaire pour l'évènement pluvieux de période de retour 2 ans en hors saison.....	59
Tableau 53 : Hiérarchisation des sources de pollution par exutoire lagunaire pour l'évènement pluvieux de période de retour 2 ans en saison estivale.....	59
Tableau 54 : Hiérarchisation des exutoires lagunaires par source de pollution pour l'évènement pluvieux de période de retour 2 ans – hors saison.....	64
Tableau 55 : Hiérarchisation des exutoires lagunaires par source de pollution pour l'évènement pluvieux de période de retour 2 ans –saison estivale.....	64
Tableau 56 : Apports en E. coli à la lagune pour l'évènement pluvieux de période de retour 5 ans en hors saison.....	65
Tableau 57 : Apports en E. coli à la lagune pour l'évènement pluvieux de période de retour 5 ans en saison estivale.....	65
Tableau 58 : Hiérarchisation des sources de pollution par exutoire lagunaire pour l'évènement pluvieux de période de retour 5 ans en hors saison.....	66
Tableau 59 : Hiérarchisation des sources de pollution par exutoire lagunaire pour l'évènement pluvieux de période de retour 5 ans en saison estivale.....	66
Tableau 60 : Hiérarchisation des exutoires lagunaires par source de pollution pour l'évènement pluvieux de période de retour 5 ans – hors saison.....	71
Tableau 61 : Hiérarchisation des exutoires lagunaires par source de pollution pour l'évènement pluvieux de période de retour 5 ans –saison estivale.....	71
Tableau 62 : Flux de pollution calculés aux exutoires du bassin versant en période de temps sec.....	72

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

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, EGISEau, BRLi, CABT, CCNBT, AERM&C).

Ce rapport s'inscrit dans l'étape 3 de la phase 1 du projet qui vise 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 sera constitué de deux modèles : un modèle « bassin versant » dont une des finalités sera de fournir les flux de pollution au modèle « lagune » qui gèrera le transport et la dispersion de ces contaminants dans les eaux de l'étang, les deux modèles étant compatibles en terme de variables simulées, de processus pris en compte (mortalité sous l'action de la lumière de la T°, des charges en MES).

Les objectifs de l'étape 3 sont les suivants :

- le développement, la calibration et la validation d'un modèle de transfert sur le bassin versant des flux polluants de la source à l'exutoire du bassin versant. Le modèle va permettre d'estimer le mode et le temps de transfert des rejets à la lagune par rejets directs dans le cours d'eau, ou, dans un contexte d'étiages sévères, par un stockage des produits polluants dans le lit avec une remise en suspension lors des épisodes pluvieux ;
- la validation et la calibration du modèle hydrodynamique MARS-3D de l'étang de Thau couplé à un module biologique simulant le devenir des entérobactéries *Escherichia coli* dans les eaux lagunaires, dans la perspective de son application dans les étapes suivantes.

BRLi et Egis Eau sont chargés de l'établissement du modèle « bassin versant ».

Ifremer est en charge de la validation du modèle « lagune ».

Le présent document concerne l'établissement du modèle « bassin versant ».

Figure 1 : Schéma de principe du projet OMEGA-THAU.

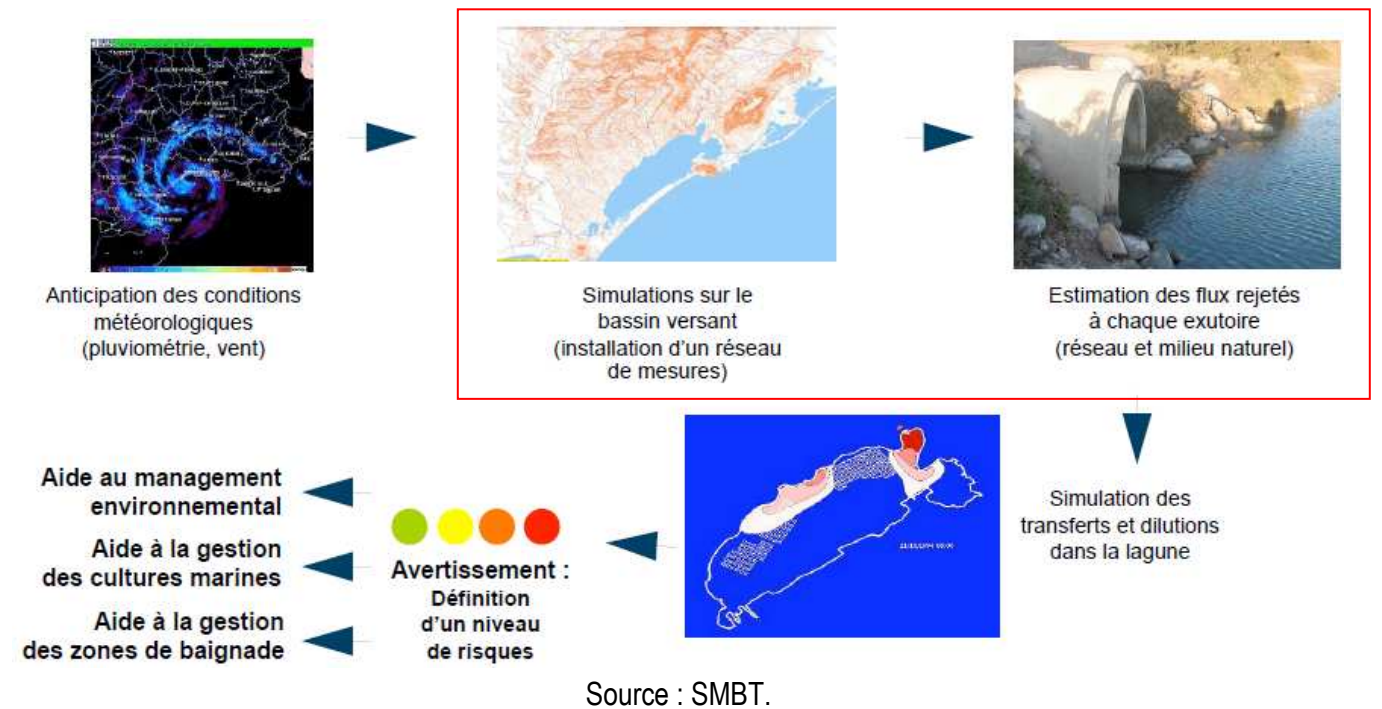
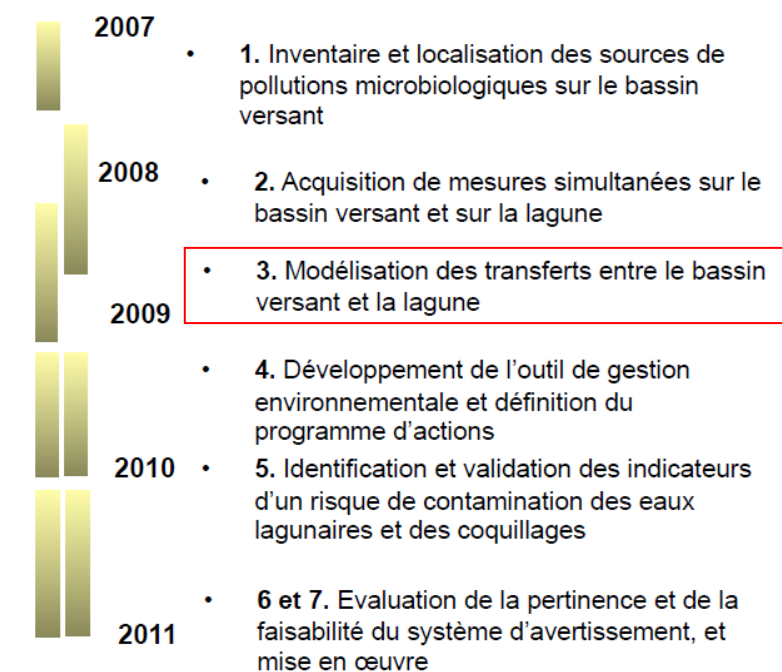


Figure 2 : Chronogramme des étapes du projet OMEGA-THAU.



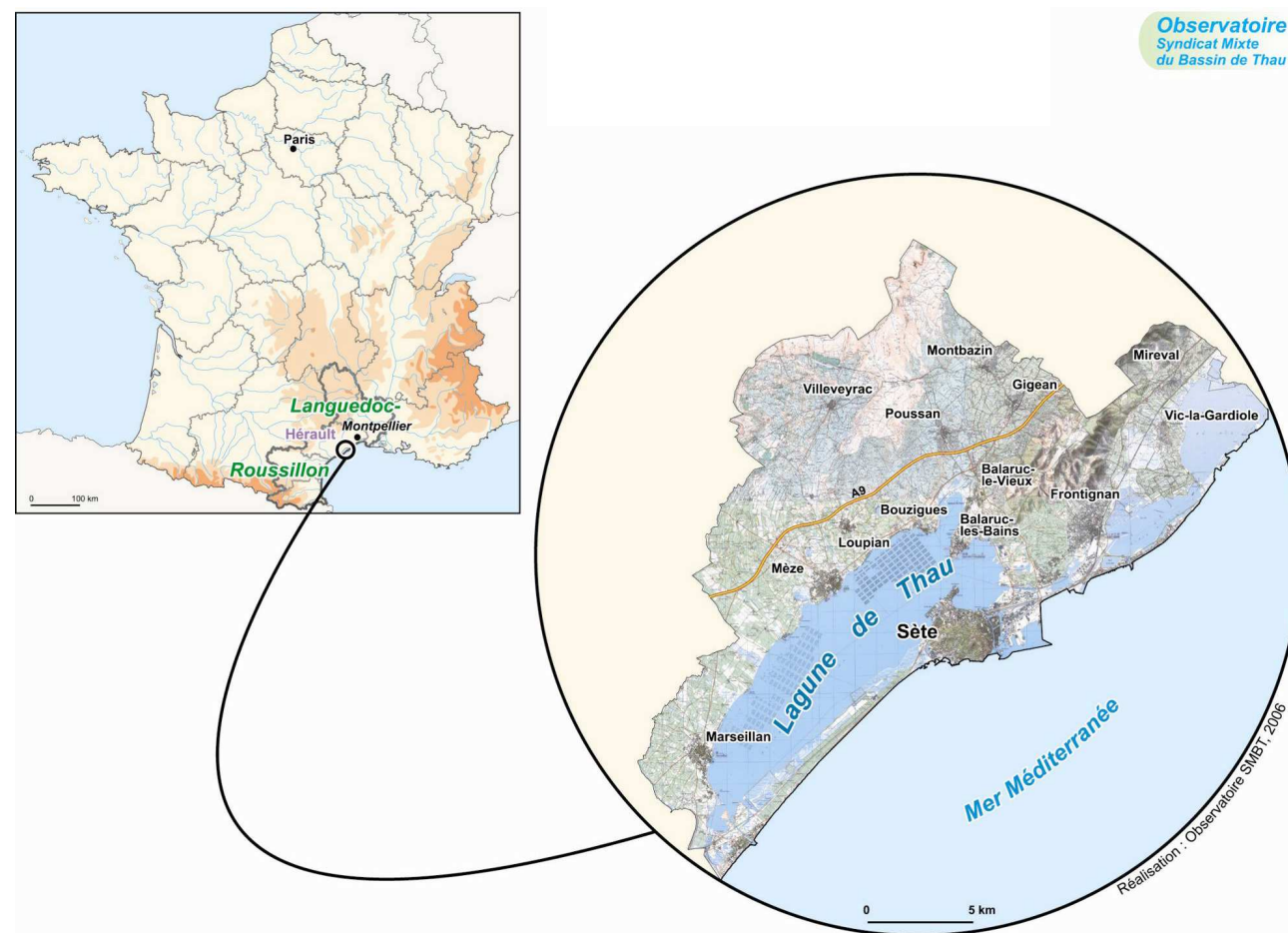
Source : SMBT.

2. PRESENTATION DU SITE D'ETUDE

2.1 LE SYSTEME HYDROGRAPHIQUE DU BASSIN DE THAU

2.1.1 Zone géographique étudiée : le bassin versant superficiel (340 km²)

Figure 3 : Carte de localisation géographique du Bassin de Thau.

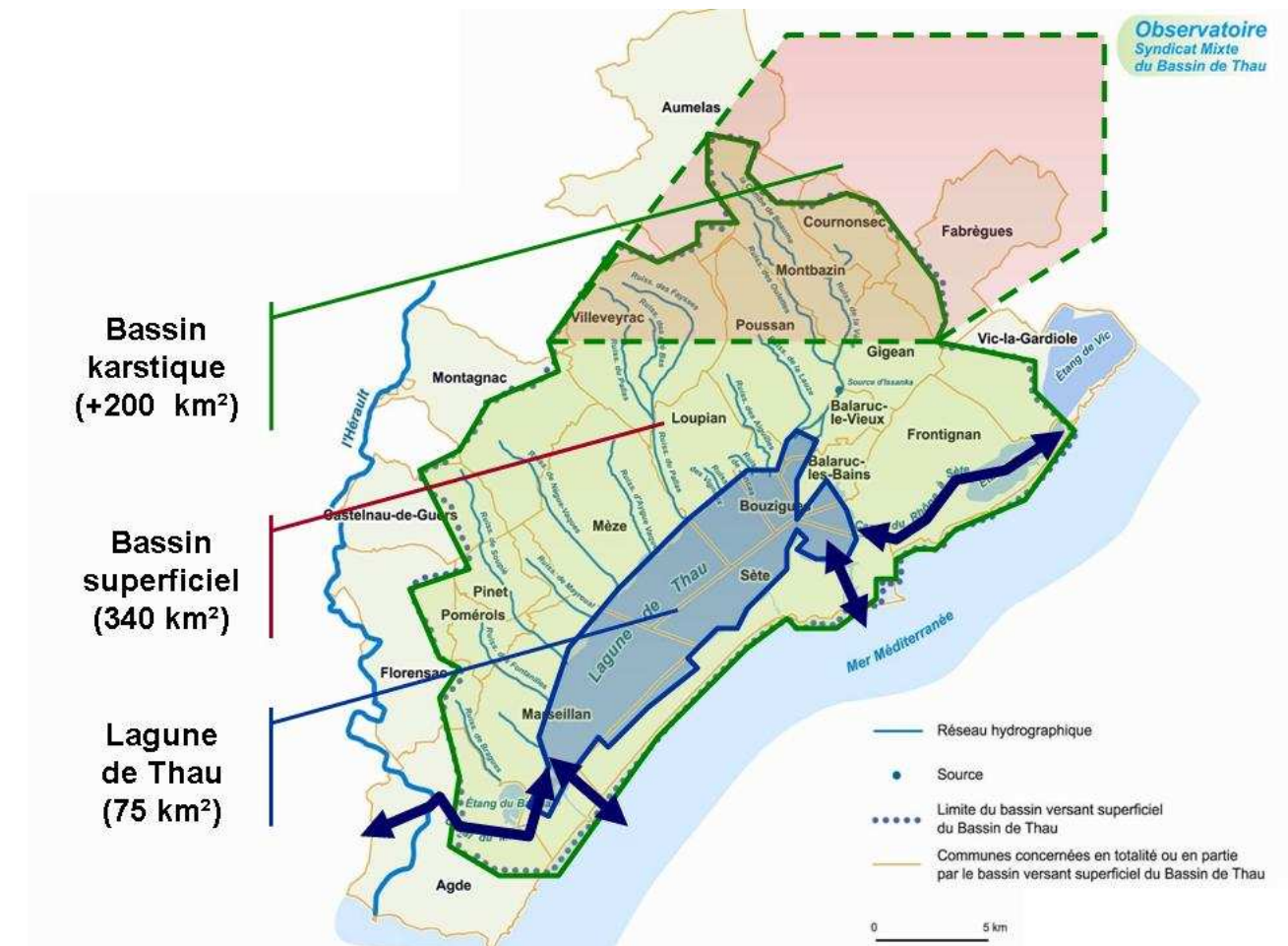


Sources : IGN, SMBT.

Le Bassin de Thau représente avec son bassin versant commandé par le réseau hydrographique et le relief, une superficie totale de 400 km² environ dont 75 km² occupés par la lagune. Avec les systèmes karstiques qui participent indirectement à la dynamique des eaux de la lagune incluant notamment l'Astien, le Plio-quaternaire, la Gardiole et le Causse d'Aumelas, cette superficie est portée à plus de 600 km² (Bérard, 1995).

Les échanges entre la lagune et la mer s'effectuent principalement via le Canal Royal mais également par le Canal des Quilles et le Grau de Pisse-Saumes. D'autres échanges s'effectuent via le Canal du Rhône à Sète, le Canal du Midi. Enfin, le Canal du Domaine de Listel est relié hydrauliquement à la lagune via la station de pompage de Villeroy.

Figure 4 : Carte du système hydrographique du Bassin de Thau.



Sources : IGN, SMBT.

La modélisation « bassin versant » concerne le bassin versant superficiel du Bassin de Thau, soit une superficie drainante de 340 km².

2.1.2 Contexte climatique méditerranéen

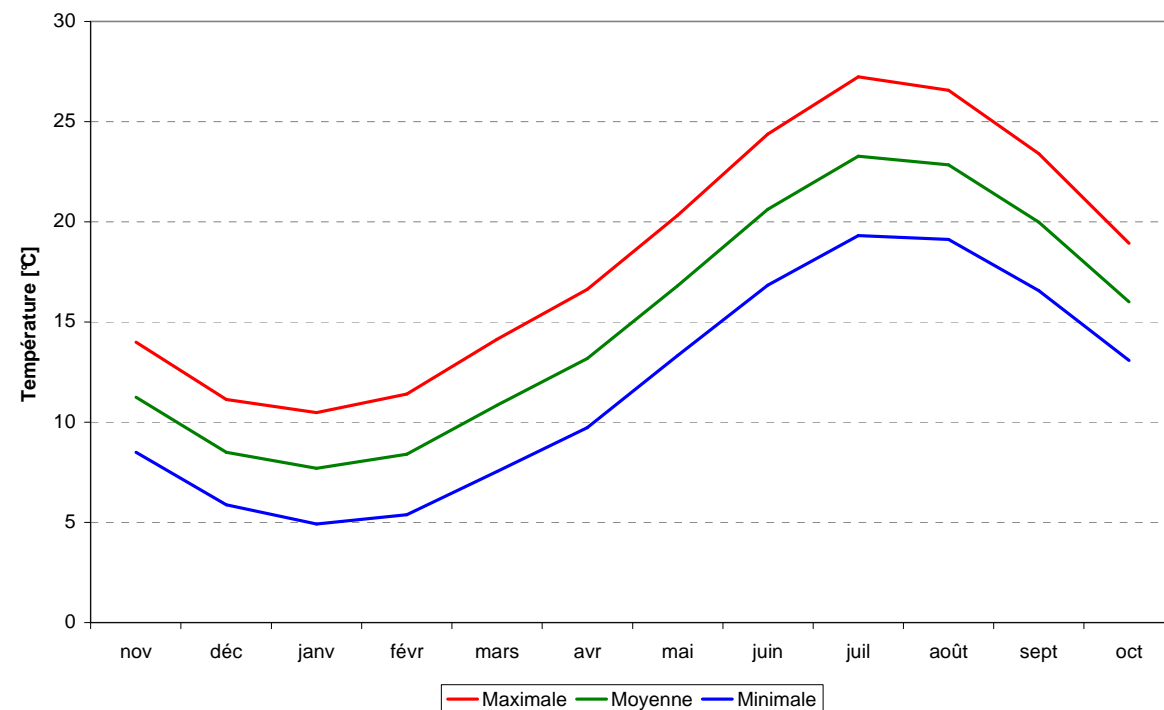
Le Bassin de Thau est soumis à un climat de type méditerranéen avec des étés chauds et secs, des hivers doux, des épisodes pluviométriques concentrés à l'automne et au début du printemps.

Remarque : On peut considérer que les conditions météorologiques à Sète sont représentatives des conditions climatiques à l'échelle globale du Bassin de Thau. En effet, sur les dix dernières années (1999-2008), la moyenne des pluies interannuelles sur les stations de Marseillan, Florensac, Mèze, Sète et Montbazin (le positionnement de ces 5 postes permet un découpage spatial homogène de la zone d'étude) est de 574 mm/an. Ce qui correspond quasiment à la pluviométrie moyenne interannuelle pour le seul poste de Sète calculée sur la même période (572 mm/an).

L'analyse des températures moyennes, minimales et maximales journalières sur la période de 1949 à 2008 enregistrées à la station climatologique Météo-France de Sète en considérant l'année civile (du 1^{er} novembre au 31 octobre) montre que :

- la température moyenne journalière est :
 - ◆ de l'ordre de 15°C sur l'année,
 - ◆ comprise entre 8 et 13°C en moyenne sur les mois de novembre à avril,
 - ◆ comprise entre 16 et 23°C en moyenne sur les mois de mai à octobre ;
- les minimales oscillent entre :
 - ◆ 5 et 10°C en moyenne sur les mois de novembre à avril,
 - ◆ 13 et 19°C en moyenne sur les mois de mai à octobre,
 - ◆ avec un record historique de - 12°C le 10/02/1956 ;
- les maximales oscillent entre :
 - ◆ 10 et 17°C en moyenne sur les mois de novembre à avril,
 - ◆ 19 et 27°C en moyenne sur les mois de mai à octobre,
 - ◆ avec un record historique de 37°C le 23/07/2006.

Figure 5 : Courbes de températures normales mensuelles à Sète calculées sur la période de 1949 à 2008.



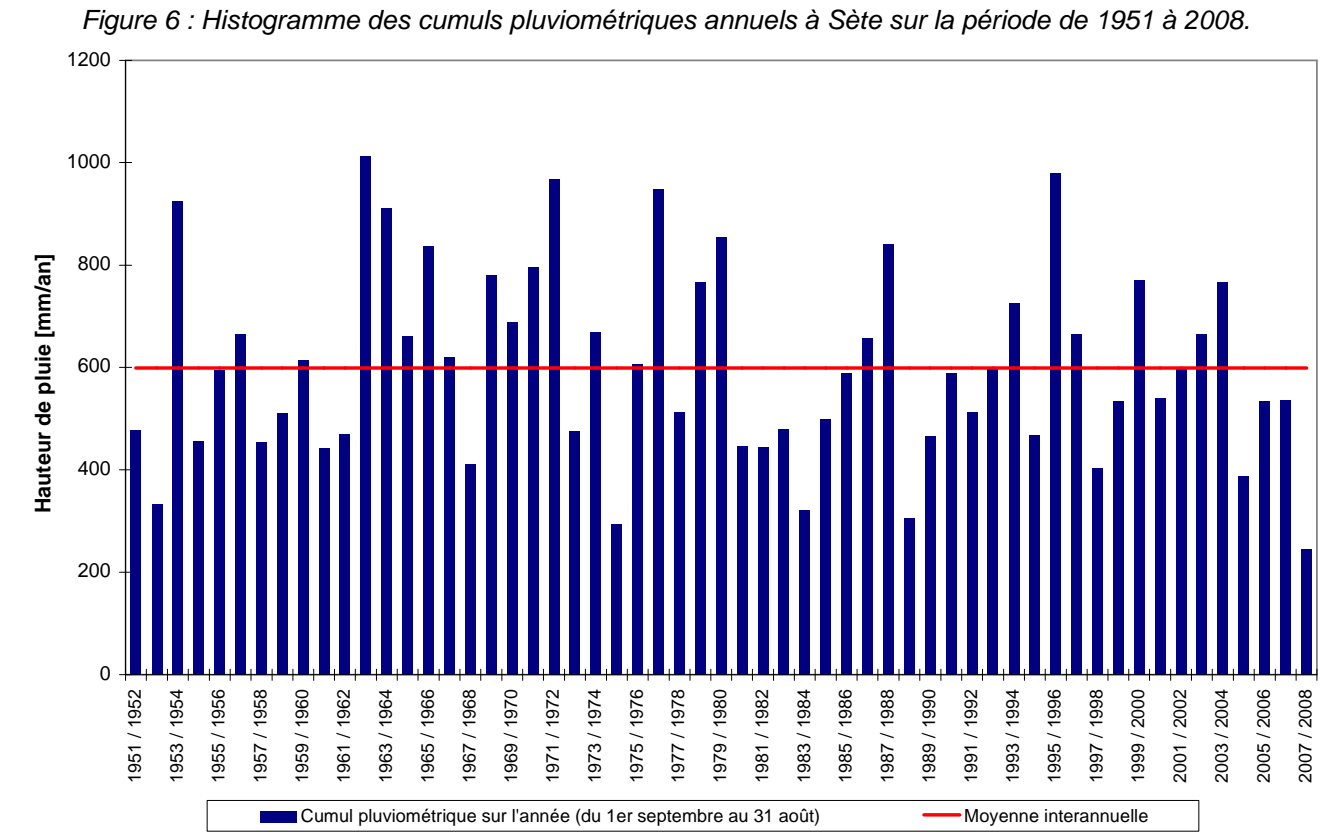
Source : Météo-France.

Les températures élevées, à l'origine d'une très forte évaporation et évapotranspiration, et les modestes précipitations avec toutefois de grandes variations saisonnières et interannuelles, sont à l'origine de précipitations efficaces épisodiques et réduites (Bérard, 1995).

L'analyse des cumuls pluviométriques journaliers sur la période de 1951 à 2008 enregistrées à la station climatologique Météo-France de Sète en considérant le cycle hydrologique du 1^{er} septembre au 31 août montre que :

- il pleut en moyenne 85 jours par an dont :
 - ◆ 28 jours seulement avec une pluie supérieure à 5 mm,
 - ◆ 17 jours seulement avec une pluie supérieure à 10 mm,
 - ◆ 8 jours seulement avec une pluie supérieure à 20 mm,
 - ◆ 5 jours seulement avec une pluie supérieure à 30 mm ;
- les pluies journalières maximales (supérieures à 100 mm/j) observées sont :

◆ 151.2 mm le 25/10/1985,	◆ 118.7 mm le 14/01/1971,
◆ 144.6 mm le 08/01/1979,	◆ 107.7 mm le 09/07/1958,
◆ 140.1 mm le 15/10/1965,	◆ 105.9 mm le 14/03/1971,
◆ 135.2 mm le 22/03/1969,	◆ 105.0 mm le 09/10/2002,
◆ 129.2 mm le 04/11/1964,	◆ 101.8 mm le 05/11/1984,
◆ 129.0 mm le 03/09/1999,	◆ 101.2 mm le 03/12/2003.
◆ 125.0 mm le 12/10/2006,	
- la pluviométrie moyenne interannuelle est de l'ordre de 600 mm/an ;
 - ◆ avec une forte variabilité interannuelle : écart-type de 190 mm/an, minimum observé de 245 mm/an pour l'année hydrologique 2007-2008, maximum observé de 1013 mm/an sur 1962-1963 ;
 - ◆ et une forte variabilité intra-annuelle (ou saisonnière) : le cumul pluviométrique interannuel est de 385 mm pour la saison de septembre à février (6 premiers mois) contre seulement 217 mm sur la saison de mars à août (6 derniers mois), le mois d'octobre est le plus pluvieux avec une pluviométrie moyenne de 101 mm/mois, le mois de juillet est le plus sec avec 15 mm/mois.



Source : Météo-France.

En zone méditerranéenne, près de la moitié des bassins versants côtiers sont de faible superficie, du fait du morcellement des structures hydrographiques qui caractérise cet espace (Margat et al, 2004). Sous l'effet des épisodes pluvieux intenses typiques du climat méditerranéen, ces bassins versants côtiers ont des réponses rapides et souvent de courtes durées. Du fait de ce comportement intermittent, les flux de bactéries, produits sur ces petits bassins et véhiculés par les réseaux hydrographiques jusqu'à l'exutoire, passent en un temps très court, lors des épisodes de crues (Serrat et al, 2001).

2.1.3 Sectorisation de la zone d'étude

La zone d'étude a été subdivisée selon trois niveaux :

- **20 bassins lagunaires** : ce découpage a été effectué en prenant en compte les contraintes liées à la typologie du modèle « lagune » (maille spatiale de 100 m), ce qui a parfois nécessité le regroupement de sous-bassins versants principaux ; les exutoires lagunaires constituent à la fois les nœuds de sortie du modèle « bassin versant » et les points d'entrée du modèle « lagune » ; en chacun de ces nœuds, le modèle « bassin versant » fournit au modèle « lagune », un hydrogramme (débit en fonction du temps) et un pollutogramme (nombre de bactéries en fonction du temps) ;
- **27 sous-bassins versants principaux** : ces zones résultent du découpage du bassin versant superficiel en unités hydrologiques globales possédant un exutoire réel avec la lagune ; elles incluent également les zones humides (à l'exception de l'étang des Moulières qui est intégré dans le modèle « lagune ») et regroupent plusieurs sous-bassins versants secondaires ;

- **78 sous-bassins versants secondaires** : ils correspondent à des sous-unités hydrologiques cohérentes et ce découpage constitue la maille la plus fine d'analyse.

Les résultats des simulations des événements de projet seront présentés au niveau des exutoires lagunaires car les raisonnements dans les étapes suivantes du projet (définition des Flux Maximaux Admissibles et programmes de travaux) seront conduits à cette échelle (cf. Figure 7).

Le Tableau 1 ci-dessous fournit la table de correspondance entre les codes utilisés dans le Tableau 2 et le type d'occupation des sols.

Tableau 1 : Nomenclature Corine Land Cover 2006.

Code	Libellé
11	Zones urbanisées
12	Zones industrielles ou commerciales et réseaux de communication
13	Mines, décharges et chantiers
14	Espaces verts artificialisés, non agricoles
21	Terres arables
21	Cultures permanentes
21	Prairies
21	Zones agricoles hétérogènes
31	Forêts
31	Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée
31	Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation
41	Zones humides intérieures
41	Zones humides maritimes
51	Eaux continentales
52	Eaux maritimes

Source : IFEN.

Figure 7 : Carte des bassins versants lagunaires.

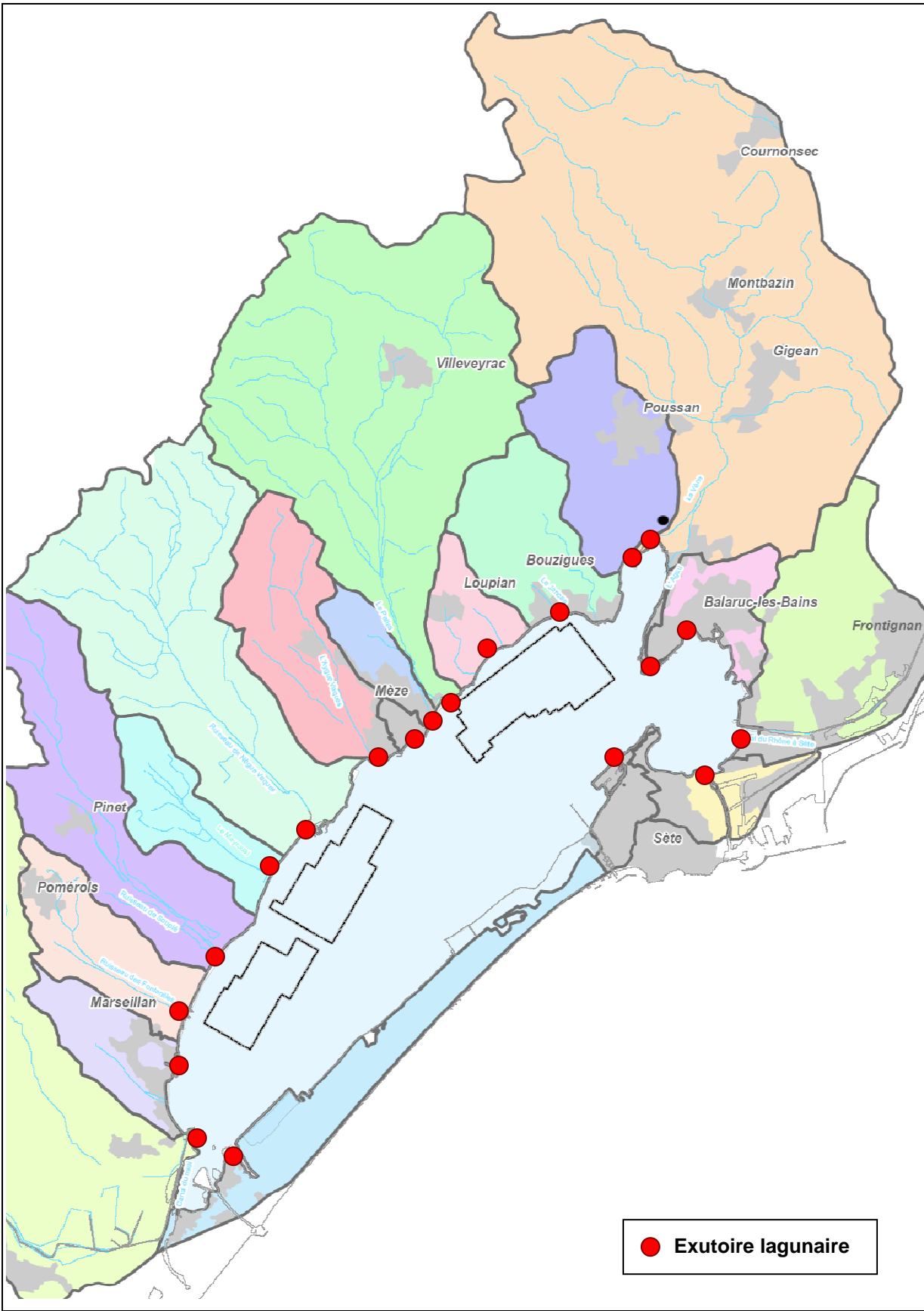


Tableau 2 : Caractéristiques des sous-bassins versants.

Exutoire lagunaire	Sous-BV principal	Sous-BV secondaire	Périmètre (km)	Longueur (km)	Pente (m/m)	Constante Gravelius	Surface active (ha)	Géologie Sableux-argileux	Marno-argileux	Karstique	Occupation du sol (ha)															
											11	12	13	14	21	22	23	24	31	32	33	41	42	51	52	
Grau du XVIème	Grau du XVIème	Grau du XVIème	32.6	0.3	0.003	3.5	694	100%	0%	0%	40.00	0.00	36.12	26.42	0.00	422.43	0.00	60.64	0.00	0.00	84.92	0.00	369.97	0.00	21.28	
	Granet	Granet	6.1	0.4	0.005	2.3	56	100%	0%	0%	52.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	46.80	0.00	15.12	
Canal du Midi	Canal du Midi	Canal du Midi	39.1	4.3	0.004	2.7	1660	0%	100%	0%	325.35	81.19	0.00	0.00	41.66	2917.10	76.23	485.36	0.00	30.25	10.63	81.16	101.30	0.77	183.25	
Port de Marseillan	Bellebouche	Infirmierie	1.5	0.4	0.012	1.2	12	0%	100%	0%	10.63	0.00	0.00	0.00	0.00	1.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	
		Garrigues	1.2	0.4	0.008	1.6	4	0%	100%	0%	3.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		Croix de Fer	1.2	0.4	0.028	1.8	4	0%	100%	0%	3.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	
		Bellebouche	1.8	0.5	0.016	1.3	16	0%	100%	0%	14.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.63	0.00	0.07	
		Argentié	1.7	0.6	0.021	1.3	13	0%	100%	0%	4.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.68	0.00	2.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		Rural Marseillan	9.9	3.5	0.007	1.7	255	0%	100%	0%	6.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	248.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29
		Galion	1.8	0.6	0.009	1.7	9	0%	100%	0%	3.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	
	Port de Marseillan	Clos de l'étang	1.3	0.5	0.014	1.3	8	0%	100%	0%	8.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09
		Port de Plaisance	5.5	2.1	0.011	1.6	96	0%	100%	0%	62.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Pioch de Pire	10.2	3.5	0.006	2.1	188	0%	100%	0%	28.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	159.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	
		Port de Tabarka	1.4	0.3	0.007	1.6	6	0%	100%	0%	5.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		Port de Commerce	4.4	1.7	0.004	2.0	39	0%	100%	0%	28.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	
Fontanilles	Fontanilles	Pomerols	6.7	2.1	0.013	1.2	253	0%	100%	0%	89.73	0.00	0.00	0.00	0.00	163.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	Fontanilles Sud	13.8	3.7	0.005	1.5	657	0%	100%	0%	7.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	649.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.42	
Soupié	Soupié	Font du Buard	11.8	3.9	0.010	1.3	639	0%	100%	0%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	196.54	0.00	179.06	46.60	216.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		Pinet Est	13.2	3.7	0.009	1.8	428	0%	100%	0%	3.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	340.54	0.00	71.51	12.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		Pinet Centre	11.4	2.8	0.011	1.6	401	0%	100%	0%	39.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	361.57	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	
		Pinet Sud	11.4	3.1	0.003	1.3	639	0%	100%	0%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	69.90	569.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	
Mayroual	Mayroual	Mayroual	14.7	4.7	0.010	1.5	739	0%	100%	0%	0.00	0.00	0.00	0.00	221.75	467.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	49.72	0.00	0.00	0.00	
Nègues-Vacques	Nègues-Vacques	Trou du Renard	13.2	3.9	0.023	1.3	784	0%	100%	0%	0.00	0.00	0.00	0.00	5.16	599.66	0.00	36.90	142.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		Nègues-Vacques Sud	18.7	3.7	0.003	1.6	1120	0%	100%	0%	0.00	17.46	0.00	0.00	0.00	326.69	645.88	0.00	127.75	0.00	0.00	0.00	0.00	2.53	0.00	0.13
		Saint Martin	27.0	3.0	0.004	1.9	1528	0%	100%	0%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	234.72	768.85	0.00	364.95	141.49	17.73	0.00	0.00	0.00	0.00	
Aygues-Vacques	Aygues-Vacques	Frigoule	13.3	2.1	0.003	1.3	789	0%	100%	0%	10.33	29.24	0.00	0.00	172.41	250.71	0.00	320.62	5.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		Aygues-Vacques Sud	12.1	4.5	0.006	1.4	552	0%	100%	0%	94.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	346.95	0.00	50.59	0.00	0.00	0.00	59.86	0.00	0.23	
Port de Mèze	Port de Mèze	Pluvial enterré 600	1.5	0.4	0.015	1.3	10	0%	100%	0%	10.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		Pluvial enterré 2200	4.2	0.8	0.012	1.9	40	0%	100%	0%	40.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	
		Pluvial enterré 1000	2.6	1.2	0.008	1.5	24	0%	100%	0%	23.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		Port Nacelles	1.2	0.4	0.008	1.5	5	0%	100%	0%	5.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.78	
Sesquier	Sesquier	Sesquier	9.9	3.3	0.007	1.4	374	0%	100%	0%	123.35	0.00	0.00	0.00	0.00	248.21	0.00	2.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17		
Pallas	Pallas	Villeveyrac Centre	6.5	1.5	0.021	1.2	231	0%	100%	0%	66.47	0.00	0.00	0.00	0.00	153.81	0.00	10.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		Villeveyrac Ouest	14.7	5.4	0.014	1.2	1129	0%	49%	51%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	512.67	0.00	351.08	50.96	214.18	0.00	0.00	0.00	0.00	
		Coquillades	14.2	5.8	0.014	1.8	514	0%	100%	0%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	279.60	0.00	125.58	75.59	33.36	0.00	0.00	0.00	0.00	
		Veyrac	19.8	4.0	0.006	1.6	1256	0%	100%	0%	0.53	0.00	29.17	0.00	0.00	0.00	721.32	0.00	105.55	14.15	384.96	0.00	0.00	0.00	0.00	
		Travers	16.5	3.8	0.027	1.4	1115	0%	0%	100%	0.00	0.00	70.81	0.00	0.00	256.46	0.00	87.18	1.23	699.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		Villeveyrac Est	9.0	2.1	0.006	1.3	378	0%	100%	0%	28.18	0.00	1.15	0.00	0.00	232.19	0.00	0.00	0.00	116.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		Pallas Sud	11.9	3.4	0.003	1.8	337	0%	100%	0%	7.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	326.14	0.00	3.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.68	
Bourbou	Bourbou	Loupian Centre	5.7	1.3	0.024	1.2	171	0%	100%	0%	44.81	0.00	0.00	0.00	0.00	113.47	0.00	0.00	0.00	12.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		Bourbou Sud	5.7	1.8	0.008	1.3	158	0%	100%	0%	6.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	151.41	0.0								

La constante de Gravelius (KG) est aussi appelé coefficient de forme : $KG = 0.28 \cdot P/A^{1/2}$ avec P : périmètre (km) et A : superficie (km²).

2.2 LES SOURCES DE POLLUTION MICROBIENNE SUR LE BASSIN VERSANT SUPERFICIEL

Les micro-organismes pathogènes entériques proviennent essentiellement du tube digestif des hommes et des animaux à sang chaud ainsi que de certaines industries agro-alimentaires et sont amenés vers le milieu aquatique via leurs excréments. Parmi les sources de contamination, on distingue communément les sources ponctuelles des sources diffuses.

Dans le cadre de la modélisation « bassin versant », ont été étudiées les sources situées sur le bassin versant superficiel à savoir : les rejets des stations d'épuration, des industries et des systèmes d'assainissement autonome, les déversements par les réseaux d'assainissement collectif et le lessivage des zones urbaines et rurales. Les stocks-rivières essentiellement constitués par les rejets de station d'épuration pendant les périodes de temps secs ont également été étudiés.

Les pollutions générées par les activités portuaires, les activités conchylicoles et la faune aviaire ne font pas l'objet de la présente étude car elles constituent des sources de pollution directe à l'étang. Les investigations conduites dans le cadre de l'étape 1 du projet ont permis d'estimer ces flux de pollution.

2.2.1 Sources ponctuelles

2.2.1.1 Rejets d'eaux usées domestiques traitées en station d'épuration

Le Tableau 3 présente les stations d'épuration situées du bassin versant superficiel de l'étang de Thau ainsi que les milieux récepteurs associés.

Parmi les 20 stations recensées, 8 d'entre elles rejettent les eaux usées traitées dans un milieu récepteur hydrauliquement relié à l'étang de Thau (en **gras** dans le Tableau 3).

Remarque : Le rejet du lagunage de Marseillan Pradels s'effectue dans l'étang du Castellàs qui alimente le Canal du Domaine de Listel long de 6 km. Ce canal communique indirectement avec la lagune de Thau via la station de pompage de Villeroy qui normalement fonctionne en cas de forte pluie. Les données de pompage sont disponibles auprès du régisseur en chef du Domaine de Listel. Ce point de rejet est suivi par la DRE-CQEL (ex-SMNLR) et présente les meilleurs résultats en terme de concentration en *E. coli* des 10 points du réseau de suivi de la qualité des eaux saumâtres (synthèse des 81 analyses menées sur la période de février 2003 à juillet 2009).

De plus, la LDE-SDEI a effectué, en mars 2007, un suivi depuis la sortie du lagunage de Marseillan Pradels jusqu'à la station de pompage de Villeroy sur les paramètres azote, phosphore, *E. coli*, MES, pH, salinité et température. Les résultats de cette campagne de mesure montre qu'il y a une dilution de l'effluent du lagunage avec une hausse régulière de la salinité et un abattement de la bactériologie jusqu'à un niveau inférieur au seuil de détection. Il sera donc considéré que les effluents du lagunage de Marseillan Pradels ne sont pas contaminants pour l'étang de Thau. Ces résultats seront à confirmer par la campagne de mesure complémentaire prévue au dernier trimestre 2009.

Tableau 3 : Stations d'épuration situées sur le bassin versant superficiel de l'étang de Thau.

Nom de la station	Milieu récepteur
Lagunage de Frontignan Plage - Aresquiers	Etang d'Ingril
Lagunage de Gigan - Embosque	Ruisseau de la Vène via canalisation / Etang de Thau
Lagunage de Marseillan - Onglous	Reprise des eaux traitées vers le lagunage des Pradels
Lagunage de Marseillan - Pradels	Etang du Castellàs / Canal du Domaine de Listel
Lagunage de Mèze - Loupian	Conque des Salins / Etang de Thau
Lagunage de Montagnac - Bessilles	Rau de la Novie / Ruisseau du Nègues-Vacques / Etang de Thau
Lagunage de Montbazin	Ruisseau de la Vène / Etang de Thau
Lagunage de Pinet - Pomerols	Ruisseau de Bridau / Ruisseau du Soupié / Etang de Thau
Lagunage de Poussan - Bouzigues	Etang des Moulières via ruisseau de la Lauze / Etang de Thau
Lagunage de Vic la Gardiole - Robine	Robine de Vic / Etang de Vic la Gardiole
Station mixte de Villeveyrac	Ruisseau des Prés Bas / Ruisseau du Pallas / Etang de Thau
STEP de Cournonsec - Ville	Reprise des eaux traitées vers station de Cournonterral
STEP de Cournonsec - Mas Bonnel	Infiltration dans le sol
STEP de Cournonsec - Mas Plagnol	Infiltration dans le sol
STEP de Florensac	Fleuve Hérault
STEP de l'aire ASF de Gigan Nord	Infiltration dans le sol
STEP de l'aire ASF de Poussan	Ruisseau de la Lauze / Etang des Moulières / Etang de Thau
STEP de Mireval - Maupas	Ruisseau de la Canabière / Anciennes lagunes
STEP de Montagnac	Ruisseau d'Ensigaud / Fleuve Hérault
STEP des Eaux Blanches à Sète	Mer Méditerranée via l'ancien sea-line 44 de la Mobil

Sources : LDE-SDEI, 2009 ; CCNBT, 2009 ; AE-RMC, 2007 ; ASF, 2006.

Pour les 8 stations « potentiellement impactantes », le tableau ci-après précise les populations raccordées (dernières estimations fournies par l'Agence de l'Eau pour l'année 2007) et les capacités nominales de traitement (valeurs fournies par les exploitants).

Tableau 4 : Populations raccordées et capacités de traitements des stations d'épuration « potentiellement impactantes ».

Nom de la station	Population raccordée (hab)			Capacité de traitement maximale (EH)
	permanente	saisonnière*	maximale	
Lagunage de Gigan - Embosque	4588	220	4808	6000
Lagunage de Mèze - Loupian	10839	5331	16170	20900
Lagunage de Montagnac - Bessilles	310	72	382	415
Lagunage de Montbazin	2149	112	2261	4500
Lagunage de Pinet - Pomerols	2993	818	3811	4700
Lagunage de Poussan - Bouzigues	5886	1170	7056	8700
Station mixte de Villeveyrac	2271	422	2693	3500
STEP de l'aire ASF de Poussan	-	-	-	184

* La saison estivale correspond à la période du 15 juin au 15 septembre.

Sources : LDE-SDEI, 2009 ; CCNBT, 2009 ; AE-RMC, 2007 ; ASF, 2006.

En comparant la population permanente à la population saisonnière, on constate que l'accroissement de population pendant la saison estivale (du 15 juin au 15 septembre) est très variable selon la station. En effet, les stations de Gigan et Montbazin voient leur population augmenter d'environ 5% ; celles de Montagnac-Bessilles, Pinet-Pomerols, Poussan-Bouzigues et Villeveyrac de 20 à 30% et celle de Mèze-Loupian de 50%.

En comparant la population raccordée maximale à la capacité de traitement maximale, on constate que toutes les stations sont de dimensions adéquates pour traiter la charge entrante et possèdent une marge de manœuvre. Ainsi, la station de Montagnac-Bessilles est capable d'encaisser un surplus de 10% ; celles de Gigan, Mèze-Loupian, Pinet-Pomerols, Poussan-Bouzigues et Villeveyrac de 20 à 25% et celle de Montbazin de 50% (avec extension de 2700 à 4500 EH).

On notera que, à l'exception de la station de l'aire ASF de Poussan, les stations « potentiellement impactantes » sont toutes équipées d'un traitement par lagunage.

Pour 5 stations d'épuration parmi les 8 stations identifiées comme « potentiellement impactantes », les bilans entrée / sortie en 24 heures réalisés dans le cadre du suivi d'autosurveillance ont permis de suivre l'évolution de la charge en *E. Coli*. Pour ces 5 stations, le Tableau 5 présente la moyenne et l'écart-type des flux entrants et sortants en *E. Coli*.

Tableau 5 : Charges entrantes et sortantes en *E. coli* des stations d'épuration.

Station	Période (nb de bilans)	Population moyenne raccordée*	Milieu récepteur (log[u]/j)			
			Entrée		Sortie	
			Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
Gigan-Embosque	juin 03 - déc. 04 (19)	4088	14.10	0.61	9.92	0.81
Mèze-Loupian	jan. 03 - déc. 08 (140)	9398	14.57	0.52	10.08	0.72
Montbazin	jan. 07 - déc. 08 (24)	2177	14.13	0.50	9.58	1.02
Poussan-Bouzigues	jan. 03 - déc. 08 (83)	4407	14.42	0.47	10.12	0.98
Villeveyrac	jan. 06 - déc. 08 (36)	2293	14.15	0.31	8.96	0.67

* Population moyenne sur la période estimée par pondération de la variation de population entre la période hors saison et la période estivale (15 juin - 15 sept) ; populations raccordées en 2008 (pas de données) prises égales à celles de 2007.

Sources : LDE-SDEI, 2009 ; CCNBT, 2009 ; AE-RMC, 2007 ; ASF, 2006.

D'après le Tableau 5, on peut faire les remarques suivantes :

- la charge moyenne entrante en *E. coli* est comprise entre 14.1 et 14.6 log[u]/j avec un écart-type variant de 0.3 à 0.6 ;
- la charge moyenne sortante en *E. coli* est comprise entre 9 et 10.1 log[u]/j avec un écart-type variant de 0.7 à 1 ;
- l'abattement de la charge moyenne en *E. coli* varie de 4.2 à 5.2 log[u]/j, soit un rendement supérieur 99.99%.

Les valeurs d'abattelements bactériens en *E. coli* des stations étudiées sont conformes aux valeurs issues de la littérature et témoignent du très bon niveau de performance des stations d'épuration avec lagunage du bassin de Thau (cf. Tableau 6).

Malgré cela, les rejets de stations d'épuration contiennent des concentrations importantes de bactéries fécales et entraînent une diminution significative de la qualité microbiologique des eaux de la rivière.

Tableau 6 : Types de traitement épuratoire et performances d'élimination bactériennes.

Type de traitement	Abattement bactérien (log[u])
Lagunage naturel	3 à 4
Boues activées + membranes filtrantes	6
Boues activées	2 à 3
Lits bactériens	1

Source : Monfort, 2006.

A ce stade, on notera qu'aucune distinction, ni entre temps sec et temps pluvieux, ni entre saison estivale et hors saison, n'a été effectuée pour préciser les rejets bactériens. En effet, il s'agit là d'une première approche qui vise à caractériser le degré de performance des stations d'épuration.

Or, comme nous le verrons plus loin, on observe une « réponse » des stations d'épuration aux événements pluvieux. En effet, les campagnes de mesure de suivi d'événements pluvieux réalisées lors de l'étape 2 du projet ont mis en évidence une augmentation de la charge hydraulique et bactériologique en sortie de station (jusqu'à 12-13 log[u]/j).

Les rejets des stations d'épuration (eau et polluant) feront l'objet d'une analyse spécifique dans le cadre de la modélisation « bassin versant » en prenant en compte le forçage par la pluie et en distinguant la période estivale et la période hors saison.

2.2.1.2 Rejets d'eaux usées domestiques des systèmes d'assainissement autonome (ANC, cabanisation, campings)

Lors de l'étape 1 du projet, un recensement des sites et une estimation des flux de contamination rejoignant l'étang ont été effectués. Une trentaine de sites « potentiellement impactant »¹ ont été dénombrés à l'échelle du bassin de Thau : 23 secteurs ANC, 7 sites de cabanisation et 1 camping (le Nautic).

Les estimations de flux rejoignant l'étang varient entre 11 et 13 log[u]/j et ce, quelle que soit la période de l'année considérée (saison estivale ou hors saison).

Tableau 7 : Apports en *E. coli* à l'étang de Thau des rejets des systèmes d'assainissement autonome.

Bassin lagunaire	Apport en <i>E. coli</i> (log[u]/j)
Grau du XV	13.2
Vène	12.9
Sète - Plagette	12.1
Canal du Rhône à Sète	12.1
Pallas	12.1
Fontanilles	11.6

¹ Ici, un site est « potentiellement impactant » s'il appartient à la bande dite « des 500 m ». En effet, on considère que les rejets rejoignent le milieu aquatique via l'infiltration vers les eaux souterraines reliées à l'étang et que l'échange « nappe – étang » est effectif sur une largeur de 500 m à l'intérieur des terres.

Mayroual	11.4
Soupié	11.0

La campagne de mesure de l'étape 2 n'a pas permis de mettre en évidence la contribution de ces sources de pollution au niveau des points de suivi et de préciser les premières estimations fournies lors de l'étape 1.

Les rejets d'eaux usées domestiques des systèmes d'assainissement autonome n'ont pas été intégrés dans la modélisation « bassin versant ». Cependant, les estimations fournies dans l'étape 1 seront utilisées pour analyser de manière qualitative l'importance relative de cette source de pollution par rapport aux autres, notamment en temps sec.

2.2.1.3 Rejets d'eaux industrielles (caves coopératives, industries, artisanats, décharges et dépôts)

Lors de l'étape 1 du projet, un recensement des sites et une estimation des flux de contamination rejoignant l'étang ont été effectués. Une vingtaine de sites ont été recensés : 9 caves coopératives, 79 caves particulières (dont 4 caves « potentiellement impactant »), 1 industrie des huiles des graisses végétales et animales (SAIPOL), 12 décharges (dont aucune « potentiellement impactant ») et 43 campings (dont 1 « potentiellement impactant »).

Les estimations de flux rejoignant l'étang varient entre 10.5 et 12.5 log[u]/j et ce, quelle que soit la période de l'année considérée (saison estivale ou hors saison).

Tableau 8 : Apports en E. coli à l'étang de Thau des rejets des eaux industrielles.

Bassin lagunaire	Apport en E. coli (log[u]/j)
Grau du XV (Camping Le Nautic, CAPION Despres Indivision et Domaine Listel)	12.5
Sète - Plagette (SAIPOL)	12.2
Mayroual (SCEA de Montpenèdre)	10.7
Soupié (GAEC Domaine de la Fadèze)	10.7

La campagne de mesure de l'étape 2 n'a pas permis de mettre en évidence la contribution de ces sources de pollution au niveau des points de suivi et de préciser les premières estimations fournies lors de l'étape 1.

Les rejets d'eaux usées industrielles n'ont pas été intégrés dans la modélisation « bassin versant ». Cependant, les estimations fournies dans l'étape 1 seront utilisées pour analyser de manière qualitative l'importance relative de cette source de pollution par rapport aux autres, notamment en temps sec.

2.2.1.4 Déversements par les réseaux d'assainissement collectif

Il s'agit des déversements d'eaux usées occasionnés par :

- les déversements des réseaux d'eaux usées au droit de postes de relevage, du fait de l'arrivée d'eaux parasites dans le réseau d'eaux usées en temps de pluie (eaux de ruissellement pluvial, eaux de nappe),

- le fonctionnement des déversoirs d'orage des réseaux unitaires en temps de pluie,
- des dysfonctionnements des postes de relevage du fait de pannes mécaniques ou électriques, ces dysfonctionnement pouvant se produire en temps de pluie ou en temps sec.

Ces déversements s'effectuent soit dans les cours d'eau, soit dans les réseaux d'eaux pluviales, soit directement dans l'étang pour les postes en bordure d'étang.

D'après les informations disponibles, la cause la plus fréquente des déversements d'eaux usées au droit des postes de relevage est une insuffisance en période de pluie.

2.2.2 Sources diffuses

Les apports de micro-organismes d'origine fécale via les sources diffuses sont relativement difficiles à quantifier. Néanmoins, dans le cadre des campagnes de mesure de suivi des événements pluvieux de l'étape 2, des bassins pilotes ont permis de mieux cerner le lessivage en distinguant les zones urbaines (Le Bourbou à Loupian) et les zones rurales (l'Ayguès-Vacques à son exutoire).

En effet, les études réalisées sur cette problématique (exemple : programme PIREN Seine) ont montré que les mesures étaient très différentes en fonction de l'usage des sols du bassin versant étudié (Servais et al, 2007). Ces études mettent clairement en évidence l'importance des excréments d'animaux. En zone urbaine, les déjections canines sont la principale source de pollution. En zone rurale, ce sont les déjections des animaux d'élevage.

2.2.2.1 Lessivage des zones urbaines

Comme d'habitude précédemment, les micro-organismes pathogènes entériques en zone urbaine proviennent essentiellement des déjections canines.

En 2008, la FACCO a réalisé avec TNS Sofres sa 14ème étude² sur la place des animaux de compagnie en France. Les résultats de cette étude, effectuée tous les deux ans, permettent d'actualiser les données sur la population d'animaux familiers et sur leurs possesseurs.

D'après cette enquête, 24.1% des foyers français³ possèdent au moins un chien et 17.4% des possesseurs de chiens ont au moins 2 chiens.

En appliquant ces ratios aux populations humaines à chaque commune du Bassin de Thau, on a pu estimer les populations canines correspondantes

² L'enquête a été menée sur le terrain en octobre/novembre 2008 à l'aide d'un questionnaire adressé à 14.000 foyers français, issus de la base de sondage TNS Postal Access Panel, représentatifs en terme de taille du foyer, âge, catégorie socioprofessionnelle, taille d'agglomération et région d'habitat.

³ En moyenne, un foyer compte 2.4 habitants (INSEE – Ménage, famille et population, 1999).

Tableau 9 : Populations humaines et canines des communes du Bassin de Thau.

Commune	Population humaine		Population canine		Multiplication estivale
	permanente	estivale	permanente	estivale	
Balaruc-les-Bains	6329	26747	746	3153	4.2
Balaruc-le-Vieux	2052	2938	241	346	1.4
Bouzigues	1500	2185	176	257	1.5
Cournonsec	2133	2346	251	276	1.1
Frontignan	22672	36108	2672	4256	1.6
Gigean	5019	5494	591	647	1.1
Loupian	2093	3753	246	442	1.8
Marseillan	7513	43142	885	5085	5.7
Mèze	10135	14422	1194	1700	1.4
Mireval	3185	3498	375	412	1.1
Montbazin	2741	2908	323	342	1.1
Montagnac	3589	3948	423	465	1.1
Pinet	1225	1348	144	158	1.1
Pomérols	1997	2976	235	350	1.5
Poussan	4633	5427	546	639	1.2
Sète	43665	76156	5147	8977	1.7
Vic-la-Gardiole	2889	9356	340	1102	3.2
Villeveyrac	2795	3452	329	406	1.2

Sources : INSEE - *Population légale, 2006* ; La Jeunesse - *Etude intégrée dynamique du phosphore dans le système bassin versant de la lagune de Thau, 2001* ; FACCO, 2008.

Sur le territoire de Thau, la population canine permanente avoisine donc les 15 000 individus et se voit quasiment doublée en période estivale avec près de 30 000 individus.

Le nettoyage urbain (chaussées, trottoirs, jardins publics, etc.) est le principal levier d’action pour lutter contre cette pollution. La fréquence et l’efficacité des nettoyages permettent d’estimer leur degré de performance. Dans le cadre de l’étape 1 du projet, les enquêtes réalisées auprès des communes ont permis de collecter ces informations en partie.

Remarque : On notera qu’un dispositif de nettoyage par simple lavage des rues sans enlèvement n’est pas suffisant et peut même avoir un effet aggravant en termes de qualité des eaux. En effet, les bactéries vont s’accumuler dans le réseau pluvial, et les stocks seront relargués dans le milieu récepteur lors d’une averse.

Le lessivage urbain englobe donc l’ensemble des eaux de ruissellement urbain.

Le lessivage des zones urbaines fera l’objet d’une analyse spécifique dans le cadre de la modélisation « bassin versant » en prenant en compte le forçage par la pluie, l’efficacité des dispositifs de nettoyage urbain et les processus d’accumulation et de survie des bactéries durant la période de temps sec précédant la pluie, en distinguant la période estivale et la période hors saison.

2.2.2.2 Lessivage des zones rurales

Comme dit précédemment, les micro-organismes pathogènes entériques en zone rurale proviennent essentiellement des effluents d’élevage.

Lors de l’étape 1 du projet, un recensement des sites d’élevage a été effectué.

Tableau 10 : Sites d’élevage des communes du Bassin de Thau.

Commune	Type d'élevage						
	Chiens	Volailles	Centre équestres	Bovins	Ovins / Caprins	Lapins / Gibiers	Aquaculture
Balaruc-les-Bains	2	0	0	0	1	0	0
Balaruc-le-Vieux	1	0	1	2	1	0	0
Bouzigues	0	0	0	0	1	0	0
Frontignan	3	0	2	0	0	0	0
Gigean	2	1	0	0	1	0	0
Loupian	0	0	0	0	1	0	0
Marseillan	0	0	2	1	3	0	1
Mèze	1	1	2	1	1	0	2
Montagnac	1	1	1	0	0	0	0
Montbazin	0	2	0	0	5	0	0
Pinet	2	0	0	0	0	1	0
Pomérols	1	1	0	0	1	0	0
Poussan	2	1	2	2	3	1	0
Sète	2	0	1	1	2	0	2
Villeveyrac	0	1	1	0	3	1	0

Source : DDSV, 2007.

Les volumes recensés sont les suivants (DDSV, 2007) :

- volailles et pigeons : 11 élevages déclarés avec 45400 volailles présentes,
- lapins : 2 élevages soumis à déclaration,
- animaux de compagnie : 16 établissements (élevages de moins de 50 chiens et animaleries),
- clubs hippiques : 12 (non compris les détenteurs de chevaux),
- élevages bovins : 8 pour 1556 animaux,
- élevages d’ovins et de caprins : 17 pour 682 animaux,
- pas d’élevage de porcs,
- 4 piscicultures de poissons d’élevage ou d’agrément (rejets considérés comme non impactant).

Remarque : Ces chiffres sont inférieurs à ceux mentionnés dans le tableau car certains élevages ont plusieurs ateliers.

La contribution des déjections des animaux sauvages sur les zones rurales et l'épandage de lisier (pratique marginale dans la culture de la vigne qui est la culture dominante sur le bassin) sont également à prendre en compte notamment sur les secteurs où il n'y a pas d'élevage. Ces pollutions seront considérées comme des bruits de fond et seront proportionnelles à la surface rurale (naturelle et agricole) du bassin.

Comme le lessivage des zones urbaines, le lessivage des zones rurales fera l'objet d'une analyse spécifique dans le cadre de la modélisation « bassin versant » en prenant en compte le forçage par la pluie, l'efficacité des dispositifs de nettoyage et les processus d'accumulation et de survie des bactéries durant la période de temps sec précédant la pluie, sans distinction entre la période estivale et la période hors saison.

2.2.2.3 Relargage par les stocks-rivières

Les travaux de recherches menés par HydroSciences Montpellier depuis plus de 20 ans sur le bassin de la Vène ont permis de mettre en évidence l'existence de stocks-rivières et de phénomènes de relargage associés durant les épisodes pluvieux, notamment lors de la première crue de fin d'été, ou première crue d'automne (Chu, 2006 ; Tournoud et al., 2008).

Les campagnes de mesure spatiales réalisées par HydroSciences Montpellier sur le bassin de la Vène ont montré que la pollution rejetée par les stations d'épuration en période de temps sec est stockée dans le lit du cours d'eau du fait des très faibles débits et son transfert vers l'aval est rejetée jusqu'au prochain épisode pluvieux et que l'apport continu de matière organique dans les mares protégées du rayonnement solaire, crée des conditions environnementales propices à la survie et peut-être aussi à la multiplication des bactéries. Il existe donc clairement, dans la rivière, un stock de bactéries qui est remobilisé par l'écoulement. Les données disponibles permettent de fixer le seuil de déclenchement de ce processus à 100 l/s (Chu, 2006 ; Tournoud et al., 2008).

Pour la majorité des crues suivies entre 2003 et 2006, les apports en *E. coli* sont compris entre 10.5 et 11.5 log, sauf pour les crues de fin d'été intervenant après une longue période sèche (supérieure à 100 jours) le 22 septembre 2003, le 13 septembre 2004 et du 13 au 16 septembre 2006 où les apports en *E. coli* atteignent 14 à 15 log. Ces épisodes pluvieux auraient déplacé, jusqu'à l'exutoire, le stock de bactéries accumulées dans la rivière en amont durant la période sèche et ce stock a été progressivement repris par l'écoulement en crue (Chu, 2006 ; Tournoud et al., 2008 ; PNEC, 2009).

Ces flux de pollution bactérienne très importants vont arriver au milieu récepteur (étang de Thau) durant des périodes très courtes provoquant des effets peu souhaitables, comme la contamination des coquillages des fermes conchylicoles.

Le relargage par les stocks-rivières fera l'objet d'une analyse spécifique dans le cadre de la modélisation « bassin versant » en prenant en compte le forçage par la pluie, et les processus d'accumulation et de survie des bactéries durant la période de temps sec précédant la pluie, en distinguant la période estivale et la période hivernale (conditions climatiques différentes en terme de température).

2.2.2.4 Pollutions atmosphérique et souterraine

Concernant les apports de pollution par voie atmosphérique sous forme de dépôts secs transportés par le vent ou de dépôts humides lors des épisodes pluvieux, on détecte la présence de poussières fines dans l'atmosphère (aérosols) qui véhiculent des substances polluantes. Ces particules qui se retrouvent dans les eaux de pluie au moment de leur précipitation peuvent contenir des éléments chimiques (exemples : azote, plomb, zinc) mais aucunement des micro-organismes pathogènes (Chocat et al., 2007 ; Tournoud, 2008).

Concernant les apports de pollution par voie souterraine, les travaux de recherches menés par HydroSciences Montpellier depuis plus de 20 ans sur le bassin de la Vène ont permis de montrer que les sources karstiques contribuent beaucoup aux flux de nutriments (azote et phosphore) en soulignant cependant l'insuffisance des mesures pour estimer les apports souterrains à la lagune, mais très peu aux flux de bactéries témoins de contamination fécale (Doerfliger, 2001 ; Chu, 2006 ; Tournoud, 2008).

Les pollutions diffuses par les voies atmosphérique et souterraine ont été considérées comme négligeables et n'ont donc pas été prises en compte dans la modélisation « bassin versant ».

2.3 LES INFORMATIONS DISPONIBLES SUR LA ZONE D'ETUDE

2.3.1 Recensement bibliographique

Dans cette partie, ont été répertoriés les documents intéressant les problématiques « hydrologie », « modélisation » (hydrologie, hydrogéologie, hydraulique, transport de flux de polluants) et « dynamique de flux de bactéries fécales » sur la zone « bassin versant » de l'étang de Thau.

2.3.1.1 Etudes antérieures

Egis Eau, 2009. Etude : *Schéma d'assainissement pluvial de Balaruc le Vieux*.

Egis Eau, 2008. Etude : *Schéma d'assainissement pluvial de la ville de Sète*.

A. Chapelle, C. Bacher, P. Duarte, A. Fiandrino, L. Galbiati, D. Marinov, J. Martinez, A. Norro, A. Pereira, M. Plus, S. Rodriguez, G. Tsirtsis, J. M. Zaldívar, 2005. DITTY Project. *Modelling Report - Coastal lagoon modelling: An integrated approach* : 37 p.

Plus M. et al., Juillet 2005. DITTY Project. *Spatio-temporal heterogeneity in the water body of the Thau lagoon under stress from bacteriological contamination or toxic algae* : 52 p.

BCEOM, 2006. Etude : *Schéma d'assainissement pluvial de Balaruc Les Bains*.

Abadie Eric, Belsher Thomas, Derolez Valérie, Fiandrino Annie, Guillou Jean Louis, Laugier Thierry, Lemsanni Abdellah, Loubersac Lionel, Pastoureaud Annie, Serais Ophélie, Vercelli Catherine pour le LER/LR et Trousselier Marc pour UMR CNRS-UMI 5119 "Ecosystèmes Lagunaires" de l'Université Montpellier II., 2004. *Synthèse des connaissances acquises sur la lagune de Thau et son bassin versant* : 57 p.

BCEOM, Septembre 2004. Etude : *Diagnostic des sources de pollution sur le canal du Midi et le canal du Rhône à Sète*.

Plus M., Bouraoui F., Zaldívar J.-M., Murray C. N., La Jeunesse I., 2003. DITTY Project. *Modelling the Thau lagoon watershed* : 97 p.

Doerfliger N., Ladouche B., Bakalowicz M., Pinault J.-L., Chemin P., 1998-2001. Etude réalisée dans le cadre des opérations de service public du BRGM. *Etude du pourtour est de l'étang de Thau, phase II* : Volumes 1 à 4

BCEOM, Juin 1999. *Assainissement pluvial du bassin de la Rade et de l'Argentié sur la commune de Marseillan*.

Universités de Montpellier I et II, Février 1997. *Suivi des apports du bassin versant de l'étang de Thau et des échanges avec la mer par les canaux de Sète*.

BCEOM, Janvier 1997. *Zones inondables des ruisseaux le Pallas et le Sesquier en aval de l'autoroute A9 sur la commune de Mèze*.

BCEOM, Mai 1996. *Zones inondables du ruisseau le Pallas en aval de l'autoroute A9 sur la commune de Loupian*.

BCEOM, Février 1996. *Zones inondables du ruisseau les Aiguilles en aval de la RN 113 sur la commune de Bouzigue*.

Bérard Pierre, Juillet 1995. Etude réalisée dans le cadre des opérations de service public du BRGM. *Le bassin de Thau (Hérault) - Synthèse des connaissances géologiques et hydrogéologiques* : 94 p.

Marchal J.-P., Carlier P., Oudin V., Mars 1990. Etude réalisée dans le cadre des opérations de service public du BRGM. *Modélisation de l'aquifère karstique de l'étang de Thau - Actualisation des données hydrogéologiques - Recalage du modèle - Simulations complémentaires* : 79 p.

Audouin Jacques, 1962. *Hydrologie de l'étang de Thau* : 100 p.

2.3.1.2 Mémoires de thèses

Grillot Christine, Décembre 2006. Mémoire de Thèse. Université de Montpellier 2. Sciences et Techniques du Languedoc. *Fonctionnement hydrologique et dynamique des nutriments d'une rivière intermittente en étiage et en crue* : 294 p.

Chu Yin, Octobre 2006. Mémoire de Thèse. Université de Montpellier 2. Sciences et Techniques du Languedoc. *Flux de polluants en crue sur des petits bassins versants côtiers méditerranéens. Sources, estimations et modélisation* : 166 p.

Alric Renaud, Septembre 2006. Mémoire de Thèse. Université de Montpellier 2. Sciences et Techniques du Languedoc. *Analyse comparée des processus d'infiltration et des caractéristiques hydriques des sols du bassin versant de la Vène*

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.

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.

Payraudeau Sylvain, Mai 2002. Mémoire de Thèse. Université de Montpellier 2. Sciences et Techniques du Languedoc. *Modélisation distribuée des flux d'azote sur des petits bassins versants méditerranéens* : 450 p.

Chunbin Ge, 1988. Mémoire de Thèse. Université de Montpellier 2. Sciences et Techniques du Languedoc. *Contribution à la modélisation physico-chimique de l'étang de Thau* : 324 p.

2.3.1.3 Articles scientifiques

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.

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.

Loubersac L., Do Chi T., Fiandrino A., Jouan M., Derolez V., Lemsanni A., Rey-Valette H., Mathe S., Pagès S., Mocenni C., Casini M., Paoletti S., Pranzo M., Valette F., Serais O., Laugier T., Mazouni N., Vincent C., Got P., Troussellier M., Aliaume C., 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.

Chu Y., Tournoud M.-G., Perrin J.-L., Picot B., Got P., Caro A., Troussellier M., 2006. Soumis à Water Research. *Bacterial contamination in Mediterranean coastal rivers : low flow and floods* : 15 p.

Chu Y., Tournoud M.-G., Got P., Salles C., Troussellier M., 2006. Soumis à Water Research. *Bacterial loads during flood events in Mediterranean coastal rivers* : 15 p.

Martin Plus, Isabelle La Jeunesse, Fayçal Bouraouic, Jose-Manuel Zaldívar, 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.

Salles C., Tournoud M.-G., Picot B., Rodier C., Chu Y., 2003. *Congrès international de l'IWA « Diffusion Pollution, Dublin. Diffuse and point source pollution at catchment scale : a statistical quantifying tool* : p. 99-104

2.3.2 Inventaire des données

Dans cette partie, ont été répertoriées les données disponibles sur la zone « bassin versant » de l'étang de Thau.

2.3.2.1 Données topographiques

MNT

Deux Modèles Numériques de Terrain (MNT) sont disponibles sur la zone d'étude :

- Le MNT de la base Bd Alti® de l'IGN permet de décrire la topographie sur la totalité de la zone d'étude. Ce MNT est obtenu a été conçu par interpolation entre des points cotés de la Bd Alti®. La résolution du MNT est de 50 m et sa précision sur la zone étudiée est de 1 à 3 m en altitude. La qualité des données disponibles est seulement estimée sur le plan des altitudes et ne garantit en rien la qualité des plans dérivés (en particulier l'extraction des rivières). Ce MNT a été utilisé notamment dans le cadre des travaux réalisés par l'Université de Montpellier et dans le cadre du projet de recherches européen DITTY auquel a notamment participé l'Ifremer.
- Le MNT a été réalisé par la société GAIA Mapping sur la base de plans photogrammétriques dont les prises de vues ont été effectuées d'août à septembre 2005. La résolution du MNT est de 5 m et sa précision altimétrique est inférieure à 50cm. Il s'agit du MNT le plus précis et le plus récemment mis à jour de la zone d'étude. Ce MNT a été mis à la disposition du projet Oméga-Thau par le SMBT (Observatoire – Système d'Information Géographique).

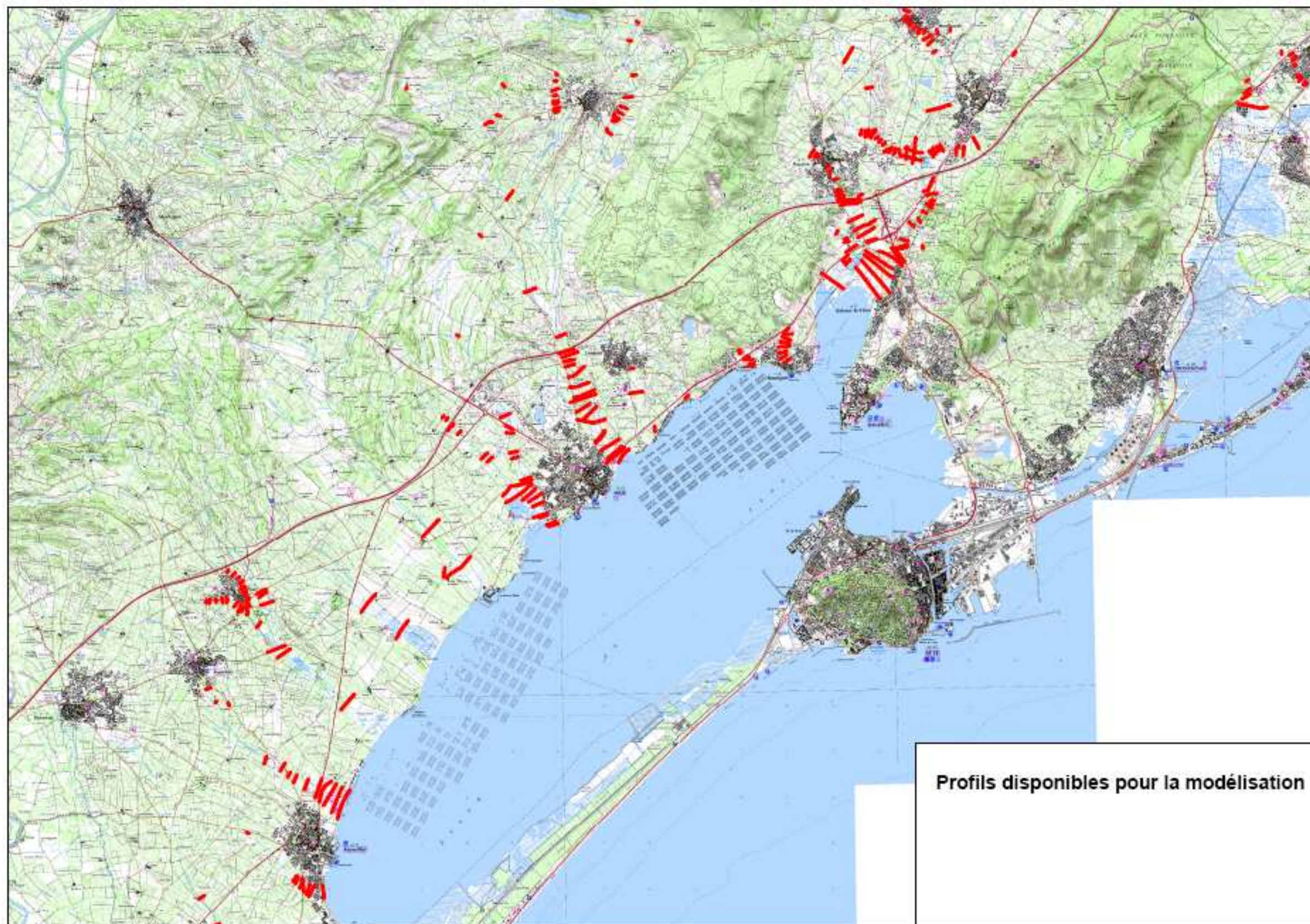
PROFILS EN LONG ET PROFILS EN TRAVERS

Dans le cadre de l'étude du PPRI en cours (Egis Eau), l'ensemble des profils en travers disponibles a été recensé et de nouveaux profils en travers ont également été relevés.

L'implantation des profils en travers disponibles est représentée sur le plan page suivante.

On peut dispose donc d'un MNT précis (résolution spatiale de 2m et précision altimétrique de 50cm) sur l'ensemble de la zone et de quelques profils en long et profils en travers sur les cours d'eau, mais ces profils ne couvrent généralement pas l'ensemble du linéaire.

Figure 8 : Carte d'implantation des profils en travers.



2.3.2.2 Données pluviométriques

LAMES D'EAU RADAR

Pour chaque événement de la campagne de mesure (étape 2 du projet), on dispose de la lame d'eau radar HYDRAM au pas de temps 5 minutes par bassin versant. Le calibrage à posteriori est réalisé en utilisant les données des pluviographes Météo-France de Marseillan et de Sète. On dispose également des images radars de l'événement *a posteriori*. Ces images présentent les cumuls des pluies sur l'ensemble de l'épisode et donnent les mouvements des masses pluvieuses minute par minute. Cet outil est intéressant quant à la validation des mesures pluviométriques de terrain.

La méthode de calibrage HYDRAM (HYDrologie, Radar et ARAMis) a été élaborée par Météo-France en 1995. Par conséquent, en complément des données acquises lors de la campagne de mesure, des informations de lames d'eau radar pour les événements pluvieux intenses historiques ont également été récupérées.

Ces données ont été fournies par la société PREDICT Services.

PLUIES AU SOL

Dans le cadre de l'étape 2 du projet, l'acquisition des mesures de pluie repose sur un parc de 7 pluviomètres à auget basculeur implantés de manière homogène dans les bassins versants bordant l'étang de Thau. Les pluviomètres de Sète et Villeveyrac existaient avant l'étude, cinq ont été ajoutés spécialement pour cette campagne de mesures.

Les gestionnaires et lieux d'implantation sont décrits ci-dessous :

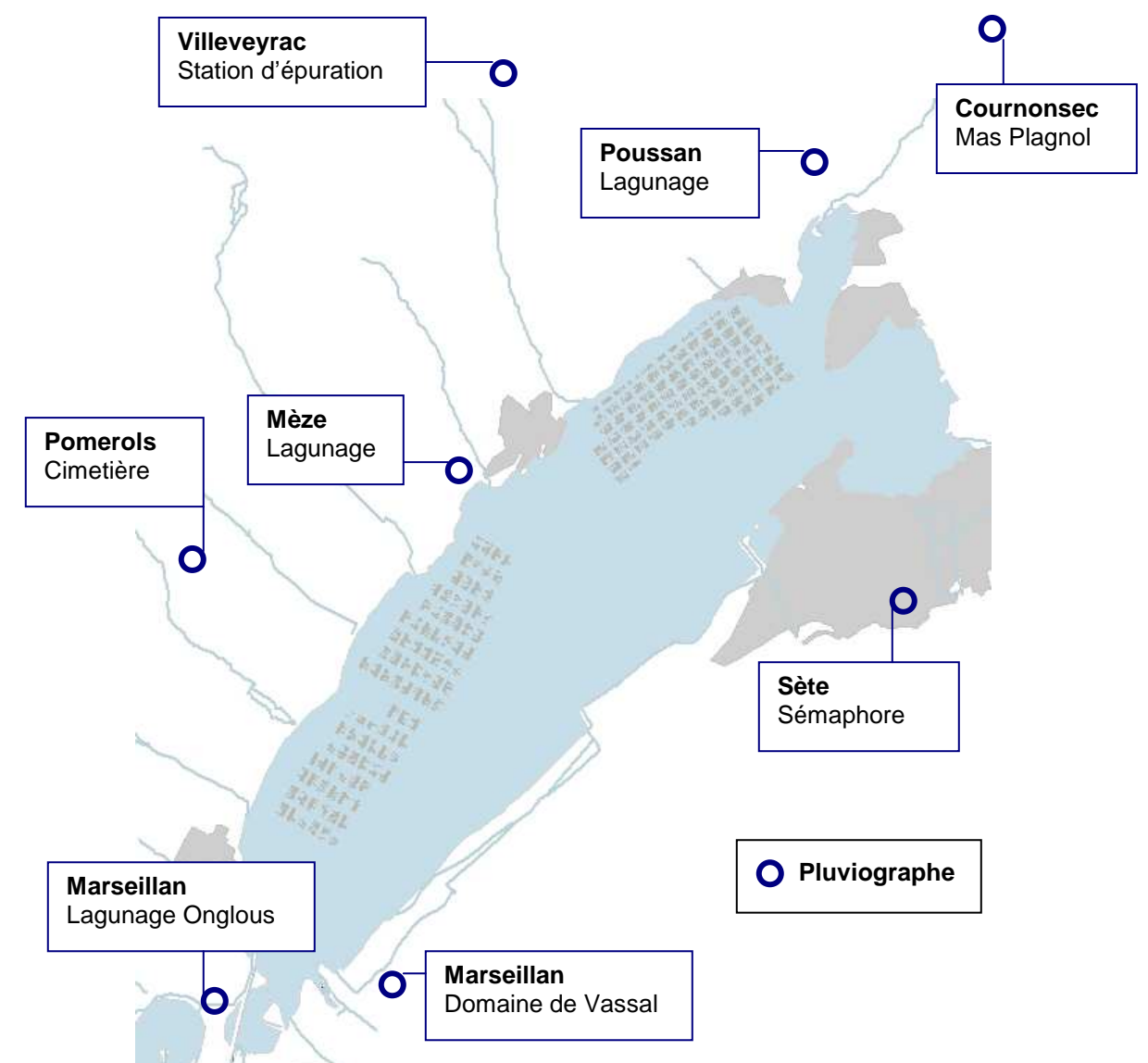
- Météo France : Sète (Sémaphore),
- CCNBT : Villeveyrac (STEP),
- Egis Eau : Poussan (Lagunage),
- PAPERI Sud Environnement : Mèze (Lagunage), Marseillan (Lagunage des Onglous), Cournonsec (Mas de Plagnol), Pomérols (Cimetière).

Des données complémentaires sont disponibles auprès de :

- HydroSciences Montpellier pour Montbazin (Mas d'Antonègre), pour Poussan (zone d'activité des Clashes), pour Cournonsec (Mas Plagnol) et pour Mèze (Ecosite),
- Météo-France (MF) pour Marseillan (Domaine de Vassal) et pour Florensac (Gendarmerie),
- Ifremer pour Sète (Laboratoire Environnement Ressources Languedoc-Roussillon),
- M. Carbonnel pour Sète (Domaine de Listel).

On dispose donc d'une couverture pluviométrique optimale de la zone d'étude que ce soit d'un point de vue spatial (forte densité de postes) ou temporel (données infra-horaires).

Figure 9 : Carte de localisation des pluviomètres (étape 2).



2.3.2.3 Données de suivi des bassins versants

SUIVI FIXE

Débits des cours d'eau

L'instrumentation mise en œuvre dans le cadre du suivi continu des apports du bassin versant de l'étang de Thau (étape 2 du projet) a permis l'acquisition des valeurs de débit du 1^{er} Septembre 2007 au 15 Février 2009 aux points fixes suivants :

- exutoire des Fontanilles à Marseillan (P157),
- exutoire du Soupié à Marseillan (P159),
- exutoire du Sesquier à Mèze (P30),
- le Pallas à Mèze (P30bis),
- le Bourbou à Loupian⁴ (P31bis) jusqu'au 8 décembre 2008,
- exutoire de l'étang des Moulières à Poussan (P57bis),
- la Vène à Poussan (P57 tris A).

Et aux points de suivi mobiles suivants :

- exutoire de l'Aygues-Vacques du 01/09/07 au 19/11/07 (P5),
- exutoire du Joncas du 20/11/07 au 09/01/08 (P41).
- exutoire du canal du moulin ou Agau à Balaruc-le-Vieux (P58) du 08/12/08 au 15/02/09.

Qualité des cours d'eau

La SDEI exploite 2 stations de suivi multi-paramètres installées en 2 points de la Vène, aux lieux-dits « Sanglier » et « Frescaly ». Les paramètres suivis sont la turbidité, la température, l'oxygène dissous, la conductivité et le potentiel redox.

D'autre part, conformément au protocole de la campagne de mesures de l'étape 2, une sonde mesurant les paramètres turbidité, pH, température et conductivité a été installée d'octobre 2007 à Février 2009 successivement dans la Vène et le Pallas.

Cette sonde, initialement installée au point de suivi fixe du Pallas (P30bis) au début de la campagne de mesures, en 2007, a été déplacée au point de suivi fixe de la Vène (P57triA) le 19/11/07 pour disposer d'un jeu de données concomitantes avec celles du réseau SIRENE de la SDEI. La sonde a été réinstallée au point de suivi du Pallas (P30bis) à partir du 25/04/08, et jusqu'à la fin de la campagne de mesures.

Des données complémentaires sont disponibles auprès d'HydroSciences Montpellier sur les bassins de la Vène et du Pallas.

⁴ **Note** : Ce point expérimental a été positionné en sortie du centre-ville de Loupian, de manière à observer le comportement d'un bassin versant censé ne collecter que des eaux de ruissellement urbain, sans contamination par des eaux usées (réseaux strictement séparatifs)

Figure 10 : Carte de localisation des points de suivi des débits des cours d'eau (étape 2).



SUIVI PONCTUEL

Prélèvements d'eau aux points de suivi continu

Des préleveurs automatiques ont été installés au niveau de l'ensemble des points de débitmétrie continue lors des 7 premiers évènements, et uniquement au niveau des 3 points situés dans la crique de l'Angle (P57bis, P57triA, P58) lors des 2 derniers évènements.

Les analyses réalisées sur les échantillons prélevés concernent les paramètres E.coli, MES, DCO, DBO5, Ntk et Pt.

Prélèvements d’eau et mesure de débit instantané aux points de suivi ponctuel

Un secteur zoom a été défini pour chaque campagne de mesures. Les points de suivi ponctuel de ces secteurs, définis à l’issue de l’étape 1, ont été échantillonnés en débit et prélèvements d’eau à fin d’analyse des paramètres *E. coli*, MES et DCO.

D’autre part, certains épisodes pluvieux ont fait l’objet de suivis complémentaires, rappelés ci-dessous :

Tableau 11 : Secteurs du bassin versant investigués au cours des évènements suivis durant l’étape 2.

Evènement	Secteur zoom	Suivi complémentaire
n°1 – Pluie du 17 Sept. 2007	Pas de suivi BV	
n°2 – Pluie des 4 et 5 Oct. 2007	Secteur 3 – Mèze, de la Conque à l’exutoire du Bourbou	Réseau pluvial du centre-ville de Marseillan & Canal du Midi
n°3 – Pluie du 19 Nov. 2007 Non survenue. Campagne annulée	Secteur 2 – De Marseillan (Montpenèdre) à Mèze (Amoutous)	
n°4 – Pluie du 2 au 5 Janv. 2008	Secteur 2 – De Marseillan (Montpenèdre) à Mèze (Amoutous)	
n°5 – Pluie du 12 Août 2008	Pas de suivi BV	
n°6 – Pluie du 8 Oct. 2008	Secteur 1 – Marseillan, des Pradels à Montpenèdre	Réseau pluvial du centre-ville de Mèze & Aygues-Vacques
n°7 – Pluie du 1er au 6 Nov. 2008	Secteur 1 – Marseillan, des Pradels à Montpenèdre	Réseau pluvial du centre-ville de Mèze, Aygues-Vacques et milieux récepteurs des lagunages de Mèze et Poussan-Bouzigues
n°8 – Pluie du 8-9 Déc. 2008 Campagne annulée	Secteur 4 – De Loupian (Ruisseau des Vignaux) à Balaruc-le-Vieux	Secteur 5 – De Balaruc-les-Bains à Sète
n°9 – Pluie du 31 Janv. au 4 Fév. 2009	Secteur 4 – De Loupian (Ruisseau des Vignaux) à Balaruc-le-Vieux	Canal du Rhône à Sète et Canal Royal de Sète

Des données complémentaires sont disponibles auprès d’HydroSciences Montpellier sur les bassins de la Vène et du Pallas, notamment les données de l’évènement du 13 au 16 septembre 2006 sur la Vène qui a été suivi dans le du chantier PNEC « Lagunes Méditerranéennes ».

2.3.2.4 Données de suivi des systèmes d’assainissements

SUIVI DES RESEAUX DE COLLECTE ET TRANSFERT DES EAUX USEES

Les réseaux d’assainissement ont été suivis à travers les données de l’autosurveillance des postes de relevage du territoire. Les historiques de dysfonctionnements de ces ouvrages ont été recueillies par la CABT auprès des fermiers. Une attention particulière (déplacements sur site en cas d’alarme) a été portée sur les ouvrages les plus sensibles, dont la liste avait été établie suite au diagnostic de l’étape 1 du programme Omega-Thau.

Ce recueil de données inclut les données de l’instrumentation installée sur le trop-plein du nouveau PR « Serpentin » à Balaruc-les-Bains (débitmètre et préleveur automatique ; 2008), sur celui du PR/DO « Théâtre - Cœur de Ville » à Marseillan (débitmètre et préleveur automatique ; fin 2007), et sur les DO « Péri », « De Gaulle », « Paul Valéry », et « Montmorency » à Sète (débitmétrie).

SUIVI DES STATIONS D’EPURATION

7 stations d’épuration sur les 12 présentes sur le bassin versant de l’étang de Thau ont fait l’objet d’un suivi particulier lors des campagnes de mesure :

- Communauté d’Agglomération du Bassin de Thau : Gigan, Marseillan Pradels,
- Communauté de Communes du Nord du Bassin de Thau : Mèze-Loupian, Poussan-Bouzigues, Montbazin, Villeveyrac,
- Pinet-Pomérols.

Suivi annuel

- Suivi quotidien du débit entrant et sortant.
- 1 à 2 bilans journaliers par mois (Débit, MES, DCO, DBO, *E. Coli*...) suivant les stations de traitement des eaux usées.

Suivi en temps de pluie

Le protocole initial prévoyait la réalisation des prélèvements suivants : .1 bilan journalier le jour de la pluie (état zéro) et les deux jours suivants la pluie (Evaluation de l’impact de l’apport d’eau de pluie dans les bassins des lagunes) puis à J+6 et un par semaine durant 3 semaines supplémentaires.

Suite au 1er évènement pluvieux suivi en Octobre 2007 (au cours duquel il a été appliqué), le comité technique du projet OMEGA THAU a décidé une modification de ce même protocole pour les campagnes de mesures suivantes : 1 bilan journalier le jour de la pluie (état zéro) et les sept jours suivants la pluie (J+1 à J+7) (Evaluation de l’impact de l’apport d’eau de pluie dans les bassins des lagunes)

Les paramètres étudiés sont les suivants :

- Débit journalier entrée et sortie,
- Paramètres physico-chimiques : DCO, DBO₅, MES, NTK et Pt,
- Paramètres microbiologiques : *E. coli*.

2.3.2.5 Données complémentaires de suivi de la qualité des eaux au niveau ou à proximité des exutoires lagunaires

Des données complémentaires concernant la qualité de l’eau (suivi bactériologique) sont également disponibles au niveau des exutoires lagunaires :

- Suivi de la qualité des eaux de baignade assuré par la DDASS en saison estivale uniquement depuis 1993 en 5 points :
 - ◆ Plage Sud de Balaruc-les-Bains,
 - ◆ Plage VVF,
 - ◆ La Plagette,
 - ◆ Village Vacance,
 - ◆ La Trémie.
- Suivi de la qualité des eaux saumâtres assuré par le CQEL depuis 2003 une fois par mois à date fixe en 10-11 points :
 - ◆ P1 : Rejet de la station de pompage de Villeroy à Sète,
 - ◆ P5 : Vieux Port de Marseillan, à la sortie du réseau pluvial,
 - ◆ P6 : Exutoire du ruisseau des Fontanilles, Marseillan les Mazets,
 - ◆ P7 : Exutoire du ruisseau du Soupié,
 - ◆ P8 : Sortie du lagunage de Mèze,
 - ◆ P10 : Exutoire du ruisseau du Pallas,
 - ◆ P14 : Port de Plaisance, au niveau de l'exutoire pluvial,
 - ◆ Point supplémentaire : Connexion entre l'étang des Moulières et l'Étang de Thau,
 - ◆ P18 : Plage de Balaruc les Bains, au niveau de l'exutoire pluvial,
 - ◆ P15 : Exutoire de la Vène,
 - ◆ P20 : "Port Suttel" (lieu-dit).

Les analyses effectuées sont : pH, salinité, température, concentration en oxygène, entérocoques fécaux et *E. coli*.

- Suivi de la qualité des eaux du canal de Sète (canal Royal) pour les paramètres coliformes totaux, *E. coli* et entérocoques, suivi assuré par SDEI pour le compte de la CABT en 9 points :
 - ◆ Pont de la Savonnerie,
 - ◆ Pont Virla,
 - ◆ Pont Sadi Carnot,
 - ◆ Pointe Longue,
 - ◆ Ile de Thau,
 - ◆ Canal Saint Joseph,
 - ◆ Pont Levis,
 - ◆ Quilles,
 - ◆ Pointe du Lazaret.
- Suivi des cours d'eau le Nègues-Vaques, l'Aygues-Vaques, le Pallas et du Port de Mèze par la police rurale de Mèze de 1998 à 2006 en 27 points :
 - ◆ 7 points de suivi répartis le long du ruisseau le Pallas,
 - ◆ 7 points de suivi répartis le long du ruisseau le Nègues-Vaques,
 - ◆ 5 points de suivi répartis le long du ruisseau l'Aygues-Vaques,
 - ◆ 8 points de suivi dans le port de Mèze,

Les analyses effectuées concernent les paramètres *E. Coli* et entérocoques.

- Suivi de la qualité des eaux conchylicoles assuré par Ifremer dans le cadre du réseau REMI (REseau de contrôle Microbiologique) à fréquence bimensuelle à minima depuis 1989 en 9 points :
 - ◆ 37087010 : Marseillan
 - ◆ 37087020 : La Fadèze
 - ◆ 37087019 : Montpenède (b)
 - ◆ 37087018 : Mèze (b)
 - ◆ 37087012 : Mourre-Blanc
 - ◆ 37087017 : Mèze (a)
 - ◆ 37087016 : Port de Loupian
 - ◆ 37087015 : Bouzigues (c)
 - ◆ 37087001 : Bouzigues (a)

2.3.3 Critique des données

2.3.3.1 Données issues des campagnes de mesure antérieures

Les campagnes de mesure antérieures à la campagne de mesure du projet OMEGA THAU (étape 2) ont été réalisées par HydroSciences Montpellier. Plusieurs critiques sont à formuler au sujet :

- ces données concernent essentiellement les bassins versants de la Vène (toujours suivi actuellement) et du Pallas (fin de suivi en 1999) ; il s'agit des deux plus grands bassins de la zone d'étude ; de plus, ce sont les deux seuls bassins à être soumis à l'influence du karst ; ils ne sont donc pas forcément représentatifs du comportement des autres bassins versants de la zone d'étude qui sont de faibles superficies et non karstiques ;
- certaines données sont relativement anciennes (campagnes de 1994 à 1999 et de 2002 à 2005) ; les modifications anthropiques des bassins versants des bassins sont très rapides et de nombreux aménagements sont venus modifier la configuration de la zone d'étude (exemples : raccordement de la STEP de Cournonsec vers Cournonterral, réhabilitation de la STEP de Villeveyrac, travaux sur les réseaux d'assainissement) ; ces données sont donc difficilement exploitables pour le calage du modèle en l'état actuel ;
- la courbe de tarage du Pallas n'est pas validée par HydroSciences Montpellier (pas suffisamment de jaugeages en période de hautes eaux) ; les valeurs de débits fournies de cette station sont donc considérées comme douteuses ;
- toutes les données n'ont pas pu être récupérées auprès d'HydroSciences Montpellier ; aussi certaines données sont issues de la lecture directe de courbes graphiques disponibles dans les mémoires de thèse et autres publications scientifiques, d'où une certaine imprécision des valeurs numériques retranscrites.

Néanmoins, les résultats de la campagne de mesure réalisée en septembre 2006 dans le cadre du chantier PNEC « Lagunes Méditerranéennes » sur le bassin de la Vène sont très utiles car ils concernent une première crue d'automne faisant suite à une longue période sèche et permettent de mettre en évidence la contribution par relargage des stocks-rivières (une crue de ce type n'a pas pu être suivie dans le cadre de l'étape 2). De plus, cette campagne étant relativement récente, la configuration du bassin de la Vène est quasiment identique à celle de la campagne de mesure (étape 2 du projet).

2.3.3.2 Données issues de la campagne de mesure Omega Thau

La campagne de mesures des apports polluants sur le bassin versant (étape 2) a permis d'acquérir un jeu de données important, permettant de modéliser et mieux comprendre le fonctionnement de l'hydrosystème du bassin de Thau.

Bien que l'échantillonnage des apports n'ait pu être optimal au niveau de tous les points de suivi (certains points de suivi ponctuel n'ont été suivis qu'au cours d'une seule campagne, et à un pas de temps parfois trop important), cette étape a apporté de nouveaux éléments de connaissance du bassin versant, tels que :

- mesure des débits en continu sur les 6 principaux cours d'eau de l'étang (Vène, Moullières, Pallas, Sesquier, Soupié et Fontanilles), ainsi que sur 3 points mobiles positionnés sur des cours d'eau de moindre importance (Aygues-Vacques, Joncas et Agau) ;
- suivi relativement exhaustif des apports polluants à la lagune depuis le secteur Sud-Ouest (Marseillan) jusqu'au secteur Nord-Est (Balaruc-le-Vieux) du bassin de Thau, pour 5 événements pluvieux de période de retour inférieure ou proche de 2 ans ;
- instrumentation fixe (débit en continu et préleveur automatique) d'un bassin versant urbain pluvial séparatif (bassin pilote de Loupian) ayant permis d'acquérir des données de calage pour le modèle de lessivage urbain mis en œuvre dans le cadre de l'étape 3 ;
- caractérisation du fonctionnement des stations d'épuration en temps de pluie,
- suivi du fonctionnement de certains PR en temps de pluie.

Les informations concernant les PR restent souvent incomplètes (cf chapitre 4.3.2.2), notamment pour ce qui concerne les débits réellement transités et les périodes de déversement réels. En effet, pour la plupart des PR, seules les durées d'alarme haute sont disponibles. 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.

L'étape 2 a permis de couvrir l'essentiel du territoire de Thau. Néanmoins, des mesures complémentaires aux exutoires des bassins versants des communes de Balaruc-les-Bains, Frontignan et Sète, notamment pour des pluies de période de retour supérieure à 2 ans, permettraient de compléter le jeu de données acquises et ainsi d'avoir une vision générale de la problématique des apports microbiologiques à la lagune de Thau.

Source : ETPB Dordogne, 2009.

3. DESCRIPTION DES PHENOMENES ETUDIES

3.1 LA DYNAMIQUE DES ECOULEMENTS DANS LES RIVIERES INTERMITTENTES

Les rivières intermittentes s'assèchent sur tout ou partie de leur thalweg, durant une période de l'année, durant laquelle les précipitations sont rares. La durée d'assèchement peut être de plusieurs mois. Elle sera plus courte en cas d'apports souterrains soutenus (par exemple, un aquifère karstique) ou en présence d'apports anthropiques (par exemple le rejet d'une station d'épuration). En période humide ces rivières présentent une réponse rapide aux épisodes pluvieux dont la durée peut dépasser celle de l'évènement pluvieux (Grillot, 2006 ; Tournoud, 2008).

En contexte méditerranéen, l'intermittence des écoulements dans les bassins versants côtiers est la conséquence des précipitations intenses et rares, souvent localisées. Ces événements de pluies intenses se produisent sur de courtes durées (quelques heures), après des périodes sèches pouvant parfois dépasser plusieurs mois. La réponse des bassins versants est très rapide, provoquant des crues éclairs, surtout en fin de période sèche. Les temps de réponse sont très courts et leur durée dépasse à peine celle de la pluie (Osborn et Renard, 1969 ; Bull et Kirby, 2002).

Ces rivières sont caractérisées par une extrême variabilité des écoulements. Leur comportement dynamique peut être regardé comme une succession de périodes d'étiage et d'évènements de crue plus ou moins indépendants (Knighton et Nanson, 2001).

Il est possible de comparer la réponse impulsionnelle des bassins côtiers à celle des bassins urbains, mais il faut souligner deux différences importantes : les premières crues présentent, à l'échelle du bassin, des coefficients de ruissellement extrêmement faibles, souvent inférieurs à quelques pourcents (Camasara-Belmonte et Segura-Beltran, 2001 ; Beven, 2002) et la crue n'est pas forcément observable à l'exutoire du bassin, même pour un cumul précipité important (Wittenberg et al, 2007). Cela s'explique par les particularités des processus de versant et du transfert en rivière.

Figure 11 : Schéma du comportement hydrologique du bassin versant.



3.1.1 Processus de versant

A la fin de la période d'étiage, les toutes premières crues sont essentiellement générées par le ruissellement de surface des versants, dont les manifestations sont très hétérogènes dans l'espace et dans le temps.

Du fait des fortes intensités des précipitations, le ruissellement est exclusivement lié au dépassement de la capacité d'infiltration des sols. Ce processus dit « hortonien » est extrêmement variable dans l'espace car il dépend des propriétés de surface du sol, en particulier sa topographie fine et sa rugosité, mais aussi de la couverture végétale souvent éparse en climat méditerranéen. L'encroûtement ou l'imperméabilisation artificielle des terrains l'augmente considérablement, alors que le travail des sols agricoles va l'atténuer (Léonard Andrieux, 1998).

En zone méditerranéenne, au cours d'un même épisode pluvieux et sur le même site, le ruissellement est dû localement à la saturation des sols. Ce processus est considéré comme le plus important dans le transfert des écoulements sur les versants et vers la rivière lorsque les conditions d'humidité des sols sont suffisantes (après les premières pluies). La variabilité spatiale de ce phénomène est très importante. Des pertes par infiltration dans les zones moins humides ou plus perméables sont également observées (Calvo-Cases et al, 2003).

Les précipitations ne génèrent donc sur les versants que des réponses très locales. Ce phénomène est d'autant plus accentué que la variabilité spatiale mais aussi temporelle des précipitations orageuses qui génèrent les crues est importante (Kirby et al, 2005).

3.1.2 Processus souterrains

Excepté pour les bassins karstiques, la contribution des écoulements souterrains aux crues est généralement faible. La plupart des rivières côtières méditerranéennes n'ont pas de nappe d'accompagnement, ce qui rend peu probable l'alimentation de la rivière par des apports souterrains (Bracken-Bull et Kirby, 2005).

Les écoulements de subsurface sont souvent ignorés, car les possibilités de stockage de l'eau dans les sols sont faibles, surtout en période sèche, ce qui explique la brièveté des premières crues. Cependant après une succession de pluies, la durée des crues augmente et dépasse, de plusieurs heures ou quelques jours la durée de la pluie. La contribution des écoulements de subsurface est alors indiscutable même si elle est faible en volume (Taha, 1997).

Pour les bassins karstiques, les crues observées dans la rivière peuvent être parfois uniquement dues aux apports du karst. Leurs coefficients d'écoulement sont alors très élevés et peuvent dépasser 100% (Grillot, 2006).

3.1.3 Propagation des écoulements

La propagation des écoulements dans le réseau est perturbée par trois effets : le processus d'activation successive des différents drains, les pertes par infiltration le long des drains et, dans les zones plus arides, l'évaporation directe des ruissellements. Ces perturbations vont modifier les hydrogrammes de crue le long de la rivière et il n'est pas rare d'observer une diminution conséquente du volume de la crue entre l'amont et l'aval (Knighton et Nanson, 1994).

Les premières crues de fin d'étiage interviennent dans un réseau de drainage complètement asséché. Le passage de la crue correspond d'abord à la remise en eau des drains. L'onde de crue se propage, en étant retardée, voire même arrêtée, par le comblement des dépressions locales du lit de la rivière, ou par le remplissage des zones de stockage en amont de seuils naturels ou artificiels. Les pertes liées à ces processus d'activation des drains asséchés varient de 20 à 80% sur le volume écoulé à l'exutoire du réseau, lors d'une crue de faible intensité (Dunkerley et Brown, 1999 ; Costelloe et al, 2003).

Les pertes par infiltration sont une autre cause importante de perturbation de la propagation des écoulements. Ces pertes se produisent dans les sédiments non consolidés du lit ou à travers les berges des drains. Elles augmentent avec la largeur du lit de la rivière et sont influencées par les conditions d'humidité des sédiments. De ce fait, elles concernent essentiellement à la partie aval des bassins versants, la plaine alluviale et le lit majeur. De plus, elles ont une importance majeure dans les premières crues, en particulier lors de la phase de montée de crue. De nombreux exemples de ce type de phénomène sont rapportés dans la littérature. La diminution du volume de crue est évaluée de 20 à 75% selon les sites (Tooth, 2000).

Les pertes par évaporation sont négligées car les crues des régions méditerranéennes sont trop rapides pour être affectées par ce phénomène (Camarasa-Belmonte, 2001 ; Segura-Beltran, 2001).

3.2 LA DYNAMIQUE DES *ESCHERICHIA COLI* SUR LES PETITS BASSINS VERSANTS COTIERS

3.2.1 Devenir des *E. coli* sur un bassin versant : comportement général

3.2.1.1 Description des principaux processus

Pour comprendre et pouvoir modéliser le comportement des *E. coli* dans les rivières, il est nécessaire de quantifier les apports de ce type de bactéries vers les rivières. Ces apports peuvent être soit ponctuels comme les rejets des effluents traités des stations d'épuration des eaux usées, soit diffus lorsqu'ils résultent du ruissellement et du lessivage des sols.

L'identification et la quantification des processus conduisant à la diminution de l'abondance des bactéries fécales en aval d'un site d'apport important ainsi que l'identification des facteurs de contrôle de ces processus sont également nécessaires au développement d'un modèle de la dynamique des bactéries fécales en rivières.

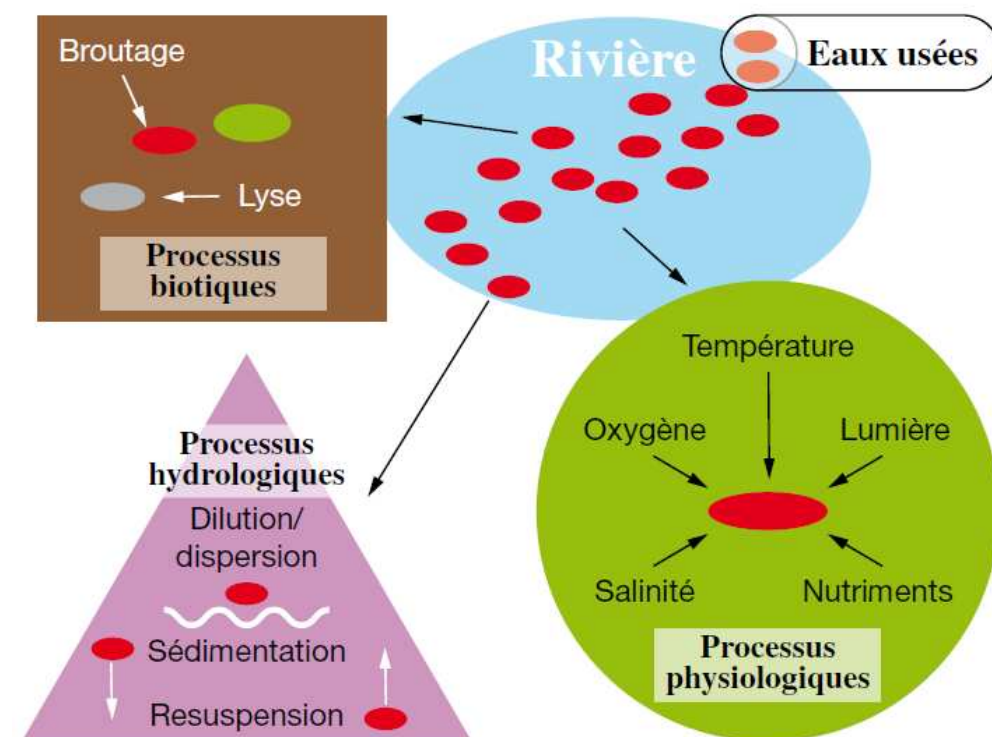
Une fois rejetées dans le milieu naturel, les bactéries d'origine entérique disparaissent relativement rapidement. La capacité des eaux de surface à éliminer progressivement les bactéries d'origine entérique par un ensemble de processus naturels divers (pourvoir « auto-épuration ») est un fait reconnu depuis longtemps.

La vitesse de disparition des bactéries fécales est le plus souvent caractérisée par une constante de premier ordre (k exprimée soit en h^{-1} , soit en j^{-1}) ou un T_{90} , le temps nécessaire pour que 90 % de la population initiale ait disparu. Les valeurs de T_{90} le plus souvent rapportées sont comprises entre 5 et 100h (soit des vitesses de disparition dans la gamme 0.5 à 0.02 h^{-1}).

Les processus contrôlant le devenir de ces bactéries dans l'environnement aquatique représentés peuvent être divisés en trois types (Garcia-Armisen, 2006 ; Servais et al, 2007) :

- **Les processus hydrodynamiques** incluent la dilution dans le milieu aquatique récepteur, la dispersion, la sédimentation et la resuspension : les deux premiers processus dépendent uniquement de l'hydrodynamique du système tandis que les deux derniers sont conditionnés par l'attachement des bactéries fécales à des matières en suspension.
- **Les processus biotiques** sont : la prédation par des protozoaires, la lyse induite par des bactériophages et la compétition avec les flores autochtones. Rozen et Belkin (2001) montrent, par une revue extensive de la littérature, que le broutage par les protozoaires est unanimement reconnu comme le plus important des processus biotiques.
- **Les processus physiologiques** font référence à la réponse cellulaire de ces bactéries face aux conditions stressantes rencontrées dans ce nouvel environnement. Les paramètres environnementaux responsables des conditions stressantes sont entre autres: la température de l'eau, la lumière solaire, la carence en nutriments et la salinité (lorsque que le rejet a lieu dans des eaux saumâtres ou marines).

Figure 12 : Schéma des processus régissant le devenir des bactéries fécales rejetées en rivière.



Source : Servais et al, 2007.

Remarque : Soumises à ces conditions de stress, les bactéries peuvent montrer des changements dans leur composition, leur taille, leur hydrophobicité et peuvent perdre leur capacité à se diviser tout en conservant leur viabilité. Ces bactéries dites « viables non cultivables » ne peuvent pas être dénombrées par les méthodes classiques basées sur la mise en culture qui impliquent une multiplication des cellules.

3.2.1.2 Attachement des bactéries fécales aux matières en suspension

Un des processus importants pour la dynamique des bactéries fécales en milieux naturels est l'attachement aux particules. En effet, les bactéries attachées peuvent, comme les particules, sédimenter et être remises en suspension, de plus l'attachement d'une bactérie fécale à une particule pourrait la protéger de différents facteurs létaux tels que la lumière, le broutage par les protozoaires ou la carence en nutriments.

Plusieurs études montrent que les sédiments sont un réservoir très important de bactéries fécales qui peuvent être remises en suspension par la navigation, des activités récréatives ou l'effet des marées en zones estuariennes et côtières (Shiaris et al, 1987 ; Pommepuy et al, 1989 ; Le Hir et al, 1990 ; Ferguson et al, 1996 ; Pettibone et al, 1996 ; Baudart et al, 2000 ; Obiri-Danso et Jones, 2000 ; Craig et al, 2003).

Les concentrations en bactéries fécales observées dans les sédiments sont souvent de 10 à 1000 fois supérieures à celles de la colonne d'eau sus-jacente (Pommepuy et al. 1992 ; Buckley et al, 1998 ; Crabill et al, 1999). Le risque sanitaire associé n'est pas souvent pris en compte et certains auteurs proposent que l'évaluation de la qualité des eaux en zones de baignade inclue une évaluation des concentrations de bactéries fécales dans les sédiments (Burton et al, 1987 ; Craig et al, 2003, 2004).

Des nombreux auteurs s'accordent à dire que la survie des bactéries fécales est meilleure dans les sédiments que dans la colonne d'eau (Gerba et MacLeod, 1976 ; Hood et Ness, 1982 ; La Liberte et Grimes, 1982 ; Burton et al, 1987 ; Pommepuy et al, 1992 ; Davies et al, 1995, Davies et Bavor, 2000 ; Craig et al, 2003, 2004). Les sédiments protègent, en effet, les bactéries des radiations solaires, de la prédation par les protozoaires et offrent des éléments osmoprotecteurs et des nutriments. Dans ce milieu moins stressant, une plus faible proportion de bactéries se retrouverait dans l'état de VBNC (Fish et Pettibone, 1995 ; Davies et al, 1995).

La nature des sédiments auxquels elles sont associées semblerait aussi avoir une influence sur la survie des bactéries fécales ; les particules de petite taille avec un contenu élevé en carbone organique favoriseraient davantage la persistance de ces bactéries (Burton et al, 1997 ; Craig et al, 2003, 2004). Tous ces travaux décrivent assez bien ce qui se passe dans les sédiments, mais il y a très peu d'information sur le devenir des bactéries attachées aux matières en suspension dans la colonne d'eau (Characklis et al, 2005).

Dans le cadre du programme PIREN Seine, des mesures de la proportion des *E. coli* attachés aux MES dans de nombreux échantillons d'eaux de rivières caractérisés par des teneurs très variées en MES ont permis d'établir une régression linéaire entre le pourcentage de bactéries attachées et la teneur en MES a été établie : $Y = 1.15 X$ ($n = 61$, $r^2 = 0.65$, $p < 0.0001$) avec Y : pourcentage d'*E. coli* attachés aux MES et X : la concentration en MES (mg l^{-1}). L'attachement des bactéries à des particules de différentes tailles a été étudié dans des échantillons d'eaux de rivières et d'eaux usées. Il apparaît que dans les eaux de rivières, les *E. coli* sont distribués de façon assez homogène entre les différentes classes de taille de particules, alors que dans les eaux usées une plus grande proportion est attachée à des particules de plus de $75 \mu\text{m}$; cette différence de distribution pourrait être expliquée par une sédimentation rapide des grandes particules après les rejets de stations d'épuration.

3.2.2 Cas particulier des petits bassins versants côtiers méditerranéens

Pour les petits bassins versants côtiers méditerranéen, les conditions hydrologiques sont un facteur explicatif important de la dynamique bactérienne à l'exutoire d'un bassin versant.

Dans leur transfert des zones sources à l'exutoire d'un bassin versant, les bactéries subissent des cycles successifs d'accumulation et de transport : durant les périodes « sèches », les bactéries sont stockées dans différents compartiments sur les versants (couche superficielle du sol, fissures, fossés, etc.) et dans la rivière (sédiments du lit et des berges) où vont se produire des processus de dégradation (mortalité ou prédation) ou de croissance ; durant les périodes « humides » (crue, ruissellement), les bactéries vont être entraînées vers l'aval, éventuellement jusqu'au milieu récepteur.

En effet, en climat méditerranéen, de longues périodes de sécheresse séparent les périodes d'écoulement qui correspondent souvent à des crues importantes. Sur le Tech, il a ainsi été démontré que les flux bactériens varient de façon importante au cours de l'année, et ont estimé que 95% de la charge annuelle en coliformes fécaux passent durant les crues en 20% du temps (Baudart et al, 2000).

3.2.2.1 Accumulation durant la période sèche

La durée de la période sèche contrôle les quantités de bactéries susceptibles d'être stockées sur les sols ou dans la rivière. Même si ceci n'est pas un caractère propre aux bassins versants des zones méditerranéennes, il prend, dans ce cas, une grande importance vu que la persistance de la sécheresse peut atteindre plusieurs mois.

Que ces bactéries soient liées à la présence d'animaux ou aux activités humaines, les sols des surfaces perméables ou imperméables et la végétation vont les accumuler en continu. De nombreuses réactions vont avoir lieu et modifier la biodisponibilité de ces bactéries selon les processus généraux décrits précédemment. Ces réactions ne se font pas toujours dans le sens attendu : ainsi les bactéries fécales excrétées par les animaux sauvages ou d'élevage et contenues dans les boues épandues sur les sols agricoles constituent des stocks importants, dans des zones riches en matières organiques, ce qui augmente leur survie et permet même leur multiplication (Hunter et al, 1999).

Dans la rivière, on assiste à l'accumulation des rejets directs, qui constituent souvent, dans les zones arides ou semi-arides, l'essentiel de l'écoulement d'étiage. Les très faibles vitesses ne vont pas permettre l'évacuation des bactéries rejetées, ni même leur dilution mais au contraire favoriser leur immobilisation. Des biofilms vont se constituer, aidés en cela par l'augmentation des températures et de l'ensoleillement en été. Les bactéries fécales vont constituer des stocks qui peuvent survivre sur de longues périodes, du fait des fortes teneurs en matière organique. Mais l'assèchement du cours d'eau et la dessiccation des sédiments du lit vont modifier la biomasse bactérienne qui peut subir une importante mortalité (Qiu et McComb, 1996) ou se multiplier (Sherer et al, 2002).

3.2.2.2 Impact des épisodes pluvieux et des premières crues

Les premiers épisodes pluvieux, et les crues qu'ils génèrent, sont considérés comme une période critique dans le fonctionnement hydrologique et biologique des rivières intermittentes. Les précipitations vont immédiatement remobiliser des bactéries accumulées sur les versants et transférer les éléments vers le réseau de drainage (Durand et al, 1993).

Le lessivage urbain peut donc fournir une grande partie de la pollution dans les bassins versants en contexte agricole et méditerranéen, mais les concentrations vont rapidement diminuer si les épisodes pluvieux se succèdent, sous l'effet de l'épuisement des stocks accumulés, en particulier en zone méditerranéenne. Lorsque les pluies sont très intenses, les pollutions issues des débordements des systèmes d'assainissement, qu'ils soient unitaires ou séparatifs, vont s'ajouter à celles du ruissellement sur les surfaces urbaines et aboutir au réseau de drainage (Asaf et al, 2004 ; Massoud et al, 2006).

L'érosion par ruissellement sur les sols agricoles entraîne tous les éléments adsorbés sur des particules et en particulier les bactéries fécales, surtout si l'épisode pluvieux intervient à la suite d'un épandage de lisiers mais aussi longtemps après, en particulier en zone méditerranéenne. Après la pluie les écoulements de subsurface et le drainage des sols agricoles vont poursuivre l'épuisement des stocks accumulés dans ces zones. La contribution des assainissements autonomes aux flux de pollution sont alors observées du fait de la participation importante du drainage des sols à l'écoulement dans la rivière (Tyrell et Quinton, 2003 ; Ramos et Martinez-Casasnovas, 2006).

A la remise en eau des drains, les bactéries accumulées dans les sédiments et les biofilms vont être repris et transportés par l'onde de crue. La capacité de transport des éléments remobilisés va dépendre également des conditions hydrauliques (importance de la crue, continuité de l'écoulement) et des conditions de la biodisponibilité des bactéries. Dans ce domaine, l'état des connaissances est encore très parcellaire. Les travaux menés par ECOLAG sur ce thème devraient permettre d'approfondir la connaissance de ces phénomènes complexes.

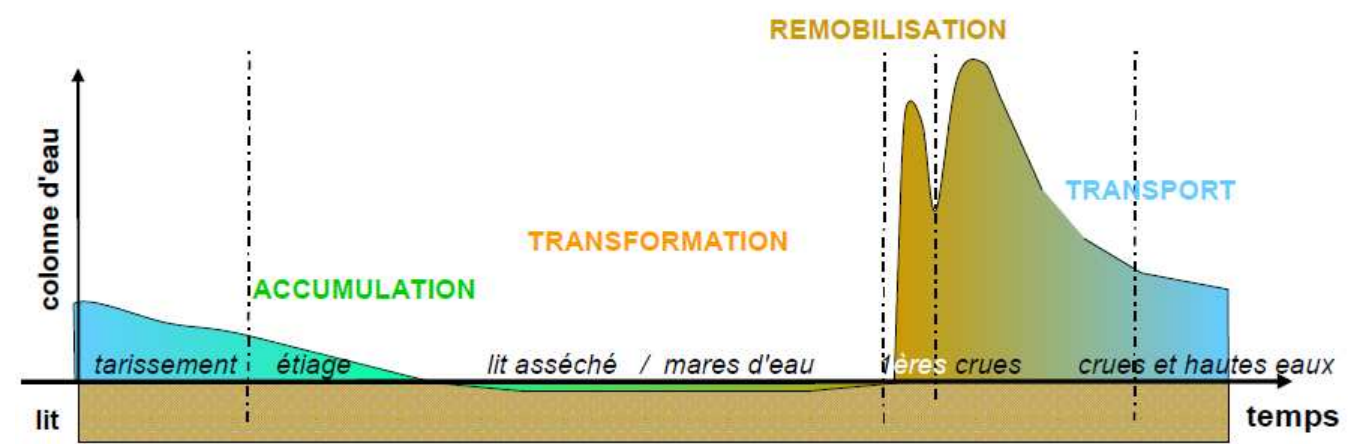
3.3 IMPACT SUR LA MODELISATION

La dynamique des flux de bactéries dans les rivières intermittente, en contexte méditerranéen, est largement influencée par leur comportement impulsif. On peut résumer les points clés de ce fonctionnement (Chu 2006 ; Grillot 2006 ; Tournoud et al, 2008) :

- L'absence de précipitations et l'assèchement du réseau hydrographique durant une longue période offrent des conditions propices à l'accumulation des bactéries, sur les versants et dans les lits des cours d'eau. Cela va concerner les pollutions issues des rejets anthropiques (rejets qui sont souvent les seules sources d'alimentation en eau de la rivière durant l'étiage), les déjections des animaux domestiques, sauvages ou d'élevage qui vont s'accumuler sur les sols ou dans les fossés.
- Durant les épisodes pluvieux intenses et brefs, les ruissellements sur les surfaces les moins perméables et les écoulements dans le réseau assurent la reprise et le transfert des bactéries vers l'aval. La forte discontinuité spatiale et la brièveté des écoulements ne permettent pas forcément leur évacuation totale à l'exutoire. Les interruptions de flux se manifestent aussi bien sur les versants où le fort déficit d'humidité des sols perméables favorise les pertes par infiltration, que dans la rivière.
- Les crues rapides de fin d'étiage vont donc mobiliser et transférer une partie des bactéries accumulées sur les versants et dans le lit de la rivière, sans épuiser complètement les stocks constitués durant l'étiage. Ce sont les fortes pluies de la période humide qui finiront le nettoyage des sols et de la rivière.
- Les temps de transfert des éléments étant relativement courts, il paraît raisonnable de supposer qu'aucune transformation biologique n'a lieu durant les crues. Par contre, durant les longues périodes sèches, les processus d'évolution des stocks de bactéries devront être pris en compte.

Dans le cadre de l'établissement d'un outil de gestion des apports de bactéries du bassin versant et de la définition d'un programme de travaux (étape 4), il faut pouvoir évaluer les conséquences des actions envisagées et donc s'orienter vers un outil de modélisation qui prenne en compte les comportements particuliers des bassins versants côtiers méditerranéens. Le modèle retenu doit coupler un module « hydrologie » et un module « qualité » dans une approche spatialisée des processus car il est nécessaire de pouvoir intégrer la localisation et la diversité des sources de pollution sur le bassin (agricoles, domestiques et industrielles, etc.) et les modes d'apport à la fois diffus et ponctuels.

Figure 13 : Schéma du fonctionnement du bassin versant des lagunes.



Source : Tournoud, 2009.

4. DESCRIPTION DU MODELE

4.1 TYPE DE MODELE

Le modèle « bassin versant » est un modèle conceptuel, spatialisé, 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.

➤ Modèle conceptuel :

- ◆ Un modèle conceptuel représente le bassin versant ou la rivière comme des unités de stockage, de production ou de transfert et est basé sur une description globale des processus qui distingue les processus de production sur les versants et les processus de transfert en rivière.
- ◆ Ce type de modèle permet de déterminer directement des flux de bactéries produit sur le bassin et son transport dans le réseau jusqu'à l'exutoire en fonction de la pluie. Cette approche permet de limiter le nombre de paramètres de calage, paramètres déduits des données mesurées et déterminés en fonction des caractéristiques physiques ou anthropiques du bassin.
- ◆ L'établissement de ce type de modèle repose sur plusieurs hypothèses simplificatrices. Ces hypothèses, adaptées aux objectifs du travail et au contexte des bassins ont pour conséquence de restreindre le champ d'application du modèle.

➤ Modèle spatialisé :

- ◆ Le modèle repose sur un découpage de l'espace en sous-bassins versants (unités de production) et biefs de rivière (unités de transport et de stockage). Cette segmentation dépend de la structure du réseau hydrographique et la localisation des points de rejets sur le bassin d'étude.
- ◆ La vision spatialisée du bassin permet d'intégrer les différentes sources de pollution (agricoles, domestiques et industrielles, etc.) et les modes d'apport à la fois diffus et ponctuels.
- ◆ Le modèle est à base conceptuelle et deux concepts sont utilisés pour définir les unités spatiales du modèle : le concept de zones de production homogène et le concept d'unités structurales (bief et sous-bassin). La taille des bassins d'étude ne permet plus de négliger le transport en rivière. Par conséquent, l'approche par sous-bassins et biefs semble le concept le plus adapté pour représenter l'organisation du bassin en unités de production avec le minimum de paramètres.

➤ Modèle évènementiel

- ◆ Ce type de modèle est particulièrement bien adapté aux situations où les flux générés par temps de pluie constituent le mode de transfert principal vers le milieu aquatique, ce qui est le cas des rivières intermittentes des petits bassins versants côtiers méditerranéens.
- ◆ Ce type de modèle nécessite de préciser l'état initial du bassin en fonction des antécédents climatiques. La réponse à un épisode de pluie est fortement conditionnée par l'état hydrique du bassin et par le nombre de bactéries accumulées entre deux épisodes de pluie.

➤ Modèle qui simule en temps de pluie à un pas de temps infra-horaire :

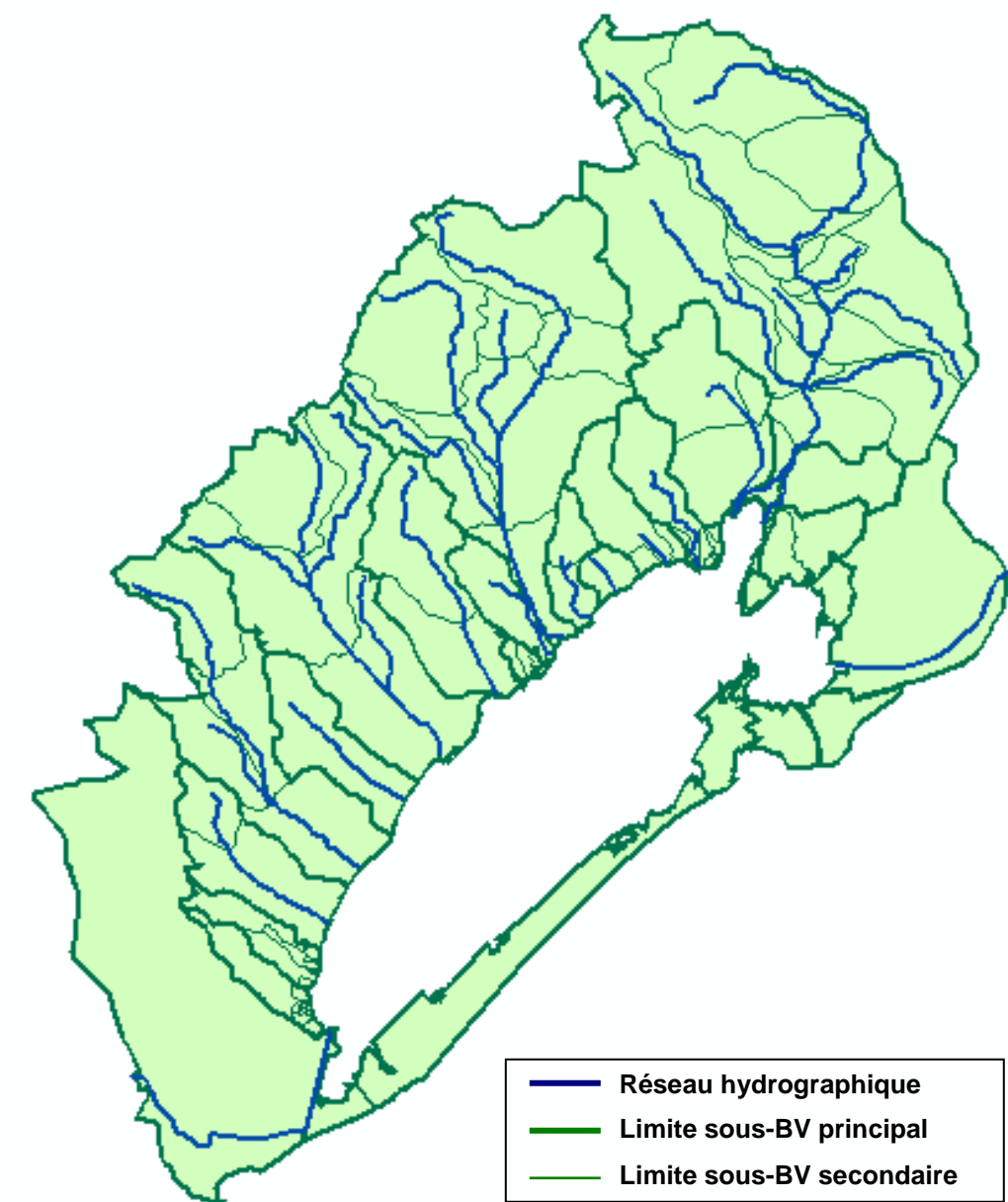
- ◆ La pluie est la seule variable de forçage prise en compte dans le modèle en raison de son rôle moteur dans les processus de production et de transport des bactéries.

- ◆ L'analyse de la dynamique des crues et des flux de bactéries observés montre la nécessité de travailler avec un pas de temps infra-horaire.

4.2 STRUCTURE DU MODELE

L'architecture du modèle s'appuie sur le découpage en sous-bassins secondaires et sur le réseau hydrographique.

Figure 14 : Aperçu de la structure du modèle.



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 si nécessaire été ajoutés. Au niveau des ces nœuds, sont injectés les apports ponctuels en eau et en bactéries (exemple : rejet de station d'épuration). Dans chaque tronçon de cours d'eau, les transferts des écoulements et des bactéries sont calculés.

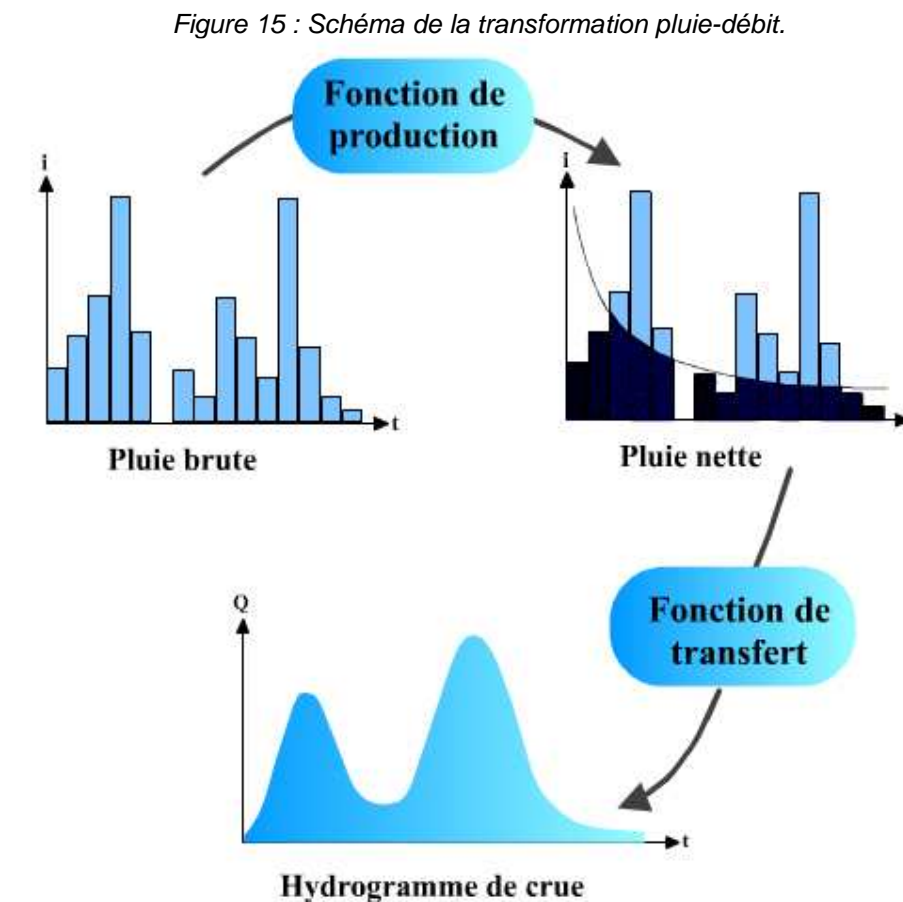
4.3 PRINCIPES ET HYPOTHESES DE MODELISATION

4.3.1 Modélisation des écoulements

4.3.1.1 Transformation pluie-débit

La modélisation de la transformation pluie-débit a pour objectif de produire un hydrogramme d'eau pluviale à l'exutoire du bassin versant étudié. Bien que physiquement tous les processus contribuant à la transformation soient fortement interdépendants, la modélisation est décomposée en deux étapes distinctes et successives : **la production et le transfert** :

- **La fonction de production** permet de définir la partie de la pluie précipitée (pluie brute) qui va effectivement s'écouler à l'exutoire du bassin versant. Le résultat de cette première transformation est un hyétogramme de pluie nette. Il s'agit d'une grandeur fictive. La pluie nette est calculée par différence entre la pluie brute et les pertes à l'écoulement (évaporation, rétention par la végétation, stockage dans les dépressions, infiltration). La pluie nette est exprimée sous la forme d'un débit de pluie nette en multipliant l'intensité instantanée de pluie nette par la surface du bassin versant.
- **La fonction de transfert** a pour objectif de transformer le débit de pluie nette en débit à l'exutoire. Il s'agit là d'un opérateur conservatif (le volume de l'hydrogramme de pluie nette est le même que celui de l'hydrogramme à l'exutoire). Son seul but est de représenter les transformations de la forme de l'onde de débit lors de son passage à travers le bassin versant.



Source : EPFL, 2005.

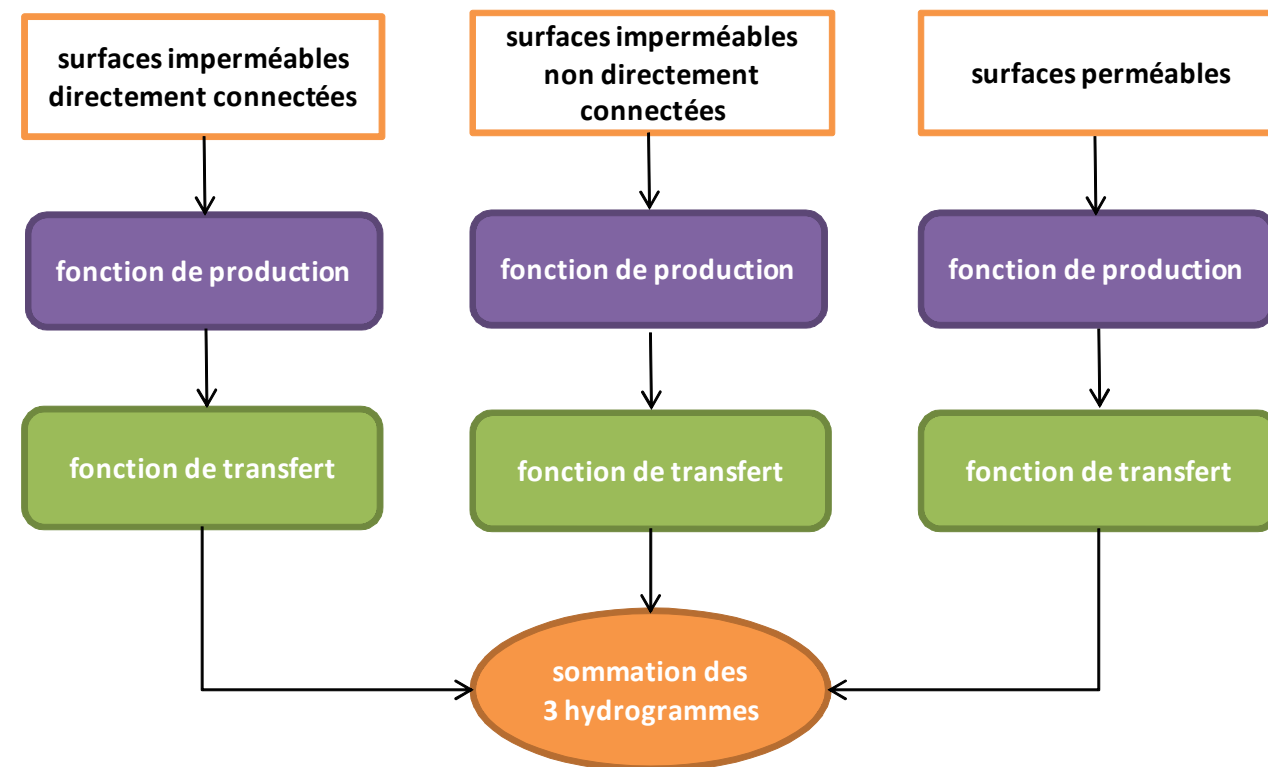
Dans la plupart des cas, chaque sous-bassin versant est décomposé en trois types de surfaces :

- les surfaces imperméables en relation directe avec le réseau étudié qui sont des surfaces raccordées volontairement au réseau d'assainissement (toitures équipées d'un branchement, voiries équipées d'avaloirs, etc.),
- les autres surfaces imperméables qui sont celles susceptibles de ruisseler vers une surface perméable (toiture équipée d'une gouttière débitant vers un jardin, etc.) ou susceptibles de ruisseler vers un autre exutoire (route équipée d'un fossé connecté à la rivière, etc.)
- et les surfaces perméables. Le calcul est réalisé par type de surface, et les hydrogrammes produits par chaque type de surface sont ensuite sommés pour produire l'hydrogramme à l'exutoire. Du fait de la linéarité des modèles utilisés, ce mode de description ne pose aucune difficulté de calcul.

Trois types de bassins versants ont été distingués :

- bassins versants urbains stricts (zones urbanisées équipées d'un réseau d'assainissement, imperméabilisation totale supérieure à 30%),
- bassins versants ruraux stricts (zones rurales ou naturelles, imperméabilisation totale inférieure à 5%),
- bassins mixtes (zones partiellement urbanisées, imperméabilisation comprise entre 5 et 30%) ; les bassins versants mixtes sont eux-mêmes de deux types différents : bassins urbain/urbain modifié et bassins urbain/rural.

Figure 16 : Organisation générale des calculs pour la transformation pluie-débit.



Source : INSA-SOGREAH-ALISON, 2005.

FONCTION DE PRODUCTION : MODELE SCS

Le modèle du Soil Conservation Service (SCS) a été développé aux Etats-Unis en 1972 sur la base de résultats de mesures pluvio-hydrométriques pratiquées sur plusieurs centaines de bassins versants. Il s'agit d'un modèle empirique qui est basé sur le pouvoir de rétention du sol qui absorbe une partie des précipitations. Sur la base des observations de terrain, ce potentiel de stockage (S) est relié à un « Curve Number » (CN) qui est une caractéristique du type de sol, de l'utilisation du sol et l'état initial de saturation du sol.

La valeur de S est définie par l'expression empirique suivante : $S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$ avec S en mm.

Les valeurs usuelles de CN en fonction du type de sol, du type d'utilisation du sol et du degré de saturation sont fournies dans la littérature et sont calculées pour chaque sous-bassin par moyenne pondérée pour les différents types de sol.

Tableau 12 : Valeurs usuelles du Curve Number de la méthode SCS.

Type de couvert	Mode de culture	Condition d'infiltration	Curve Number (CN)			
			Groupe A	Groupe B	Groupe C	Groupe D
Friche	SR		77	86	91	94
Cultures en rangées	SR	faible	72	81	88	91
	SR	haute	67	78	85	89
	C	faible	70	79	84	88
	C	haute	65	75	82	86
	C+T	faible	66	74	80	82
	C+T	haute	62	71	78	81
Céréales	SR	faible	65	76	84	88
	SR	haute	63	75	83	87
	C	faible	63	74	82	85
	C	haute	61	73	81	84
	C+T	faible	61	72	79	82
	C+T	haute	59	70	78	81
Légumineuses à grains	SR	faible	66	77	85	89
	SR	haute	58	72	81	85
	C	faible	64	75	83	85
	C	haute	55	69	78	83
	C+T	faible	63	73	80	83
	C+T	haute	51	67	76	80
Pâturages ou zones de parcours		faible	68	79	86	89
		haute	49	69	79	84
		faible	39	61	74	80
	C	haute	47	67	81	88
	C	faible	25	59	75	83
	C	haute	6	35	70	79
Pré (permanent)			30	58	71	78
Bois		faible	45	66	77	83
		moyenne	36	60	73	79
		haute	25	55	70	77
Routes			72	82	87	89
Chemins de terre			74	84	90	92

Source : SCS, 1986.

➤ Type de sol :

- ♦ A : sables profonds - sols très perméables
- ♦ B : sols sableux moins profonds, moyennement chargés en lœss et argiles - infiltration importante au moins en surface
- ♦ C : sols peu profonds à prépondérance argileuse - permettant encore une certaine infiltration
- ♦ D : sols très argileux - imperméables

➤ Mode de culture :

- ♦ SR : rangées droites
- ♦ C : cultures suivant les courbes de niveau
- ♦ T : cultures en terrasse
- ♦ C+T : cultures en courbes de niveau et en terrasse

La pluie nette est décrite par l'équation suivante : $Q(t) = \frac{(P(t) - I_a)^2}{(P(t) + S - I_a)}$

avec Q : pluie nette (mm)

P : pluie brute (mm)
 I_a : rétention initiale (mm)
 S : potentiel de stockage du sol (mm)

Tous les termes de cette équation sont exprimés en mm. Il faut noter que la pluie nette (Q) a une valeur nulle tant que le cumul de pluie n'excède pas la rétention initiale (I_a) qui est prise égale à 20% du potentiel de stockage du sol (S).

Cette méthode a été de nombreuses fois appliquée et calée en région méditerranéenne sur des bassins jaugés avec des résultats tout à fait satisfaisants.

FONCTION DE TRANSFERT : MODELE DE NASH

Il s'agit d'une cascade de réservoirs linéaires identiques débitant les uns dans les autres. Il s'agit donc d'un modèle à deux paramètres (lag time K et nombre de réservoirs n). En théorie, le nombre n de réservoirs peut ne pas être entier.

Le réservoir linéaire combine l'équation de continuité : $\frac{dV_s}{dt} = Q_e(t) - Q_s(t)$.

avec une équation de stockage reliant linéairement le volume stocké au débit sortant : $V_s(t) = K \cdot Q_s(t)$.

avec K : paramètre de calage, lag time ou temps de réponse (s)

Q_e : débit de pluie nette (m³/s)

Q_s : débit à l'exutoire (m³/s)

V_s : volume instantané stocké dans le bassin (m³)

D'une manière générale, dans le cas de bassins versants urbains, une cascade de n réservoirs identiques en série donne des résultats sensiblement meilleurs qu'un réservoir linéaire unique, notamment en ce qui concerne les décalages des hydrogrammes "observés" et "calculés".

Cependant, les valeurs ajustées des paramètres K et n sont fortement corrélées et cette interdépendance des paramètres K et n, de même que la valeur de n souvent voisine de 1, incitent à penser que l'amélioration relative des performances est davantage à mettre sur le compte de l'introduction d'un paramètre supplémentaire de calage que sur celui d'une meilleure adéquation de la modélisation.

K (h) est donné par la relation de Passini : $K = 0.108 I^{-0.5} (A * L)^{\frac{1}{3}}$

avec I : pente moyenne des versants (m/m)

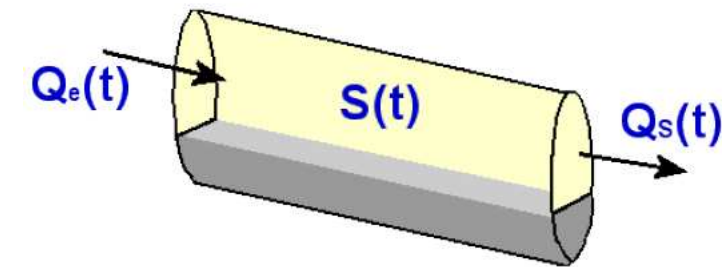
A : surface du bassin (km²)

L : longueur du cours d'eau (km)

4.3.1.2 Propagation en rivière : modèle de Muskingum

Ce modèle de propagation fait appel à une formule de calcul qui intègre une notion de stockage dans le cours d'eau.

Figure 17 : Schéma de la propagation en rivière selon le modèle de Muskingum.



Source : INSA-SOGREAH-ALISON, 2005.

Le modèle de Muskingum combine l'équation de continuité : $\frac{dS(t)}{dt} = Q_e(t) - Q_s(t)$

avec une équation de stockage : $S(t) = K_h(\alpha Q_e(t) + (1 - \alpha)Q_s(t))$.

Le stockage S(t) est proportionnel à une pondération entre le débit entrant Q_e(t) et le débit sortant Q_s(t).

Les paramètres K_h et α sont considérés comme des paramètres empiriques et leurs valeurs sont respectivement de 0.76 (Bouvier et al, 2004) et 0.50 (Cunge, 1969).

4.3.1.3 Atténuation de l'onde à l'exutoire : modèle 1D de Barré de Saint-Venant

Dans la zone d'interface entre le cours d'eau et la lagune, l'écoulement s'évase et l'onde de crue est atténuée (effet de laminage). Cette atténuation est d'autant plus importante que le niveau de l'étang est élevé. Il est donc nécessaire de considérer cette condition hydraulique aval.

Le calcul de l'écoulement est réalisé par l'intégration des équations complètes de Barré de Saint Venant.

L'équation de continuité qui exprime la conservation de la masse de fluide : $\frac{1}{B} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial t} = 0$.

L'équation dynamique qui exprime l'équilibre entre les forces motrices (pente et inertie) et les forces résistantes de frottement :

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\alpha}{2} \frac{\partial V^2}{\partial x} + g \frac{\partial Y}{\partial x} + gKV|V| = 0$$

avec x : abscisse longitudinale (m)

t : temps (s)

Y(x,t) : cote de la surface libre (m)

V(x,t) : vitesse moyenne de l'écoulement (m/s)

Q(x,t) : débit de l'écoulement (m³/s)

B(x,Y) largeur au miroir (m)

g : accélération due à la pesanteur (m/s²)

α : coefficient de répartition des vitesses (sans dimension)

K : coefficient de perte de charge (s²/m²)

Cette deuxième équation est écrite en fonction du débit sous la forme :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{QB}{A} \frac{\partial Y}{\partial t} + \alpha \frac{Q}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} - \alpha \frac{Q^2}{A^2} \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial Y}{\partial x} + g \frac{Q|Q|}{D^2}$$

avec A(x,y) : section de l'écoulement
D(x,y) : débitance

Les équations sont résolues en appliquant une méthode implicite de différences finies permettant une discrétisation du temps et de l'espace, selon un schéma à six pas, dit schéma de Preissmann. Les valeurs de pas de temps et de pas d'espace sont paramétrables. Cette discrétisation conduit à un système matriciel linéaire, résolu par la méthode dite du double balayage.

Remarque : La condition aval a été déterminée à partir des données horaires de hauteurs d'eau enregistrées au marégraphe de Sète (sources : DRE et SONEL) en faisant l'hypothèse que l'équilibre entre l'étang et la mer s'établit en 24 heures.

4.3.1.4 Cas particuliers : Vène, Canal du Rhône à Sète et Canal du Midi

CAS PARTICULIER DU BASSIN LA VENE (KARST)

Concernant la Vène, une décroissance exponentielle des écoulements 12 heures après le début de la crue selon la courbe de tarissement des crues rapides karstiques (Grillot, 2006) a été considérée pour prendre en compte l'apport du karst par la source de Cournonsec.

L'équation de la courbe de tarissement est la suivante : $Q(t) = Q_0 \exp(-0.48 * (t - t_0))$

avec Q(t) : débit de l'écoulement (m³/s)
Q₀ : débit à l'instant où le karst commence à réagir
t : temps (j)

CAS PARTICULIER DES ZONES DU CANAL DU RHONE A SETE ET DU CANAL DU MIDI

Concernant le Canal du Midi et le Canal du Rhône à Sète, un débit de base correspondant à l'apport par la partie non active du bassin (au sens où l'écoulement de cette zone ne rejoint pas directement l'étang par ruissellement mais qu'il transite via le canal) a été ajouté (lissage sur 24 heures).

4.3.2 Modélisation de la pollution

4.3.2.1 Rejets des stations d'épuration

D'un point de vue du modèle, les rejets des stations d'épuration consistent en l'injection directe d'un hydrogramme et d'un pollutogramme associé pour chaque station qui résultent d'une modélisation externe dont la variable de forçage est la pluie journalière.

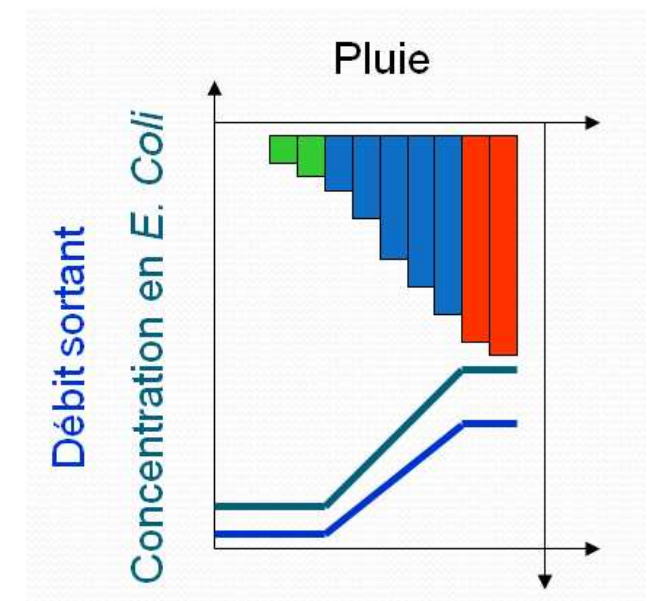
La modélisation externe des rejets des stations *Figure 18 : Courbes des relations entre la pluie, le*

d'épuration s'appuie sur les relations empiriques entre l'antécédent pluviométrique et le débit sortant d'une part et l'antécédent pluviométrique et la concentration sortante en *E. coli* d'autre part.

Une différenciation entre temps sec et temps de pluie a été effectuée. Le flux de temps sec est trop faible pour atteindre l'étang mais alimente les stocks-rivières.

Ces relations intègrent le temps de réponse (décalage entre la pluie et sa répercussion sur le débit et le flux 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 du débit et de la concentration en sortie). Les valeurs maximales retenues correspondent aux valeurs maximales observées sans différenciation entre été et hiver.

débit sortant et la concentration en sortie de station d'épuration.



En multipliant le débit par la concentration, on obtient l'apport en *E. coli* en log[u]/j.

Tableau 13 : Paramètres empiriques pour la modélisation des stations d'épuration.

Nom de la station	Apport en <i>E. coli</i> (log[u]/j)			Seuil de réactivité (mm)	Temps de réponse (j)
	Min (hiver)	Min (été)	Max		
Lagunage de Gigan - Embosque	10.7	10.0	11.5	10	1
Lagunage de Mèze - Loupian	10.3	10.0	12.1	30	3
Lagunage de Montagnac - Bessilles	9.3	9.3	9.3	-	-
Lagunage de Montbazin	10.4	10.0	12.9	10	1
Lagunage de Pinet - Pomerols	10.6	10.6	12.6	30	2
Lagunage de Poussan - Bouzigues	10.5	9.6	13.0	30	2
Station mixte de Villeveyrac	9.7	9.2	12.4	30	2
STEP de l'aire ASF de Poussan	9.0	9.0	9.0	-	-

La connaissance des conditions initiales en débit et en concentration en *E. coli* en sortie de station est primordiale (le module fonctionne par incrémentation ou décrémentation). Le suivi réalisé en autosurveillance doit donc complètement être intégré à cette démarche.

La production journalière par habitant a été estimée en calculant le ratio entre la charge moyenne en *E. coli* et la population raccordée. On obtient ainsi un flux moyen journalier en entrée de station (eaux brutes) par habitant : 10.49 log[u]/j/hab pour la station de Gigan-Embosque, 10.60 pour celle de Mèze-Loupian, 10.79 pour Montbazin, 10.77 pour Poussan-Bouzigues et 10.79 pour Villeveyrac. Pour ces stations, le flux moyen journalier en entrée de station (eaux brutes) par habitant est de 10.70 log[u]/j/hab. Cette valeur est relativement stable d'une station à l'autre (écart-type : 0.14 log) et du même ordre de grandeur que celles issues de la littérature (10.86 log dans George et al, 2002 ; 10.59 dans Servais et al, 2003).

Pour la modélisation, nous proposons de retenir une valeur de production journalière humaine de $5.0E+10$ E.Coli/j/hab (soit $10.7 \log$ E.Coli/j/hab). Cette valeur est du même ordre de grandeur que la valeur retenue pour l'étape 1 ($5.7E+10$ u/j/hab) et est conforme aux valeurs issues de la littérature ($4.0E+10$ u/j/hab dans Servais et al, 2009). La concentration dans les eaux usées brutes prise en compte sera de $3.33 \cdot 10^7$ E.Coli/100ml sur la base d'un rejet moyen de 150 l/j/hab.

4.3.2.2 Déversement par les réseaux d'assainissement collectif

8 des 9 chaînes de postes de relevage (PR) de l'étang de Thau ont été modélisées, à savoir :

- Marseillan
- Pinet - Pomerols
- Mèze - Loupian
- Villeveyrac
- Poussan - Bouzigues
- Montbazin
- Balaruc-le-Vieux – Balaruc-les-Bains – Frontignan Peyrade
- Sète

avec un total de 68 PR modélisés (sur 117 postes existants).

Remarque : la chaîne de PR de Gigan n'a pas été modélisée, du fait de l'absence d'alarme haute sur ses PR lors des campagnes de mesures.

Le choix des PR modélisés s'est fait d'une part en fonction du débit eaux usées de temps sec et d'autre part en fonction des débordements constatés au cours des différentes campagnes de mesure. Ainsi, les PR transitant de faibles débits et n'ayant pas présenté de débordements ni d'alarme haute n'ont pas été modélisés. En revanche, tous les PR pour lesquels des débordements ou des alarmes de niveau haut ont été constatés durant au moins l'une des campagnes de mesure ont été modélisés.

Les informations disponibles sur les PR sont variables selon l'exploitant (Veolia – SDEI) et selon la chaîne de PR. Les informations concernant les PR ont été collectées depuis la phase 1 du projet Omega Thau. Ces informations ont été actualisées pour les années 2007 et 2008, notamment pour ce qui concerne les débits d'eaux usées transitant dans les réseaux.

Pour les PR exploités par Véolia, les temps de pompage et les volumes pompés journaliers au cours de l'année 2008 ont été récupérés pour chaque PR. A partir de ces données, il a été établi un débit journalier d'eaux usées en distinguant :

- les jours de la semaine,
- les weekends,
- les vacances scolaires,
- les vacances d'été.

Pour chaque période, le débit d'eaux usées de temps sec a été pris comme le plus petit volume pompé sur la période en vérifiant qu'il n'y ait pas d'incohérence. Il n'a pas été pris en compte de variation du débit au cours de la journée. A partir des volumes pompés et des temps de pompage, il a été possible d'estimer une capacité maximale des pompes. Enfin, une analyse en temps de pluie a été réalisée afin d'estimer une surface active et un débit d'apport de nappe ou d'étang selon la localisation du PR (débit d'eaux parasites).

Ces estimations ont ensuite été confrontées et modélisées pour les campagnes de mesure afin d'affiner les surfaces actives pour le calcul des apports de pollution.

Les chaînes de PR gérées par Véolia, sont les chaînes suivantes :

- Balaruc-les-Bains
- Balaruc-le-Vieux
- Frontignan la Peyrade

Pour les PR gérés par la SDEI, représentant la majorité des postes présents sur le bassin versant de l'étang de Thau, les données disponibles sont disparates. Les durées de pompage sur chaque poste ont été récupérées pour l'année 2008. Cependant les données de capacité des pompes n'ont pas été validées. Les données utilisées pour les pompes sont donc celles collectées au cours de la phase 1 du projet, avec cependant quelques informations supplémentaires ayant pu être collectées (pour Villeveyrac par exemple). A partir des durées de pompage et des capacités des pompes, le débit journalier pompé a été évalué. Le débit d'eaux usées de temps sec a ensuite été évalué selon la méthode décrite précédemment. De même, une analyse a été réalisée pour estimer les surfaces actives et le débit d'eaux parasites, en fonction du niveau de l'étang.

Pour les PR de Sète (hors chaîne de PR du réseau unitaire), les volumes pompés journaliers sur l'année 2008 ont été récupérés. Pour la chaîne de PR concernant le réseau unitaire du PR de Bosc, il a été considéré un débordement de ce PR pour des pluies dont l'intensité est supérieure à 1mm/h sur un pas de temps de 30 minutes.

Pour le calage de la modélisation, les 5 campagnes de mesure suivies ont été simulées :

- événement du 4 au 5 octobre 2007,
- événement du 2 au 5 janvier 2008,
- événement du 7 au 10 octobre 2008,
- événement du 1 au 7 novembre 2008,
- événement du 31 janvier au 3 février 2009.

Les informations récupérées concernant les postes de relevage au cours des différentes campagnes sont les durées d'alarme haute. Ces alarmes hautes ne sont cependant pas toujours significatives d'un déversement. Sur certains PR, les durées de déversements sont disponibles, et pour quelques PR seulement, les volumes déversés ont été mesurés. Pour certaines campagnes, des informations supplémentaires visuelles ont permis de déterminer si les PR avaient effectivement débordé. A partir de l'ensemble de ces données, les modèles ont ainsi pu être calés. 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.

Pour chaque PR, le modèle prend en compte :

- Le nombre de pompes
- La capacité des pompes
- Le débit d'eaux usées + eaux parasites
- La surface active

Pour les eaux usées de temps sec, la concentration en *E.Coli* / 100ml a été prise égale à $3.33 \cdot 10^7$, (cf 4.3.2.1).

4.3.2.3 Lessivage des zones urbaines et rurales

Deux types de phénomènes sont modélisés :

- le phénomène d'accumulation se produisant pendant la période sèche précédant la pluie, d'une part sur la surface du bassin versant et d'autre part dans le réseau qui le draine,
- le phénomène de reprise (lessivage, entraînement, érosion) qui se produit pendant la pluie.

Les deux équations suivantes sont retranscrites dans le modèle :

➤ accumulation pendant la période de temps sec :
$$\frac{dN(j)}{dt} = f_{acc} - K_{dis} N(j)$$

➤ érosion pendant la période de pluie :
$$\frac{dN(t)}{dt} = -K_{ent} i(t)^{\alpha N(t)}$$

La première équation est directement intégrée en fonction de la durée de temps sec précédant la pluie :

$$N(t) = \left(N_0 - \frac{f_{acc}}{K_{dis}} \right) e^{(-K_{dis} D_{ts})} + \frac{f_{acc}}{K_{dis}}$$

La seconde équation est résolue numériquement par un schéma explicite de différences finies sur un pas de temps de calcul Δt spécifique :

$$\frac{[N(t + \Delta t) - N(t)]}{\Delta t} = -K_{ent} i(t)^{\alpha N(t)}$$

Cette équation représente la diminution du nombre de bactéries présents sur la surface du BV entre les débuts des pas de temps t et $t + \Delta t$ et $i(t)$ l'intensité moyenne de la pluie pendant le pas de temps Δt . Le nombre de bactéries entraînées pendant le pas de temps Δt est définie par :

$$N_e(t) = K_{ent} i(t)^{\alpha N(t) \Delta t} \text{ si } K_{ent} i(t)^{\alpha N(t) \Delta t} < 1 \text{ ou } N_e(t) = N(t) \text{ si } K_{ent} i(t)^{\alpha N(t) \Delta t} > 1$$

Le nombre de bactéries disponibles au début du pas de temps suivant est donc : $N(t + \Delta t) = N(t) - N_e(t)$

avec D_{ts} : durée de temps sec (j)

f_{acc} : facteur d'accumulation (nb.j⁻¹)

$i(t)$: intensité de la pluie (mm/h)

K_{dis} : coefficient de disparition (j⁻¹)

K_{ent} : coefficient d'entraînement (mm⁻¹) ^{α}

N_0 : nombre initial de bactéries (nb) au début de la période de temps sec précédant la pluie

$N(j)$: nombre de bactéries au début du pas de temps j (nb)

$N(t)$: nombre de bactéries à la surface du BV au temps t (nb)

$N_e(t)$: nombre de bactéries entraînées pendant le pas de temps t (nb)

α : coefficient sans dimension (pris égal à 1, valeur utilisée dans modèle DPOL)

Les valeurs de K_{dis} et le K_{ent} retenues ainsi que la plage de sensibilité testée (Soonthornnonda et al, 2009 ; Bougeard et al, 2008) sont les suivantes :

- Pour le lessivage urbain : $K_{dis} = 0.4$ [0.2 ; 0.5] j⁻¹ et $K_{ent} = 70$ [50 ; 100] mm⁻¹,
- Pour le lessivage rural : $K_{dis} = 0.06$ [0.03 ; 0.10] j⁻¹ et $K_{ent} = 20$ [10 ; 30] mm⁻¹.

Le calcul du facteur d'accumulation (f_{acc}) prend en compte la production journalière des espèces présentes sur le bassin ainsi que l'efficacité et la fréquence du nettoyage :

$$f_{acc} = \left\{ \sum_{i=1}^n [\text{nb_indiv_esp}(i) \times \text{prod_jour_esp}(i)] \right\} \times [1 - (\text{eff_net} \times \text{freq_net})]$$

avec f_{acc} : facteur d'accumulation (nb.j⁻¹)

n : nombre d'espèces différentes présentes sur le bassin

$\text{nb_indiv_esp}(i)$: nombre d'individus de l'espèce i

$\text{prod_jour_esp}(i)$: production journalière de fèces de l'espèce i (*E coli* / j)

eff_net : pourcentage d'efficacité du nettoyage ($\text{eff_net} = 43\%$, valeur de calage)

freq_net : fréquence du nettoyage (1 fois tous les X jours, X pris égal à 3 par défaut)

La production journalière de chaque espèce animale a été estimée en appliquant un ratio par rapport à la production humaine (cf 4.3.2.1).

Tableau 14 : Ratio entre la production animale de plusieurs espèces et la production humaine.

Espèce animale	Ratio / homme	Source
Pigeons	0.005	Fujioka, 1995
Volailles	0.1	Geildreich, 1966
Caprins	2	SIEE, 2004
Bovins	3	Geildreich, 1966
Canidés	4	SIEE, 2004
Canards	6	Geildreich, 1966
Equidés	7	SIEE, 2004
Ovins	9	Geildreich, 1966
Porcins	13	Geildreich, 1966

Sources : Geildreich, 1966 ; Fujioka, 1995 ; SIEE, 2004.

Enfin, un bruit de fond a été appliqué pour le lessivage des zones rurales en considérant une concentration de 100 u/100ml (Servais et al, 2009).

4.3.2.4 Relargage par les stocks-rivières

D'un point de vue du modèle, le relargage des stocks rivières consiste en l'injection directe d'un hydrogramme et d'un pollutogramme associé pour chaque station d'épuration qui résultent d'une modélisation externe. Comme pour le lessivage des zones urbaines et rurales, la modélisation externe s'appuie sur les équations régissant les phénomènes d'accumulation et de reprise, qui sont également modélisés mais en utilisant le débit comme variable de forçage.

En période de temps sec, pour chaque station d'épuration, le stock de bactéries est calculé en considérant l'apport journalier de temps sec en sortie de station (distinction entre été et hiver) en dissociant les bactéries attachées aux MES et les bactéries libres dans la colonne d'eau (calcul d'après la relation entre la concentration en MES et le pourcentage d'*E. coli* attachées au MES et libres d'après Garcia-Armisen, 2006 ; cf. 3.2.1.2).

L'évolution de ce stock est régie par une cinétique de mortalité du 1^{er} ordre avec un temps de survie pris égal à 120 jours (Got et al, 2007 ont mis en évidence des temps de survie de cet ordre de grandeur pour les prélèvements de bactéries effectués dans les sédiments situés au niveau des rejets des stations d'épuration sur le bassin de la Vène et sous une température de 5°C).

Il a été également considéré un faible écoulement insuffisant pour mettre les particules en mouvement (<100 l/s) mais suffisant pour déclencher le phénomène d'autoépuration par la rivière (avec $T_{90}=100h$ d'après Servais et al, 2009 pour les bactéries libres dans la colonne d'eau ; cf. 3.2.1.1).

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 (Chu, 2006 ; Tournoud et al, 2008) et un coefficient d'érosion de 1500 [1000 ; 2000] (100 l/s)⁻¹, paramètre-clé du calage.

4.3.2.5 Transport en rivière

Une fois émises, les bactéries provenant des différentes sources vont être transportées dans la rivière.

Dans la modélisation du transfert des flux de bactéries, deux éléments importants doivent être notés :

- le nombre de bactéries peut être différent entre l'entrée et la sortie d'un tronçon du réseau car des phénomènes de dépôts et ou d'érosion peuvent se produire,
- le modèle de transfert de pollution ne peut être choisi indépendamment du modèle hydraulique, même si les deux étapes de simulation sont effectuées successivement.

Deux hypothèses importantes ont été faites :

- lors des épisodes pluvieux intenses (événements simulés), le temps de transfert des éléments est relativement court devant la cinétique biologique de mortalité des *E. coli* si bien que les processus biotiques et physiologiques peuvent être négligés durant cette phase ;
- lors des épisodes pluvieux intenses (événements simulés), les bactéries qui atteignent le cours d'eau se retrouvent transportées à l'exutoire en totalité si bien que les processus hydrologiques de sédimentation et de remise en suspension sont négligés durant cette phase.

Le modèle de transfert retenu ici s'appuie sur une loi de transfert simple qui prend en compte uniquement les processus hydrologiques de dilution et de dispersion. Le calcul consiste à propager les pollutogrammes dans le réseau de la même manière que les hydrogrammes, selon la méthode de Muskingum (cf. 4.3.1.2).

4.4 LIMITES DU MODELE

La modélisation des différentes sources de pollution sur le bassin versant terrestre et de leur transfert jusqu'à la lagune est l'un des objectifs ambitieux du programme Omega Thau.

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

- les données observées ont permis le calage de certains processus, au moins dans le domaine correspondant à la période de mesure, c'est le cas par exemple du processus de lessivage urbain,
- des extrapolations sont ensuite intervenues pour estimer les comportements des flux de pollution en dehors de ces domaines de calage, sur la base de notre expérience et des informations bibliographiques disponibles, souvent basées sur des travaux de recherches menés sur plusieurs années, dont certains sont encore en cours.

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.

De nombreux paramètres sont à prendre en compte pour pouvoir espérer décrire correctement les phénomènes. L'amélioration de leur compréhension passe donc par l'acquisition de données nombreuses correspondant aux différents paramètres intervenant dans les processus, avec de longues périodes d'observation couvrant différentes situations météorologiques et hydrologiques, et avec une densité spatiale et temporelle adaptée.

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 (données issues des thèses de Grillot et Chu, 2006) 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 relativement 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 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).

L'évaluation des stocks-rivières et de leur fonctionnement est essentiellement faite sur la base des données de la crue de septembre 2006, relativisées avec les données des crues d'hiver de la campagne Omega Thau, sachant que les comportements varient selon la période de l'année. Ce phénomène étant une source de pollution significative, un suivi plus fin aurait été utile pour mieux l'appréhender.

Pour l'évaluation des déversements des réseaux d'assainissement collectif au droit de certains PR, qui constituent une source de pollution souvent prépondérante, les données disponibles comportent beaucoup d'incertitudes.

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

5. VALIDATION DU MODELE

5.1 HYDROGRAMMES

Pour chaque point de suivi fixe des cours d'eau, les graphiques de calage (hydrogrammes) sont fournis en annexe pour chaque évènement (avec pluie supérieure à 20 mm et/ou débit supérieur à 100 l/s).

Les tableaux ci-après présentent les résultats de calage en terme de débits de pointe de crue et de volumes d'apports en eau douce ainsi que la valeur du critère de Nash qui permet de définir le degré de validation du modèle en mesure la part de la variance des débits observés expliqués par les résultats de la modélisation pluie-débit.

Le critère a été développé par Nash et Sutcliffe en 1970 et est défini par la relation suivante :

$$Nash = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{cal} - Q_{obs})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - \overline{Q_{obs}})^2} \right) \cdot 100 \text{ qui s'exprime \% avec } Q_{obs} \text{ et } Q_{cal} \text{ les débits observés et simulés.}$$

Tableau 15 : Résultats du calage des apports en eau douce au point P5 – Aygues-Vacques.

Evènement	Observation		Simulation		Nash
	Qp (m3/s)	V (1000*m3)	Qp (m3/s)	V (1000*m3)	
octobre 2007	0.377	3.556	0.382	4.174	66%
janvier 2008	-	-	-	-	-
juin 2008	-	-	-	-	-
octobre 2008	-	-	-	-	-
novembre 2008	0.500	44.321	0.853	30.184	69%
février 2009	-	-	-	-	-

Tableau 16 : Résultats du calage des apports en eau douce au point P30 – Sesquier.

Evènement	Observation		Simulation		Nash
	Qp (m3/s)	V (1000*m3)	Qp (m3/s)	V (1000*m3)	
octobre 2007	0.716	1.568	0.757	2.051	95%
janvier 2008	-	-	-	-	-
juin 2008	0.633	6.181	0.672	7.961	82%
octobre 2008	-	-	-	-	-
novembre 2008	1.021	33.720	1.041	28.952	56%
février 2009	0.320	27.692	0.530	20.284	19%

Tableau 17 : Résultats du calage des apports en eau douce au point P30bis – Pallas.

Evènement	Observation		Simulation		Nash
	Qp (m3/s)	V (1000*m3)	Qp (m3/s)	V (1000*m3)	
octobre 2007	0.036	2.726	1.123	17.213	4%
janvier 2008	0.509	53.428	1.129	51.100	29%
juin 2008	1.332	45.258	1.748	41.632	70%
octobre 2008	-	-	-	-	-
novembre 2008	3.653	334.215	4.059	328.382	61%
février 2009	3.390	754.725	4.719	663.993	92%

Tableau 18 : Résultats du calage des apports en eau douce au point P31bis – Loupian-Bourbou.

Evènement	Observation		Simulation		Nash
	Qp (m3/s)	V (1000*m3)	Qp (m3/s)	V (1000*m3)	
octobre 2007	0.170	1.231	0.542	2.645	17%
janvier 2008	0.244	9.718	0.236	10.324	58%
juin 2008	-	-	-	-	-
octobre 2008	-	-	-	-	-
novembre 2008	0.974	34.322	1.139	42.753	76%
février 2009	-	-	-	-	-

Tableau 19 : Résultats du calage des apports en eau douce au point P41 – Joncas.

Evènement	Observation		Simulation		Nash
	Qp (m3/s)	V (1000*m3)	Qp (m3/s)	V (1000*m3)	
octobre 2007	-	-	-	-	-
janvier 2008	0.007	0.198	-	-	-
juin 2008	-	-	-	-	-
octobre 2008	-	-	-	-	-
novembre 2008	-	-	-	-	-
février 2009	0.053	8.297	0.510	15.805	16%

Tableau 20 : Résultats du calage des apports en eau douce au point P57triA – Vène.

Evènement	Observation		Simulation		Nash
	Qp (m3/s)	V (1000*m3)	Qp (m3/s)	V (1000*m3)	
octobre 2007	-	-	-	-	-
janvier 2008	0.988	347.873	1.101	381.111	88%
juin 2008	-	-	-	-	-
octobre 2008	-	-	-	-	-
novembre 2008	4.143	1575.013	5.500	1179.197	76%
février 2009	4.379	1639.841	5.366	1466.967	81%

Tableau 21 : Résultats du calage des apports en eau douce au point P58 – Agau-Canal du Moulin.

Evènement	Observation		Simulation		Nash
	Qp (m3/s)	V (1000*m3)	Qp (m3/s)	V (1000*m3)	
octobre 2007	-	-	-	-	-
janvier 2008	-	-	-	-	-
juin 2008	-	-	-	-	-
octobre 2008	-	-	-	-	-
novembre 2008	-	-	-	-	-
février 2009	0.988	36.809	1.273	33.546	92%

Tableau 22 : Résultats du calage des apports en eau douce au point P157 – Fontanilles.

Evènement	Observation		Simulation		Nash
	Qp (m3/s)	V (1000*m3)	Qp (m3/s)	V (1000*m3)	
oct-07 (Evmt2)	0.209	0.942	0.212	0.556	72%
janv-08 (Evmt4)	1.113	100.796	3.500	126.387	23%
juin-08 (EvmtSupp)	0.076	2.227	0.064	2.206	74%
oct-08 (Evmt6)	-	-	-	-	-
nov-08 (Evmt7)	0.145	5.013	0.392	21.175	23%
fev-09 (Evmt9)	0.091	8.400	0.169	19.424	4%

Tableau 23 : Résultats du calage des apports en eau douce au point P158 – Soupié.

Evènement	Observation		Simulation		Nash
	Qp (m3/s)	V (1000*m3)	Qp (m3/s)	V (1000*m3)	
octobre 2007	0.155	1.948	0.224	3.007	64%
janvier 2008	0.094	4.320	0.136	4.690	97%
juin 2008	-	-	-	-	-
octobre 2008	-	-	-	-	-
novembre 2008	0.194	51.270	1.215	59.797	22%
février 2009	0.429	84.678	1.043	73.778	53%

Le critère de Nash moyen est d'environ 60% contre 100% dans le cas du modèle parfait. Ceci s'explique notamment par le fait que les évènements suivis lors de la campagne de mesure du projet (étape 2) sont relativement faibles en terme d'intensité pluviométrique.

Le calage du modèle pluie-débit est donc tout juste satisfaisant et nécessitera d'être amélioré par l'acquisition de nouvelles données lors des futures campagnes de mesure en période de crue.

Remarque : Le modèle a été calé plutôt en « débit de pointe » plutôt qu'en « volume d'écoulement » car c'est le facteur « débit de pointe » qui conditionne principalement la contamination des tables de l'étang (conclusion faite à la suite de la procédure initiale de tests itératifs avec le modèle « lagune »).

On retiendra une incertitude d'environ 20% sur le débit de pointe et de 30% sur le volume.

5.2 REJETS DE STATIONS D'EPURATION

Pour chaque station d'épuration, les graphiques de calage en débit et en concentration en *E. coli* sont fournis en annexe pour chaque évènement ayant dépassé le seuil pluviométrique entraînant une « réponse » de la STEP (augmentation sensible du flux en sortie).

Les tableaux ci-après présentent les résultats de calage en terme d'apports globaux en *E. coli* sur l'évènement et d'apport maximum journalier en *E. coli* durant l'évènement.

Remarque : Le lagunage de Montbazin ne dispose pas d'un dispositif de mesure de débit en sortie. Cette incertitude importante peut expliquer les écarts entre les valeurs issues de la campagne de mesure de l'étape 2 et celles résultant de la simulation.

Tableau 24 : Résultats du calage du rejet de la STEP de Montbazin.

Evènement	Apport total en <i>E. coli</i> (log[u])					
	Global			Max journalier		
	Mesuré	Simulé	Ecart absolu	Mesuré	Simulé	Ecart absolu
octobre 2007	10.96	11.11	0.15	10.47	10.51	0.04
janvier 2008	13.35	13.18	0.18	12.90	12.41	0.48
novembre 2008	12.89	13.03	0.14	11.87	12.35	0.48
février 2009	12.07	12.02	0.06	11.41	11.20	0.21

Tableau 25 : Résultats du calage du rejet de la STEP de Gigean-Embosque.

Evènement	Apport total en <i>E. coli</i> (log[u])					
	Global			Max journalier		
	Mesuré	Simulé	Ecart absolu	Mesuré	Simulé	Ecart absolu
octobre 2007	10.58	10.82	0.24	10.35	10.22	0.13
janvier 2008	11.15	11.39	0.24	10.49	10.62	0.13
novembre 2008	11.05	11.67	0.62	10.20	10.92	0.71
février 2009	10.55	10.13	0.42	9.84	9.46	0.38

Tableau 26 : Résultats du calage du rejet de la STEP de Poussan-Bouzigues.

Evènement	Apport total en <i>E. coli</i> (log[u])					
	Global			Max journalier		
	Mesuré	Simulé	Ecart absolu	Mesuré	Simulé	Ecart absolu
octobre 2007	11.49	11.12	0.37	11.37	10.52	0.85
janvier 2008	12.71	12.47	0.25	12.27	11.62	0.65
novembre 2008	12.40	12.27	0.13	11.54	11.52	0.02
février 2009	13.61	13.60	0.01	12.95	12.84	0.11

Tableau 27 : Résultats du calage du rejet de la STEP de Mèze-Loupian.

Evènement	Apport total en <i>E. coli</i> (log[u])					
	Global			Max journalier		
	Mesuré	Simulé	Ecart absolu	Mesuré	Simulé	Ecart absolu
octobre 2007	11.42	11.26	0.15	10.93	10.66	0.27
janvier 2008	11.07	10.95	0.12	10.32	10.18	0.14
novembre 2008	12.73	13.17	0.44	12.13	12.17	0.04
février 2009	11.17	11.76	0.58	10.40	10.83	0.43

Tableau 28 : Résultats du calage du rejet de la STEP de Villeveyrac.

Evènement	Apport total en <i>E. coli</i> (log[u])					
	Global			Max journalier		
	Mesuré	Simulé	Ecart absolu	Mesuré	Simulé	Ecart absolu
octobre 2007	10.21	10.00	0.21	9.81	9.40	0.41
janvier 2008	10.44	10.77	0.33	10.05	10.13	0.09
novembre 2008	12.61	12.96	0.34	12.37	12.38	0.01
février 2009	11.59	12.05	0.46	11.30	11.44	0.14

Tableau 29 : Résultats du calage du rejet de la STEP de Pinet-Pomerols.

Evènement	Apport total en <i>E. coli</i> (log[u])					
	Global			Max journalier		
	Mesuré	Simulé	Ecart absolu	Mesuré	Simulé	Ecart absolu
octobre 2007	-	-	-	-	-	-
janvier 2008	-	-	-	-	-	-
novembre 2008	12.03	11.64	0.40	11.41	11.21	0.20
février 2009	12.85	12.60	0.25	12.02	11.91	0.12

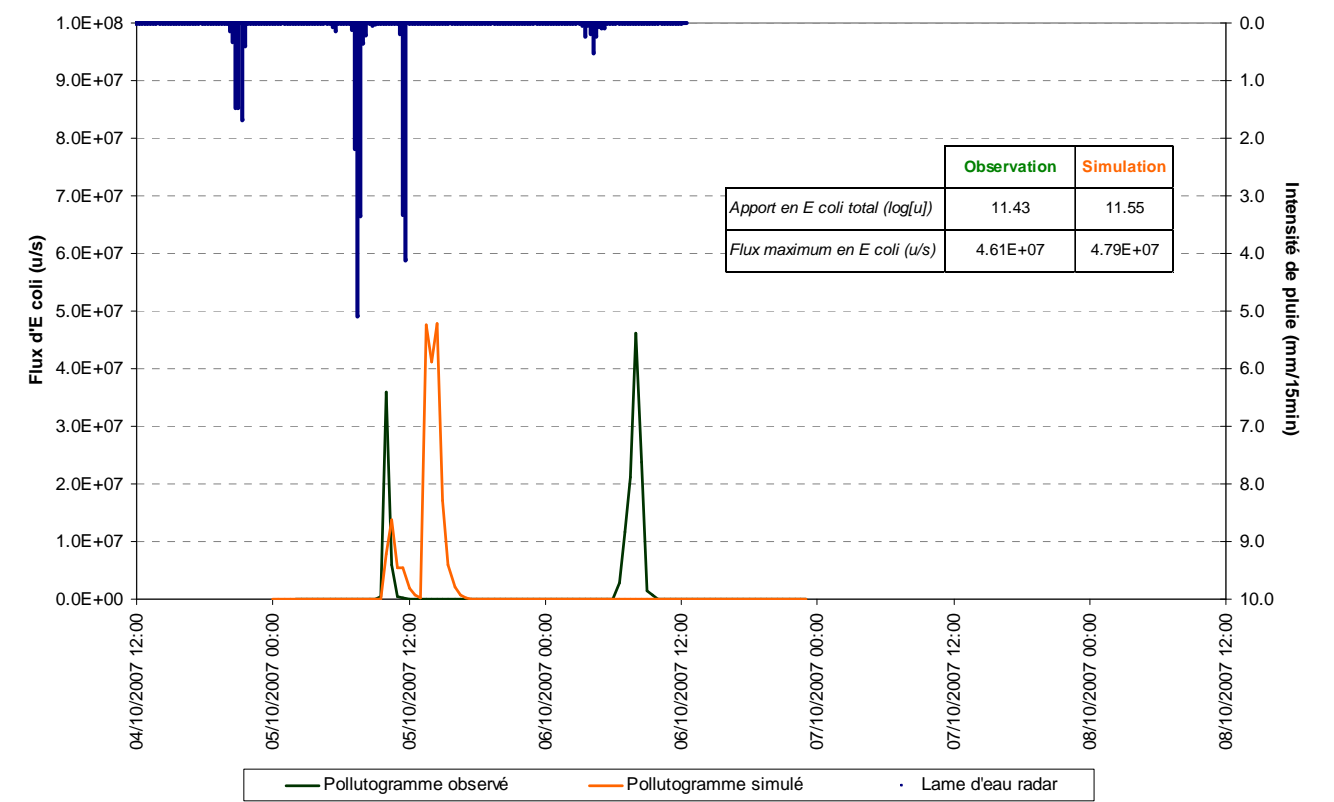
Compte des résultats précédents, on peut considérer que les estimations fournies par la modélisation des rejets de stations d’épuration sont valables à ±0.5 log près.

5.3 LESSIVAGE URBAIN

En première approche, le bassin versant du Bourbou à Loupian (P31bis) a été utilisé comme bassin pilote afin de mieux appréhender le lessivage urbain. Dans un second temps, les mesures de suivi ponctuel réalisé sur d’autres sous-bassins pluviaux ont permis de préciser le calage (notamment les données mesurées sur le bassin des Fontanilles et au niveau des émissaires pluviaux des ports de Marseillan et Mèze). Enfin, 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.

Les graphiques ci-après présentent les résultats de calage pour le bassin pilote du Bourbou à Loupian. Les résultats des apports en *E coli* au niveau des sous-bassins pluviaux suivis ponctuellement ainsi que les résultats des apports totaux en *E. coli* aux exutoires permettant de vérifier la cohérence du calage à l’échelle de l’ensemble du bassin de Thau sont fournis dans la partie 5.7 (voir également les annexes correspondantes).

Figure 19 : Résultats du calage du lessivage urbain au point P31bis – Loupian-Bourbou – Octobre 2007.



Remarque : Le second pic observé n’est pas restitué par la modélisation. On notera que le PR Eglise situé en aval de la zone a été en alarme haute à ce moment-là, d’où l’hypothèse d’un déversement potentiel du réseau d’eaux usées pour expliquer ce second pic.

Figure 20 : Résultats du calage du lessivage urbain au point P31bis – Loupian-Bourbou – Janvier 2008.

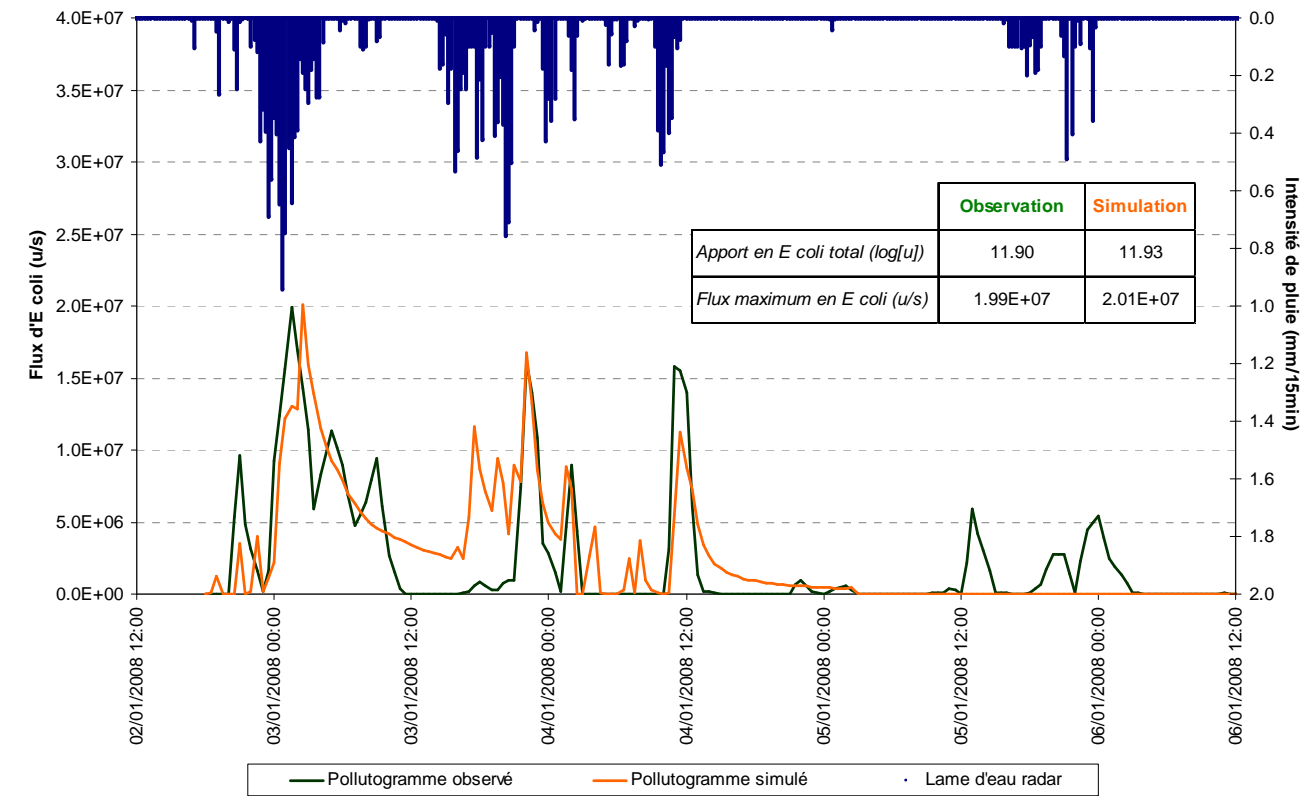
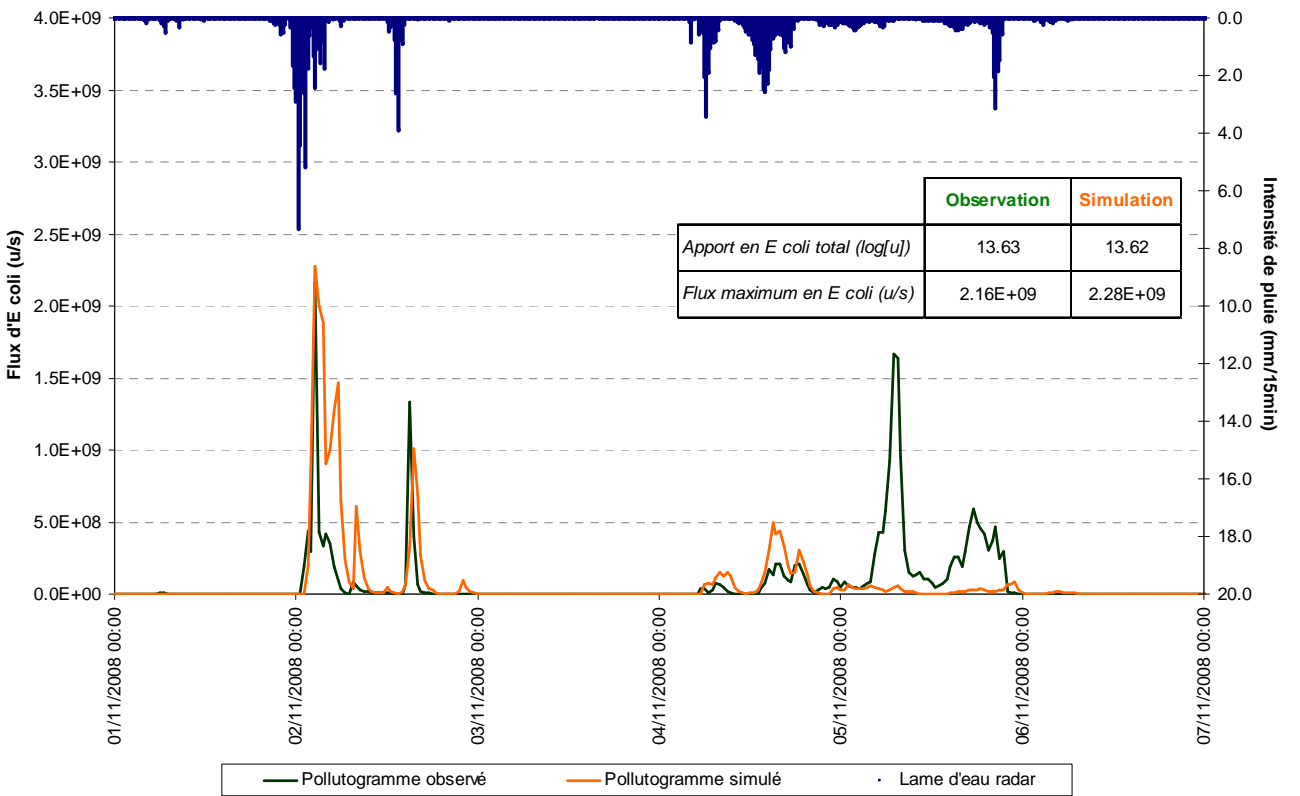


Figure 21 : Résultats du calage du lessivage urbain au point P31bis – Loupian-Bourbou – Novembre 2008.



Remarque : Les pollutogrammes observés sont construits à partir de données réellement mesurées mais comportent également des données interpolées avec une indexation sur le débit notamment les valeurs en fin d’évènement (« queue » de pollutogramme). La modélisation s’est attachée à restituer les valeurs réellement observées et plus particulièrement le premier pic de pollution qui fournit la plus grande partie de l’apport en bactéries. Dans le cas de la modélisation, les pics de débit suivant ne génèrent pas nécessairement de pollution si toutes les bactéries ont été lessivées auparavant. Ces éléments permettent d’expliquer les différences observées en « queue » de pollutogrammes.

L’étude du bassin-pilote a permis de déterminer un jeu de paramètres de calage (cf. 4.3.2.3). Ces paramètres ont été interpolés pour l’ensemble des sous-bassins versants secondaires de la zone d’étude en prenant en compte leurs caractéristiques propres (superficie de la zone urbaine et population canine associée). Les résultats sont présentés dans la partie 5.7 (voir également les annexes correspondantes).

Des tests de sensibilité ont également 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* de 12.5 log[u]/j dans ces conditions (cas des bassins du Port de Mèze et du Sesquier) :

- 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.

5.4 LESSIVAGE RURAL

En première approche, les bassins versants du Nègues-Vacques (P1) et du Rural de Marseillan (P140) ont été utilisés comme bassins-tests afin de mieux appréhender le lessivage rural et ont permis d'estimer les paramètres de calage du modèle. Les mesures de suivi de flux globaux au niveau des exutoires ont permis une harmonisation de ces paramètres et une vérification de la cohérence du calage à l'échelle globale du bassin de Thau.

Remarque : Les bassins-tests sont affectés par d'autres sources de pollution (lessivage de zones urbaines, rejets de station d'épuration, rejets ANC, etc.). La contribution du lessivage rural est donc concurrencée voire masquée, pour certains événements par les contributions de ces autres sources. Les incertitudes concernant l'estimation des apports en *E. coli* par lessivage rural restent donc importantes. Néanmoins, les investigations par déduction (flux total auquel sont soustraits les flux mesurés et/ou modélisés pour les autres sources de pollution) ont permis d'estimer des ordres de grandeur pertinents pour cette source de pollution relativement modeste pour la plupart des bassins étudiés.

Les graphiques ci-après présentent les résultats de calage pour les bassins-tests du Nègues-Vacques (P1) et du Rural de Marseillan (P140). Les résultats des apports en *E. coli* au niveau des sous-bassins pluviaux suivis ponctuellement ainsi que les résultats des apports totaux en *E. coli* aux exutoires permettant de vérifier la cohérence du calage à l'échelle de l'ensemble du bassin de Thau sont fournis dans la partie 5.7 (voir également les annexes correspondantes).

Figure 22 : Résultats du calage du lessivage rural au point P1 – Nègues-Vacques – Janvier 2008.

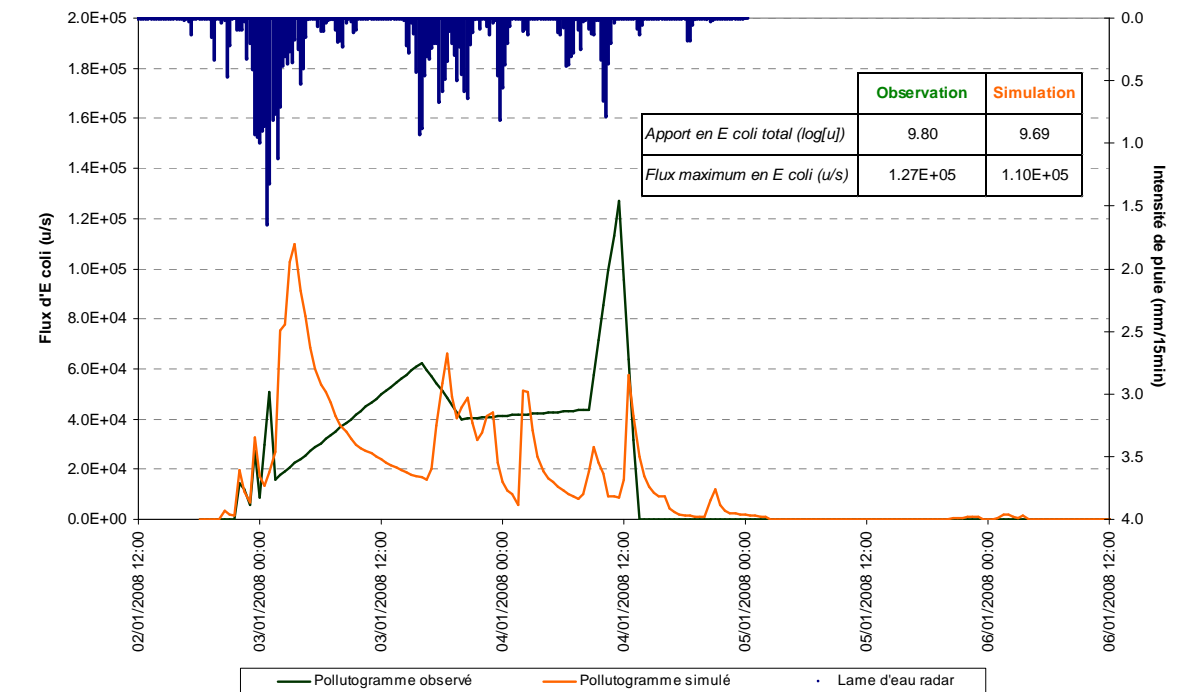
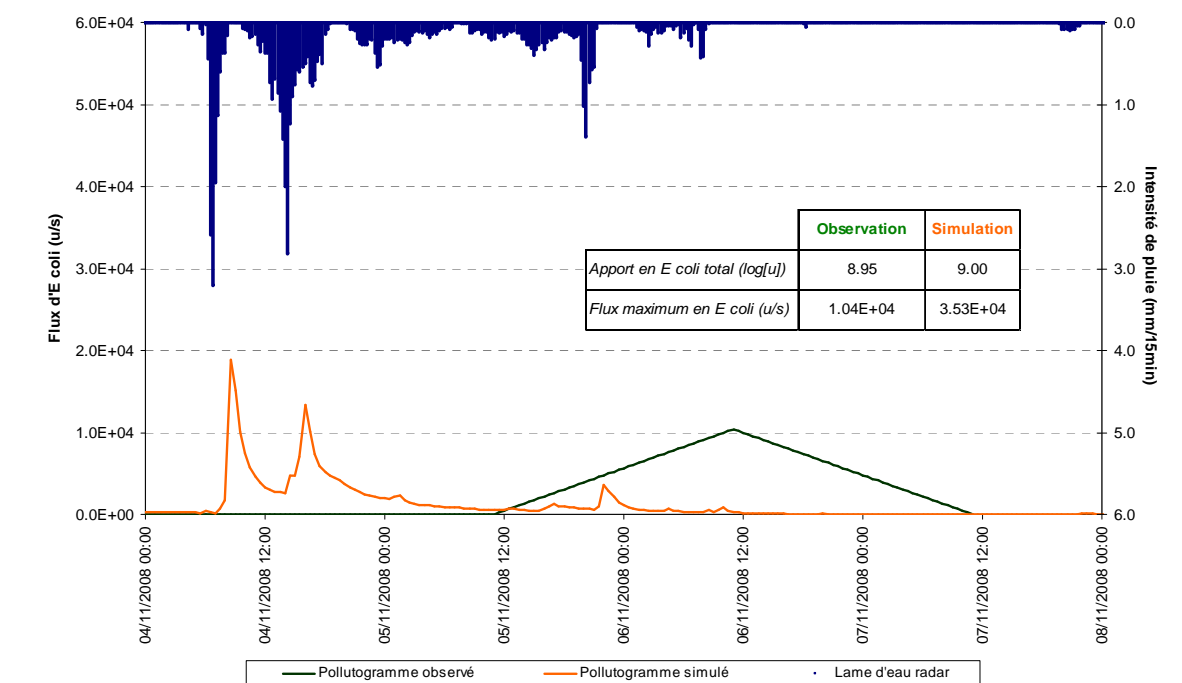


Figure 23 : Résultats du calage du lessivage rural au point P140 – Rural de Marseillan – Novembre 2008.



Au vu des graphiques précédents, le calage du lessivage rural est loin d'être satisfaisant et nécessitera d'être amélioré par l'acquisition de nouvelles données lors des futures campagnes de mesure en période de crue. Néanmoins, l'ordre de grandeur des apports microbiologiques est bien reproduit.

Des tests de sensibilité ont également 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 (cas des bassins du Grau du XV, du Port de Marseillan, des Fontanilles, du Mayroual, du Sesquier et du Joncas) :

- variation de +/-10% du coefficient d'entraînement : +/-0.3 log,
- variation de +/-10% du coefficient de disparition : +/-0.7 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 : -0.3 log,
- passage d'une durée de temps sec de 65 jours (hiver) à 120 jours (été) : +0.6 log.

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.

5.5 DEVERSEMENT PAR LES RESEAUX D'ASSAINISSEMENT COLLECTIF

5.5.1 Résultats de calage

Pour chaque PR ayant été en alarme haute durant au moins une campagne de mesure, les graphiques des débits débordés calculés comparés aux durées d'alarme haute sont disponibles en annexe.

5.5.1.1 Chaîne de PR de Marseillan :

La chaîne modélisée est constituée de 12 PR.

Le tableau page suivante présente les résultats en apport de pollution bactériologique des simulations des 5 campagnes de mesures suivies.

Les apports importants de la campagne 3 sont essentiellement dus aux débordements du PR Boudas, avec une pluie peu intense mais longue. On retrouve cette même typologie pour la pluie de la campagne 6, avec de nouveau un apport important du PR Boudas. Au cours de la campagne 7, la pluie est plus intense mais moins longue, d'où un apport plus faible. Par contre lors de la campagne 7, un plus grand nombre de PR débordent.

Remarques :

- pour le PR Boudas, les durées d'alarme correspondent aux durées de trop plein, soit a priori aux durées de débordement. Les simulations ne reproduisent pas parfaitement les durées de débordements, cependant des défauts de pompes sont également apparus au cours des campagnes.
- de la même façon pour le PR Cœur de ville, les durées d'alarme haute correspondent aux durées de débordement. Les débordements sont donc assez bien représentés pour les campagnes 4 et 7. Lors de la campagne 1, le PR cœur de Ville n'était pas encore en fonctionnement , il n'y a donc pas de données disponibles pour le calage. Pour ce PR, le réglage des poires de démarrage des pompes va être modifié de façon à optimiser le flux d'eau à l'aval du PR.

Tableau 30 : Résultats du calage pour la chaîne de PR de Marseillan.

	Campagne 2	Campagne 4	Campagne 6	Campagne 7	Campagne 9
Postes de relevage	Alarme haute/déborde ment simulé Apport en log E.Coli	Alarme haute/déborde ment simulé Apport en log E.Coli	Alarme haute/déborde ment simulé Apport en log E.Coli	Alarme haute/déborde ment simulé Apport en log E.Coli	Alarme haute/déborde ment simulé Apport en log E.Coli
Belledouche	oui / non -	oui / non -	non / non -	oui / oui 13.81	oui / oui 13.2
Bézarde	oui / non -	oui / non -	oui / non -	non / oui 11.1	oui / non -
Boudas	oui / oui 12.3	oui / oui 14.3	non / non -	oui / oui 14.0	oui / oui 14.9
Cœur de ville	? / oui 12.3	oui / oui 12.1	non / non -	oui / oui 12.3	oui / non -
Granet	non / oui 12.7	oui / non -	non / non -	oui / oui 13.0	oui / non -
Grau XV	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -	oui / non -
Pisse Saume	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -
Progrès	oui / oui 13.4	oui / oui 13.3	oui / non -	oui / oui 13.3	oui / oui 13.7
Route de Mtp	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -	oui / non -
Step désaffectée	oui / oui 12.2	non / oui 12.9	non / non -	oui / oui 13.8	oui / oui 13.8
Tennis	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -
Total apport en log E.Coli	13.5	14.3	-	14.4	14.9

5.5.1.2 Chaîne de PR de Pinet Pomerols :

Pour la chaîne de PR de Pinet Pomerols, la télésurveillance du réseau n'a été déléguée à la SDEI que courant 2008, le calage n'a donc pu être réalisé que sur les campagnes 6, 7 et 9.. Les résultats obtenus indiquent que des déversements auraient eu lieu pendant les campagnes 2 et 4.

Tableau 31 : Résultats du calage pour la chaîne de PR de Pinet-Pomerols.

	Campagne 2	Campagne 4	Campagne 6	Campagne 7	Campagne 9
Postes de relevage	Alarme haute/débord ement simulé Apport en log E.Coli	Alarme haute/débord ement simulé Apport en log E.Coli	Alarme haute/débord ement simulé Apport en log E.Coli	Alarme haute/débord ement simulé Apport en log E.Coli	Alarme haute/débord ement simulé Apport en log E.Coli

Pinet	? / oui 13.1	? / oui 12.8	non / non -	oui / oui 13.2	oui / oui 12.3
Pomerols	? / oui 13.1	? / oui 12.1	non / non -	oui / oui 13.1	oui / oui 12.7
Total apports en log E.Coli	13.3	12.9	-	13.5	12.7

5.5.1.3 Chaîne de PR de Mèze Loupian :

Sur la chaîne de Mèze - Loupian, seuls les PR d’Eglise à Loupian, du Pallas, de Pépin, de Privat et Sesquier 3 semblent être susceptibles de déborder.

Pour les PR Amoutous 1 et 2, Mourre Blanc 1 et 2 et verte campagne, les durées d’alarme haute sont semble-t-il dues à des dysfonctionnements des pompes. Le niveau de l’étang a également une forte influence sur les alarmes hautes. Cependant la pollution due à ces PR est négligeable, nous considérons donc qu’il n’y a pas de pollution bactériologique issue de ces PR.

Les PR Pépin et Privat déversent directement dans l’étang une quantité non négligeable de pollution bactériologique.

Tableau 32 : Résultats du calage pour la chaîne de PR de Mèze

	Campagne 2	Campagne 4	Campagne 6	Campagne 7	Campagne 9
Postes de relevage	Alarme haute/déborde ment simulé Apport en log E.Coli	Alarme haute/déborde ment simulé Apport en log E.Coli	Alarme haute/déborde ment simulé Apport en log E.Coli	Alarme haute/déborde ment simulé Apport en log E.Coli	Alarme haute/déborde ment simulé Apport en log E.Coli
Amoutous1	non / non -	oui / non -	non / non -	non / non -	non / non -
Amoutous2	non / non -	oui / non -	non / non -	non / non -	non / non -
Ecosite	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -
Eglise	non / oui 11.9	non / oui 12.4	non / non -	oui / oui 12.9	oui / oui 12.4
Mourre Blanc 1	non / non -	oui / non -	non / non -	non / non -	non / non -
Mourre Blanc 2	oui / non	oui / non -	non / non -	non / non -	non / non -
Mourre Blanc 5	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -
Méditerranée	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -
Pallas	non / oui 12.2	non / non -	non / non -	oui / oui 13.3	oui / oui 13.2
Pepin	oui / oui 13.0	oui / oui 12.9	non / non -	oui / oui 13.2	oui / oui 13.0
Privat	non / oui 12.5	oui / non -	non / non -	oui / oui 13.0	oui / oui 12.5
Sesquier2	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -	oui / non
Sesquier3	non / non -	non / non -	non / non -	oui / non 12.4	oui / non

Verte campagne	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -	oui / non
ZAE	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -
Total apports log E.Coli	13.2	13.0		13.7	13.5

5.5.1.4 Chaîne de PR de Villeveyrac :

Sur la chaîne de PR de Villeveyrac, la pollution provient essentiellement du PR Pouzet, le PR de tête qui constitue le plus gros apport en eaux usées. Les déversements se font dans le cours d’eau du Pallas et se retrouvent donc à l’exutoire. En terme d’apport sur la zone, Port de Mèze- Sesquier-Pallas, il faut donc considérer les apports de la chaîne de Mèze et les apports de la chaîne de Villeveyrac, soit, pour la campagne 7, un apport total de 14.1 log *E.coli*.

Tableau 33 : Résultats du calage pour la chaîne de PR de Villeveyrac

	Campagne 2	Campagne 4	Campagne 6	Campagne 7	Campagne 9
Postes de relevage	Alarme haute/déborde ment simulé Apport en log E.Coli	Alarme haute/déborde ment simulé Apport en log E.Coli	Alarme haute/déborde ment simulé Apport en log E.Coli	Alarme haute/déborde ment simulé Apport en log E.Coli	Alarme haute/déborde ment simulé Apport en log E.Coli
Coste Gousse	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -
Jardin	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -	oui / non -
Malpasset	Non / oui 11.5	non / non -	non / non -	oui / oui 12.6	oui / oui 11.7
Pouzet	non / oui 12.7	oui / non -	non / non -	oui / oui 13.9	oui / oui 12.9
Usclades	non / non -	non / non -	non / non -	oui / oui 10.9	non / non -
Total Apports log E.Coli	12.7			13.9	12.9

5.5.1.5 Chaîne de PR de Poussan- Bouzigues :

Sur la Chaîne de PR Poussan Bouzigues, seuls les PR de Tudesq et du lagunage sont susceptibles de déborder.

Le PR Lagunage déverse dans l’étang des Moulières ; le flux de pollution ne va donc pas directement dans l’étang de Thau.

Le PR Tudesq, déverse quant à lui par ruissellement dans l’étang de Thau, sur le bassin versant du Joncas.

Tableau 34 : Résultats du calage pour la chaîne de PR de Poussan-Bouzigues

Campagne 2	Campagne 4	Campagne 6	Campagne 7	Campagne 9
------------	------------	------------	------------	------------

Postes de relevage	Alarme haute/déborde ment simulé Apport en log E.Coli	Alarme haute/déborde ment simulé Apport en log E.Coli	Alarme haute/déborde ment simulé Apport en log E.Coli	Alarme haute/déborde ment simulé Apport en log E.Coli	Alarme haute/déborde ment simulé Apport en log E.Coli
Fringadelle	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -	oui / non
Lagunage	non / non -	oui / non	non / non -	oui / oui 14.0	oui / oui 13.3
Taroussel	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -
Tennis	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -	oui / non
Tudesq	non / non -	non / non -	non / non -	oui / oui 13.1	oui / oui 12.5
Viala	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -
Total apports en log E.Coli				14.0	13.4

5.5.1.6 Chaîne de PR de Montbazin :

Sur la chaîne de PR de Montbazin, seul le PR de tête, le PR Lavadou est susceptible de déborder. Durant la période de suivi, le PR a été en alarme haute pour les campagnes 4, 7 et 9. Les débordements du PR sont notamment fortement influencés par le niveau de la Vène.

Tableau 35 Résultats du calage pour la chaîne de PR de Montbazin

	Campagne 2	Campagne 4	Campagne 6	Campagne 7	Campagne 9
Postes de relevage	Alarme haute/débordement simulé Apport en log E.Coli	Alarme haute/débordement simulé Apport en log E.Coli	Alarme haute/débordement simulé Apport en log E.Coli	Alarme haute/débordement simulé Apport en log E.Coli	Alarme haute/débordement simulé Apport en log E.Coli
Davalade	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -
Lavadou	non / non -	oui / oui 12.9	non / non -	oui / oui 13.8	oui / oui 13.8
Quai Vène	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -
ZAE	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -	oui / non
Total Apports en log E.Coli		12.9		13.8	13.8

5.5.1.7 Chaîne de PR de Balaruc les Bains, Balaruc le Vieux et la Peyrade

Sur ces chaînes de PR, seuls les PR des Douanes et Issanka ont débordé au cours des campagnes de mesures.

Le PR Serpentin a également débordé au cours des campagnes 7 et 9, cependant, des problèmes d'équipement semblent être la cause de ces débordements.

Tableau 36 : Résultats du calage pour la chaîne de PR de Balaruc Les Bains, Balaruc le Vieux et La Peyrade

	Campagne 2	Campagne 4	Campagne 6	Campagne 7	Campagne 9
Postes de relevage	Alarme haute/déborde ment simulé Apport en log E.Coli	Alarme haute/déborde ment simulé Apport en log E.Coli	Alarme haute/débordement simulé Apport en log E.Coli	Alarme haute/débordement simulé Apport en log E.Coli	Alarme haute/débordement simulé Apport en log E.Coli
Douanes	non / non -	non / non -	non / non -	oui / oui 12.6	non / non -
Issanka	non / non -	non / non -	non / non -	oui / oui 12.3	oui / oui 11.8
Pasteur	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -
Peyrade	? / non -	? / non -	? / non -	? / non -	non / non -
Pont	? / non -	? / non -	? / non -	? / non -	non / non -
Serpentin	non / non -	non / non -	non / non -	oui / non	oui / non -
Vignes	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -	oui / non -
Village	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -
VVF	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -
Total Apports en log E.Coli	-	-	-	12.8	11.8

5.5.1.8 Chaîne de PR de Sète :

Sur Sète, il a été considéré 3 chaînes de PR pouvant avoir une incidence sur les tables d'huîtres de l'étang de Thau.

La chaîne de PR unitaire, dont le PR de tête est le PR Bosc, n'est représentée que par son PR de tête. En effet, les informations recueillies, et les données des campagnes de mesures sont insuffisantes pour modéliser suffisamment bien cette chaîne de PR.

Un projet a été lancé par la SDEI et la CABT permettant de mesurer au mieux les flux de pollution au niveau de Sète. A l'issue du projet, il sera nécessaire de mettre en parallèle les nouveaux résultats obtenus, afin de modéliser au mieux les différentes sources de pollution.

Les deux autres chaînes de PR modélisées sont les chaînes dont les PR de tête sont le PR Moulins et le PR Plagette.

Pour le calage des PR sur Sète, les données disponibles sont les durées de déversement pendant la campagne. Il n'y a donc pas ici d'interprétation entre niveau d'alarme haute et déversement.

Tableau 37 : Résultats du calage pour la chaîne de PR de Sète

	Campagne 2	Campagne 4	Campagne 6	Campagne 7	Campagne 9
Postes de relevage	Alarme haute/débordement simulé Apport en log E.Coli	Alarme haute/débordement simulé Apport en log E.Coli	Alarme haute/débordement simulé Apport en log E.Coli	Alarme haute/débordement simulé Apport en log E.Coli	Alarme haute/débordement simulé Apport en log E.Coli
Barrou	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -
Herber	oui / oui 11.8	non / non -	non / non -	oui / oui 13.3	oui / oui 12.5
Pont Levis	non / non -	non / non -	non / non -	oui / oui 12.5	non / non -
Mascoulet	non / non -	non / non -	non / non -	oui / oui 13.5	oui / oui 12.1
Mazel	non / non -	non / non -	non / non -	oui / oui 12.9	oui / oui 11.6
Métairies	non / non -	non / non -	non / non -	oui / oui 12.6	non / non -
Moulins	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -
Montpellier 1	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -
Montpellier 2	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -	non / non -
Plagette	non / non -	non / non -	non / non -	oui / oui 14.1	oui / oui 13.0
Presqu'île	non / non -	non / non -	non / non -	oui / oui 12.6	non / non -
Quille Nord	non / non -	non / non -	non / non -	oui / oui 13.2	non / non -
Rhin Danube	non / non -	non / non -	non / non -	oui / oui 13.7	oui / oui 12.9
Samary	non / non -	non / non -	non / non -	oui / oui 12.9	oui / non -
Bosc	non / oui 14.5	non / oui 14.6	non / oui 14.5	oui / oui 13.1	oui / oui 15.3
Total apports en log E.Coli	14.5	14.6	14.5	15.2	15.1

5.5.1.9 Récapitulatif des apports des PR par bassin versant

Le tableau ci-dessous donne un récapitulatif des apports en pollution par bassin versant (pour les 20 exutoires retenus avec l’Ifremer pour les points d’injection dans la lagune) pour les campagnes 2, 4, 7 et 9.

Tableau 38 : Synthèse des apports en log E.Coli des déversements des PR par bassin versant pour les campagnes de mesure

	Apport Bactériologique des PR en log E.Coli			
Bassin versant	Campagne 2	Campagne 4	Campagne 7	Campagne 9
Grau XV	12.7	0	13.0	0
Canal midi	12.3	14.3	14.0	14.9

Port marseillan	13.4	13.5	14.2	14.1
Fontanilles	13.1	12.1	13.1	12.6
Soupié	13.1	12.8	13.3	12.3
Mayroual	0	0	0	0
Nègues vaques	0	0	0	0
Aygues Vaques	0	0	0	0
Port mèze	12.5	0	13.0	12.5
Sesquier	13.0	12.9	13.2	13.0
Pallas	12.8	0	14.0	13.4
Bourbou	11.9	12.4	12.2	12.4
Joncas	0	0	12.9	12.5
Moulières	0	0	14.0	13.3
Vène	0	12.9	13.1	13.8
Pointe Ballaruc	0	0	0	0
Serpentin	0	0	12.6	0
Pont D2	0	0	0	0
pointe longue	14.5	14.6	15.3	15.3
Ile Thau	0	0	13.4	0
Total	14.6	14.8	15.4	15.5

5.5.2 Incertitudes

Les incertitudes sur la modélisation des déversements des PR restent importantes, du fait de l’incertitude sur certaines données :

- la capacité maximale des pompes reste dans la plupart des cas une estimation, de même pour le débit d’eaux usées de temps sec et le débit d’eaux parasites,
- pour le calage, le paramètre principal d’ajustement est la surface active, mais comme dans la plupart des cas seule la donnée d’alarme haute est connue et non la donnée de durée réelle de déversement, il reste difficile de caler parfaitement le modèle,
- de plus il existe également une incertitude sur la pluie.

Lors du calage, il a été recherché la meilleure cohérence entre les périodes de déversements calculées et les durées d’alarme haute observées, ainsi qu’une cohérence au sein de la chaîne de PR.

Les durées de déversements calculées sont dans la plupart des cas très inférieures aux durées d’alarme haute, comme le montre le tableau suivant**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Tableau 39 : Mise en relation des durées de déversement calculées, avec les durées d'alarme haute enregistrées dans le cadre de la télésurveillance

PR	Campagne 2 (oct.07)		Campagne 4 (jan.08)		Campagne 6 (oct.08)		Campagne 7 (nov.08)		Campagne 9 (fév.09)	
	Durée alarme haute (h)	Durée dévers ^{mnt} calculée (h)	Durée alarme haute (h)	Durée dévers ^{mnt} calculée (h)	Durée alarme haute (h)	Durée dévers ^{mnt} calculée (h)	Durée alarme haute (h)	Durée dévers ^{mnt} calculée (h)	Durée alarme haute (h)	Durée dévers ^{mnt} calculée (h)
Douanes	0	0	0	0	0	0	2.5	1.25	0	0

Issanka	0	0	0	0	0	0	1.25	6.5	13.25	2
Vignes	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
Amoutous1	0	0	55.5	0	0	0	0	0	0	0
Amoutous2	0	0	13.5	0	0	0	0	0	0	0
Ecosite	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eglise	0	0.25	0	2	0	0	32.5	2.25	3	0.75
Mourre Blanc 1	0	0	22.75	0	0	0	0	0	0	0
Mourre Blanc 2	2	0	59.5	0	0	0	0	0.25	0	0
Pallas	0	0.25	0	0	0	0	25.25	4.5	10	3
Pepin	1.5	1.5	37.25	2.5	0	0	95.75	4	11.25	2.25
Privat	0	1.25	11.5	0	0	0	64	2	8	0.75
Sesquier2	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0
Sesquier3	0	0	0	0	0	0	3.25	1	27	0
Verte campagne	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.25
Lavadou	0	0	13	1.75	0	0	80.25	14	32	14.75
Pomerols	?	2.75	?	0.25	0	0	12	2.75	36.25	1.75
Pinet	?	2.75	?	1.75	0	0	19.25	4	10.75	1.5
Fringadelle	0	0	0	0	0	0	0	0	4.25	0
Lagunage	0	0	3.25	0	0	0	59.75	10	2.5	2
Tennis	0	0	0	0	0	0	0	0	3.25	0
Tudesq	0	0	0	0	0	0	37.75	8.75	2.5	1.75
Jardins	0	0	0	0	0	0	0	0	12.5	0
Malpasset	0	0.75	0	0	0	0	59.75	9.5	8.5	1.25
Pouzet	0	1	11	0	0	0	55.5	16.75	79.25	1.75
Usclades	0	0	0	0	0	0	31.5	1.5	0	0
Belledouche	4.75	0	2	0	0	0	13.25	4.75	17	2
Bézarde	5.5	0	17.25	0	0.5	0	0	6	29.25	0
Boudas	5.5	0.25	29.25	9	0.5	0	34.5	6	62.25	32.75
Cœur de ville	?	0.75	3.25	0.5	0	0	1.75	0.75	0	0
Granet	0	0.25	53.75	0	0	0	40	0.5	6.5	0
Grau XV	0	0	0	0	0	0	0	0	2.25	0
Progrès	5.5	2.25	17.25	2.5	0.5	0	22.25	2.25	36.5	6.25
Step-desaffecté	12	0.25	0	2	0	0	13	8	8.25	6.25
Herber	1	0.25	0	0	0	0	8	7.25	0.75	1
Pont Levis	0	0	0	0	0	0	3.25	1.5	0	0
Mascoulet	0	0	0	0	0	0	6.5	6.5	1.25	0.25
Mazel	0	0	0	0	0	0	5	5.5	2.25	0.25
Métairies	0	0	0	0	0	0	12.25	0.75	0	0
Plagette	0	0	0	0	0	0	7.75	3.75	0.75	1
Presqu'île	0	0	0	0	0	0	1.75	0.75	0	0
Quille Nord	0	0	0	0	0	0	2.75	1.5	0	0
Rhin Danube	0	0	0	0	0	0	7.75	7	2.25	1
Samary	0	0	0	0	0	0	1.25	1.75	1	0
Bosc	0	4.25	0	5.25	0	4.25	41.25	21	26.25	22

Une évaluation de l’incertitude sur les résultats peut être faite sur la base des incertitudes estimées pour les différents paramètres entrant en jeu dans le calcul :

- Concentration en *E.coli*: la valeur de base prise en compte est de 3.33×10^7 *E.coli*/ 100 ml, issue des estimations faites en étape 3 (cf 4.3.2.1). Cette valeur est proche des concentrations moyennes mesurées en entrée de STEP. Les valeurs maximales mesurées en entrée de STEP sont de 2 à 4 fois supérieures, soit une incidence de +0.3 à +0.6 log *E.coli* sur les flux d’*E.coli* déversés.
- Débit d’eaux usées de temps sec : la valeur prise en compte correspond à une valeur haute (débit de temps sec minimum de la période la plus contraignante). La variation saisonnière pour certains PR peut aller jusqu’à un facteur 4 (il s’agit principalement des PR de Sète, pour lesquels le facteur saisonnier dépasse souvent le facteur 3, et du PR Grau XV, qui présente un facteur saisonnier de 3.7). Globalement, les variations saisonnières pour les PR sont de l’ordre d’un facteur 2. Ce coefficient est dépassé pour seulement 9 PR (parmi les 41 pour lesquels des déversements sont calculés). Selon la période de l’année, le flux d’*E.coli* déversé pourrait par conséquent être réduit jusqu’à -0.6 log pour quelques PR, et de -0.1 à -0.3 pour les autres. Les pluies générant des déversements sont plutôt des pluies d’automne et d’hiver, mais des orages violents sont possibles en été. Le choix a été fait de se placer dans une situation plutôt pénalisante.
- D’autre part, les débits d’eaux usées de temps sec comportent une incertitude liée à leur mode de calcul, dépendant du débit des pompes.
- Variation du débit d’eaux usées dans la journée non prise en compte, la valeur prise en compte est un débit moyen journalier. Pour une pluie durant toute la journée, les quantités d’*E. coli* déversées seront plus importantes au moment des pointes de rejets d’eaux usées (entre +0.3 log et +0.6log, pour un coefficient de pointe compris entre 2 et 4).
- Débits déversés : les débits sont calculés sur la base des caractéristiques des postes de relevage, qui souvent sont des estimations (notamment les débits des pompes). Les quantités d’*E. coli* déversées seront essentiellement fonction des durées de déversements, les valeurs calculées sont très inférieures aux durées d’alarme haute des postes. Si l’on estime à 50% l’incertitude sur les durées de déversements, la conséquence en terme de flux d’*E.coli* est de l’ordre de +/-0.2 log *E. coli*.

D’après cette analyse, on pourrait estimer l’incertitude sur les flux d’*E. coli* déversés par les PR entre 0.5 et 1 log E coli.

5.6 RELARGAGE PAR STOCKS-RIVIERES

HydroSciences Montpellier a mis en évidence que la contribution des stocks-rivières était maximale pour la première crue d’automne suivant une longue période de temps (Chu, 2006 ;Tournoud et al, 2008). Malheureusement, la campagne de mesure du projet Omega Thau n’a pas permis de suivre ce type d’évènement.

Des données ont néanmoins pu être récupérées pour les trois crues de fin de période d’été suivies sur le bassin de la Vène. Ces suivis ont été réalisés par l’équipe d’HydroSciences Montpellier. Pour ces crues, on dispose de l’apport total en bactéries au point P57triA (ou point V d’après la nomenclature utilisée par HydroSciences Montpellier) qui correspond peu ou prou à l’exutoire du bassin de la Vène.

Le travail de modélisation réalisé sur les chaînes de PR du bassin de la Vène (en l’état au moment de chaque évènement), 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.

Tableau 40 : 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 .

Evènement	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

Sources : Chu, 2006 ; Tournoud et al, 2008 ; PNEC, 2009 ; PREDICT, 2009 ; BRLi-EgisEau, 2009.

D’après le tableau précédent, on constate en premier lieu que la modélisation, sans prise en compte du relargage par les stocks-rivières, restitue de manière tout-à-fait satisfaisante les apports globaux mesurés à l’exutoire.

On constate également que 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.

Par conséquent, 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 (Garcia-Armisen, 2006 pour dissocier les particules libres et celles attachées aux *E. coli* ; Got et al, 2007 pour la durée de survie des bactéries dans les sédiments ; Servais et al, 2009 pour l’autoépuration pour les particules libres) en maximisant leur contribution et en supposant que les stocks sont alimentés uniquement par les rejets de stations d’épuration.

Des tests de sensibilité ont également 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, cf. 6.1) 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.

La modélisation du relargage des stocks-rivières est donc très imparfaite et nécessitera d’être améliorée par l’acquisition de nouvelles données lors des futures campagnes de mesure lors de crues de fin de période d’étiage avec une approche spatialisée pour dissocier la contribution de chaque source de pollution. Les travaux de recherche d’HydroSciences Montpellier sont actuellement menés en ce sens.

5.7 POLLUTOGRAMMES

Pour chaque point de suivi fixe des cours d’eau, les graphiques de calage (hydrogrammes) sont fournis en annexe pour chaque évènement (avec pluie supérieure à 20 mm et/ou débit supérieur à 100 l/s).

Les tableaux ci-après présentent les résultats de calage en terme d’apports globaux en *E. coli* pour les points de suivi fixe ainsi que les points de suivi ponctuel différents d’une campagne à l’autre.

Tableau 41 : Apports globaux en *E. coli* – Octobre 2007.

Point de suivi	E. coli (log[u])		
	Mesuré	Simulé	Ecart
P5 - Aygues-Vacques	12.97	12.56	0.41
P30 - Sesquier-Escouladou	13.89	13.15	0.74
P30bis - Pallas	12.97	12.90	0.08
P31bis - Bourbou-Loupian	11.43	11.55	-0.12
P157 - Fontanilles	11.80	11.68	0.12
P158 - Soupié	9.49	11.67	-2.18
P16 - Centre Mèze - Sud	12.84	12.38	0.46
P17 - Centre Mèze - Centre	12.10	11.79	0.31
P21 - Centre Mèze - Nord	12.27	12.16	0.11
M1-2-3 - Marseillan - Vieux port	11.80	12.45	-0.65
M4-5 - Marseillan - Port de plaisance	13.47	12.47	1.00

Tableau 42 : Apports globaux en *E. coli* – Janvier 2008.

Point de suivi	E. coli (log[u])		
	Mesuré	Simulé	Ecart
P41 - Joncas	8.87	8.79	0.08
P30 - Sesquier-Escouladou	9.17	9.59	-0.42
P30bis - Pallas	12.35	12.32	0.03
P31bis - Bourbou à Loupian	11.90	11.93	-0.03
P57trisA - Vène à Poussan	13.06	13.35	-0.29
P157 - Fontanilles	12.61	11.92	0.69
P159 - Soupié	11.57	11.72	-0.15
P151 - Vieux Port de Marseillan	11.95	11.93	0.02
P1 - Nègues-Vacques	9.80	9.69	0.11

Tableau 43 : Apports globaux en E. coli – Novembre 2008.

Point de suivi	E. coli (log[u])		
	Mesuré	Simulé	Ecart
P30 - Sesquier-Escouladou	13.55	13.61	-0.06
P30bis - Pallas	14.03	14.04	-0.01
P31bis - Bourbou Loupian	13.63	13.62	0.02
P57trisA - Vène à Poussan	14.02	13.99	0.03
P157 - Fontanilles	12.12	13.14	-1.02
P159 - Soupié	12.94	13.34	-0.40
MZ-2 / P16 - Mèze - Vieux port - Rive Droite Sud	13.31	13.14	0.17
MZ-3 / P17 - Mèze - Vieux Port - Zone technique Sud	13.09	13.10	-0.02
MZ-7 / P21 - Mèze - Vieux Port - Nord	13.23	13.07	0.16
MZ-AV / P5 - Mèze - Aygues-Vacques	13.13	13.34	-0.21
P151 - PR/DO Cœur de Ville à Marseillan	11.16	11.81	-0.64
P129triA - Canal du Midi amont	12.15	12.96	-0.81
P138 - Zone de garrigues	10.80	11.43	-0.63
P140 - Rural Marseillan	8.95	9.00	0.05
P141 - Chemin rural de l'infirmierie	11.08	11.32	-0.24
P146bis - Clos de l'étang	11.93	11.80	0.13
P148 - Port de plaisance	13.98	13.96	0.02
P156 - Ecoles, Pioch de Pires	11.47	11.98	-0.50
P157A - Pomérols PR aval	12.49	13.24	-0.76
P159A - Pinet aval	11.33	13.32	-1.99

Les écarts importants peuvent s’expliquer par les incertitudes sur la modélisation (hydrologique et/ou de la pollution) et également par les incertitudes sur la mesure (exemple : pic non mesuré faute d’une fréquence d’échantillonnage insuffisante) mais aussi par les aléas exceptionnels liés à chaque évènement (exemple : panne d’un poste de relevage). Des rejets non modélisés peuvent également être la cause de certains écarts (notamment, des rejets d’eaux usées dans les réseaux d’eaux pluviales séparatifs).

Le calage du modèle « bassin versant » est donc tout juste satisfaisant et nécessitera d’être amélioré par l’acquisition de nouvelles données lors des futures campagnes de mesure en période de crue.

Comme ordre de grandeur, on retiendra une incertitude d’environ +/- 1 log sur l’apport total en E. coli à l’exutoire.

Tableau 44 : Apports globaux en E. coli – Février 2009.

Point de suivi	E. coli (log[u])		
	Mesuré	Simulé	Ecart
P57triA - Vène Gigan	13.68	13.92	-0.24
P58 - Agau	13.07	12.45	0.62
P49 - Bouzigues Centre Ouest	9.70	10.72	-1.02
P50 - Bouzigues Centre Est	10.79	10.92	-0.13
P41 - Joncas	10.67	11.32	-0.65
P57bisA - Poussan Centre	12.11	12.56	-0.45
P57bisB - Poussan Est	11.43	11.56	-0.13
P57triB - Vène Gigan	13.98	13.89	0.09
P57triC - Vène Montbazin	14.03	13.86	0.17
P57triD - Vène Cournonsec	12.70	12.48	0.22
P89bis - Canal du Rhône à Sète	13.95	12.59	1.35

La moyenne des écarts absolus entre les résultats observés et simulés (51 comparaisons effectuées) pour les apports globaux en E. coli est de 0.4 log avec un écart-type de 0.5 log, ce qui traduit une forte variabilité d’une évaluation à l’autre. 12% des écarts sont supérieurs à 1 log, 20% sont compris entre 0.5 et 1 log et 68% sont inférieurs à 0.5 log.

6. SIMULATION DES EVENEMENTS DE PROJET

6.1 HYPOTHESES DE BASE

6.1.1 Pluies de projet

Le comité technique de l’étude a retenu 2 évènements de projet :

- crue générée par une pluie de durée de 24 heures et de période de retour 2 ans ;
- crue générée par une pluie de durée de 24 heures et de période de retour 5 ans.

Les périodes de retour 2 et 5 ans permettent d’encadrer le cycle d’évaluation par le réseau de contrôle microbiologique des coquillages REMI dont le diagnostic est établi tous les 3 ans par l’Ifremer.

La durée de 24 heures est adéquate à la dynamique des phénomènes en jeu dans le sens où l’intervalle de temps entre le pic de pluie observé sur le bassin et le pic de contamination constaté sur les tables d’élevage des coquillages dans l’étang excède rarement 24 heures.

Les hyétogrammes de projet ont été construits par la méthode de Kiefer avec un incrément de temps de 15 min. Pour ce type de hyétogramme, les précipitations cumulées sur 15 min, 30 min, 45 min, 1h ... et 24 h sont obtenues en appliquant les coefficients de Montana et chaque hyétogramme de période de retour T = 2 et 5 ans et sans abattement spatial. L’intérêt de ces hyétogrammes est de fournir une pluie effectivement « critique » quelle que soit la taille du bassin versant considéré. En effet, construits sur la base des courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF), ils fournissent pour chaque durée (donc pour chaque temps de concentration) l’intensité d’averse statistiquement maximale, donc sécuritaire vis-à-vis de la définition des dispositifs de lutte contre la pollution.

La formule de Montana s’écrit comme suit : $P_t = a t^{1-b}$ avec P_t la lame d’eau précipitée (mm) sur la durée t (min), a et b les coefficients de Montana.

La pluie en 24 heures (P24h) a été calculée à partir de la pluie journalière (Pj) en appliquant le coefficient correctif de Weiss (K_w) : $P_{24h} = K_w P_j$ avec $K_w = 1.14$.

Les données de base utilisées sont les données de pluies journalières enregistrées au pluviographe de Météo-France à Sète (Sémaphore) et les coefficients de Montana utilisés sont du poste de Météo-France à Manguio (Aéroport de Montpellier-Fréjorgues).

Tableau 45 : Coefficients a et b de Montana à Manguio (aéroport Montpellier-Fréjorgues).

Période de retour	de 6 min à 1 h		de 1 h à 6 h		de 6 h à 24 h	
	a	b	a	b	a	b
T = 2 ans	3.345	0.447	8.539	0.682	11.114	0.727
T = 5 ans	4.528	0.427	15.242	0.723	15.088	0.726

Source : Météo-France.

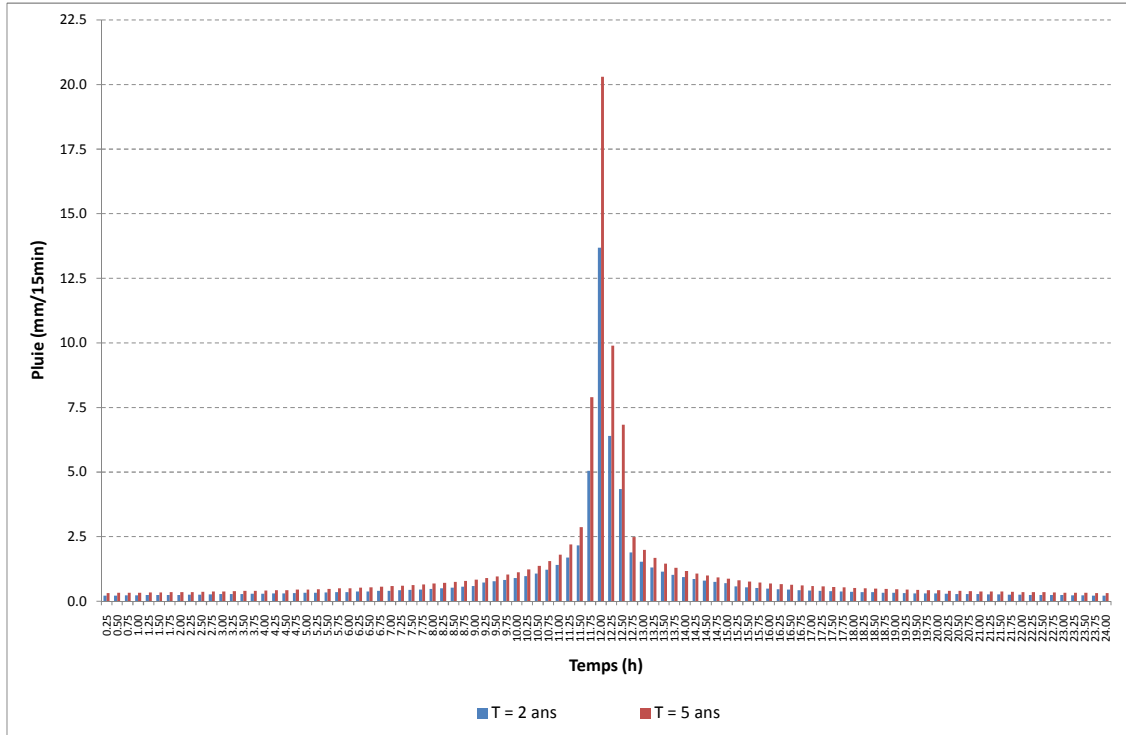
Remarque : En moyenne, la pluie journalière à Sète est représentative de la pluviométrie sur le bassin dans son ensemble (cf. 2.1.2).Cela ne signifie pas que, pour un évènement pluvieux donné, les précipitations sont homogènes sur l’ensemble du bassin. Au contraire, les évènements observés montrent souvent une forte hétérogénéité spatiale de la pluie. En fait, les cumuls s’équilibrent en moyenne aux échelles du mois et de l’année.

Tableau 46 : Quantiles de précipitations à Sète (Sémaphore).

Durée De pluie	Pluie (mm)	
	T = 2 ans	T = 5 ans
6 min	8.2	12.0
10 min	10.9	16.1
15 min	13.7	20.3
30 min	20.1	30.2
1 h	29.5	44.9
2 h	36.7	54.5
3 h	41.8	60.9
6 h	52.1	73.8
12 h	62.9	89.3
24 h	76.0	107.9

Source : Météo-France.

Figure 24 : Hyétogrammes de projet.



6.1.2 Niveaux de l'étang

La condition aval du modèle hydraulique correspond au niveau de l'étang.

Au cours des évènements de projet, le niveau de l'étang est considéré comme constant. et a été calculé en considérant la période de retour correspondante (T = 2ans ou T = 5 ans).

Le calcul a été effectué à partir des hauteurs d'eau horaires enregistrées au marégraphe de Sète (source : DRE) en supposant que l'équilibre entre l'étang et la mer s'établit en 24 heures.

L'analyse statistique des valeurs maximales annuelles de hauteurs d'eau journalières sur la période de 1992 à 2008 a permis, en effectuant un ajustement par la loi log-normale (ou loi de Galton), de déterminer les niveaux de l'étang de période de retour 2 et 5 ans.

Tableau 47 : Quantiles du niveau de l'étang de Thau.

Période de retour	Niveau de l'étang (cm) par rapport au	
	Zéro hydrographique	Zéro IGN69
T = 2 ans	82	52
T = 5 ans	92	62

Source : DRE.

Remarque : Le niveau moyen est de 41 cm par rapport au Zéro Hydrographique ou 11 cm par rapport au Zéro IGN69 (calcul sur la période de 1992 à 2008).

6.1.3 Hypothèses concernant les chaînes de PR et les stations d'épuration

Concernant les chaînes de PR :

- Chaîne de Marseillan
 - ♦ les pompes du PR Cœur de Ville sont réglées comme en état actuel (basé sur le calage des campagnes).
- Chaîne de Montbazin
 - ♦ le niveau de la Vène a été pris équivalent au niveau de la campagne 7.
- PR Serpentin : ce PR n'ayant pas présenté de déversements pendant les campagnes de mesure (sauf ceux dus à des pannes), il n'a pas été pris en compte de déversements pour la pluie de projet 2 ans. On a par contre considéré un déversement possible pour la pluie de période de retour 5 ans. Cette hypothèse reste cependant à valider.

Concernant les stations d'épuration, on suppose que le rejet maximal en 24 heures s'effectue le jour-même de l'épisode pluvieux. En réalité, il y a un temps de réponse hydraulique qui peut atteindre 1 à 3 jours.

Cette dernière hypothèse est sécuritaire vis-à-vis de la définition des dispositifs de lutte contre la pollution.

6.1.4 Durée de la période de temps sec

Le nombre de bactéries accumulées sur les zones rurales et urbaines ainsi que dans les stocks-rivières nécessite de fixer la durée de temps sec.

Pour deux périodes distinctes de l'année – hors saison (de octobre à mai) et saison estivale (de juin à septembre) –, les plus longues durées de temps sec ont été recensées pour les dix dernières années.

Tableau 48 : Durées de temps secs maximales en saison estivale et hors saison.

Période de l'année	Durée de temps sec max (j)
oct.-mai 1998-1999	95
juin-sept. 1999	76
oct.-mai 1999-2000	85
juin-sept. 2000	109
oct.-mai 2000-2001	70
juin-sept. 2001	68
oct.-mai 2001-2002	61
juin-sept. 2002	77
oct.-mai 2002-2003	50
juin-sept. 2003	82
oct.-mai 2003-2004	38
juin-sept. 2004	120
oct.-mai 2004-2005	76
juin-sept. 2005	110
oct.-mai 2005-2006	52
juin-sept. 2006	226
oct.-mai 2006-2007	64
juin-sept. 2007	126
oct.-mai 2007-2008	48
juin-sept. 2008	152
Moyenne en Hors Saison	64
Moyenne en Saison Estivale	115

On retient donc une durée de temps sec de 65 jours en hors saison et de 115 jours en saison estivale.

Là encore, ces hypothèses sont sécuritaires vis-à-vis de la définition des dispositifs de lutte contre la pollution car elles induisent une longue période d’accumulation des bactéries et par conséquent des valeurs élevées concernant les estimations fournies par la modélisation pour le lessivage urbain, le lessivage rural et le relargage des stocks-rivières.

6.2 INTERFAÇAGE AVEC MODELE « LAGUNE »

L’interfaçage entre le modèle « bassin versant » et le modèle « lagune » a été réalisé au travers de nœuds de communication. En effet, afin de limiter le nombre d’exutoires (contraintes liées à la mise œuvre du modèle « lagune »), certaines sources de contamination ont été regroupées en un même point d’entrée : 20 exutoires lagunaires ont été retenus, pour lesquels les hydrogrammes et les Flux Maximaux Admissibles (FMA) pour les deux évènements pluvieux de périodes de retour 2 et 5 ans et de temps sec doivent être construits.

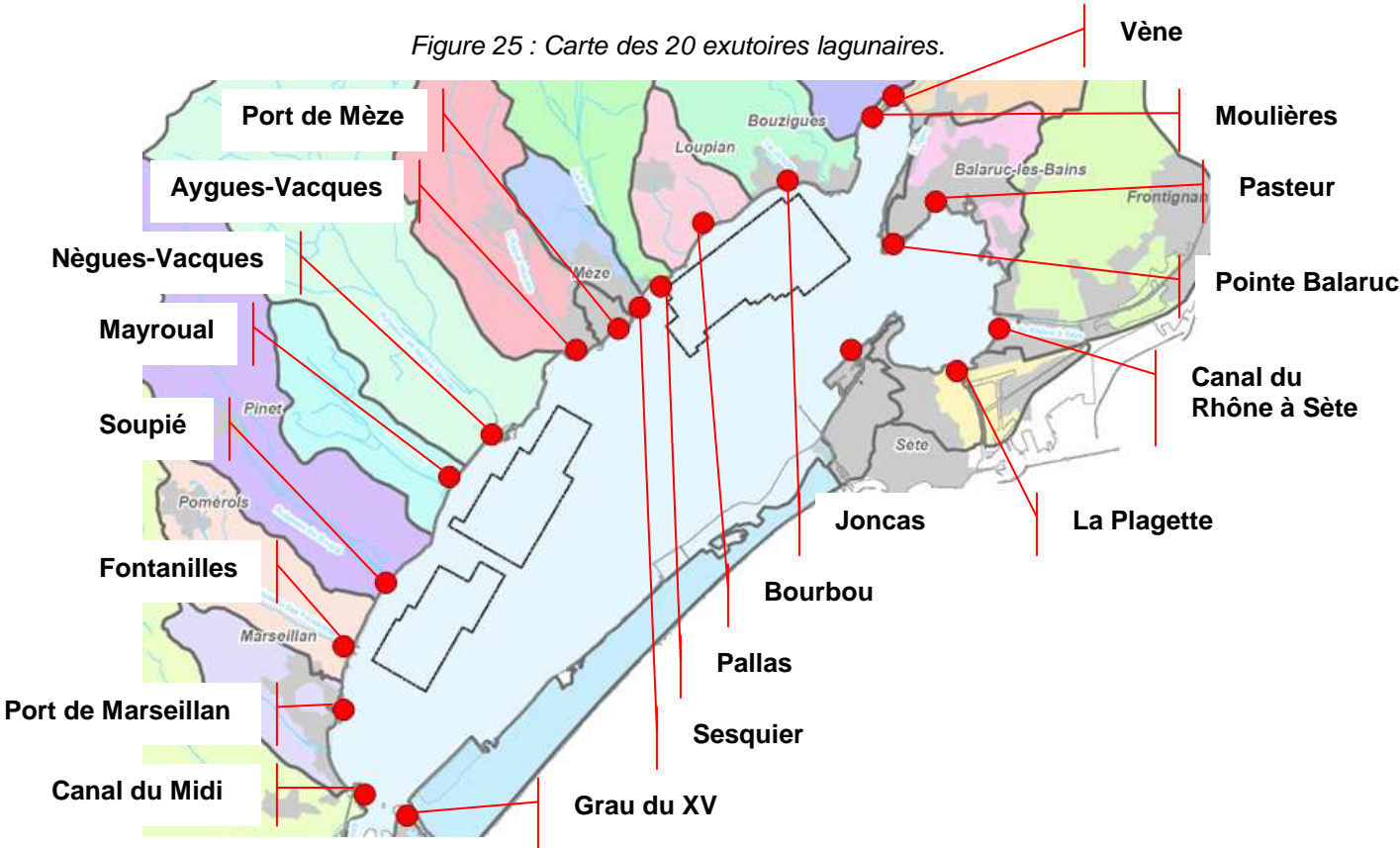


Tableau 49 : Débit de pointe et volume maximal en 24h pour les crues de période de retour 2 et 5 ans.

Exutoire lagunaire	T = 2 ans		T = 5 ans	
	Qp (m³/s)	V24hmax (Mm³)	Qp (m³/s)	V24hmax (Mm³)
Grau du XV	13.7	0.540	29.9	1.116
Canal du Midi	11.1	0.615	26.0	1.492
Port de Marseillan	9.2	0.171	18.3	0.321
Fontanilles	6.9	0.187	14.7	0.379
Soupié	10.3	0.390	22.4	0.815
Mayroual	4.9	0.133	11.3	0.281
Nègues-Vacques	16.7	0.615	37.2	1.297
Aygues-Vacques	7.9	0.278	16.8	0.563
Port de Mèze	4.6	0.040	7.8	0.063
Sesquier	4.1	0.101	8.3	0.191
Pallas	20.4	0.761	47.4	1.671
Bourbou	5.4	0.098	11.7	0.199
Joncas	11.3	0.240	25.3	0.475
Moulières	10.5	0.270	22.3	0.542
Vène	21.0	1.340	52.8	3.347
Pointe de Balaruc	5.5	0.104	12.0	0.206
Pasteur	11.4	0.203	20.9	0.357
Canal RS	9.8	0.565	19.4	1.099
Plagette	41.1	0.197	61.1	0.282
Ile de Thau	19.8	0.101	28.6	0.141

- On rappelle que (cf. 4.3.1.4) :
- concernant la Vène, une décroissance exponentielle des écoulements 12 heures après le début de la crue selon la courbe de tarissement des crues rapides karstiques (Grillot, 2006) a été considérée pour prendre en compte l'apport du karst par la source de Cournonsec ;
 - concernant le Canal du Midi et le Canal du Rhône à Sète, un débit de base correspondant à l'apport par la partie non active du bassin (au sens où l'écoulement de cette zone ne rejoint pas directement l'étang par ruissellement mais qu'il transite via le canal) a été ajouté (lissage sur 24 heures).

Ce qui explique la forme « particulière » de ces hydrogrammes représentés sur les graphiques ci-après.

Le développement du concept de FMA et de la base de données associée (étape 4 du projet) permet un découplage complet entre les modèles « bassin versant » et « lagune ».

En effet, étant donné l’apport en *E. coli* à un exutoire (résultat de simulation du modèle « bassin versant »), il est possible de savoir si les tables conchylicoles sont contaminées ou non et ce, sans avoir à faire de simulation avec le modèle « lagune ».

Pour la détermination des FMA de temps pluvieux de périodes de retour 2 et 5 ans, les hydrogrammes suivants ont été fournis par le modèle « bassin versant » au modèle « lagune ».

Figure 26 : Hydrogrammes de projet de période de retour 2 ans.

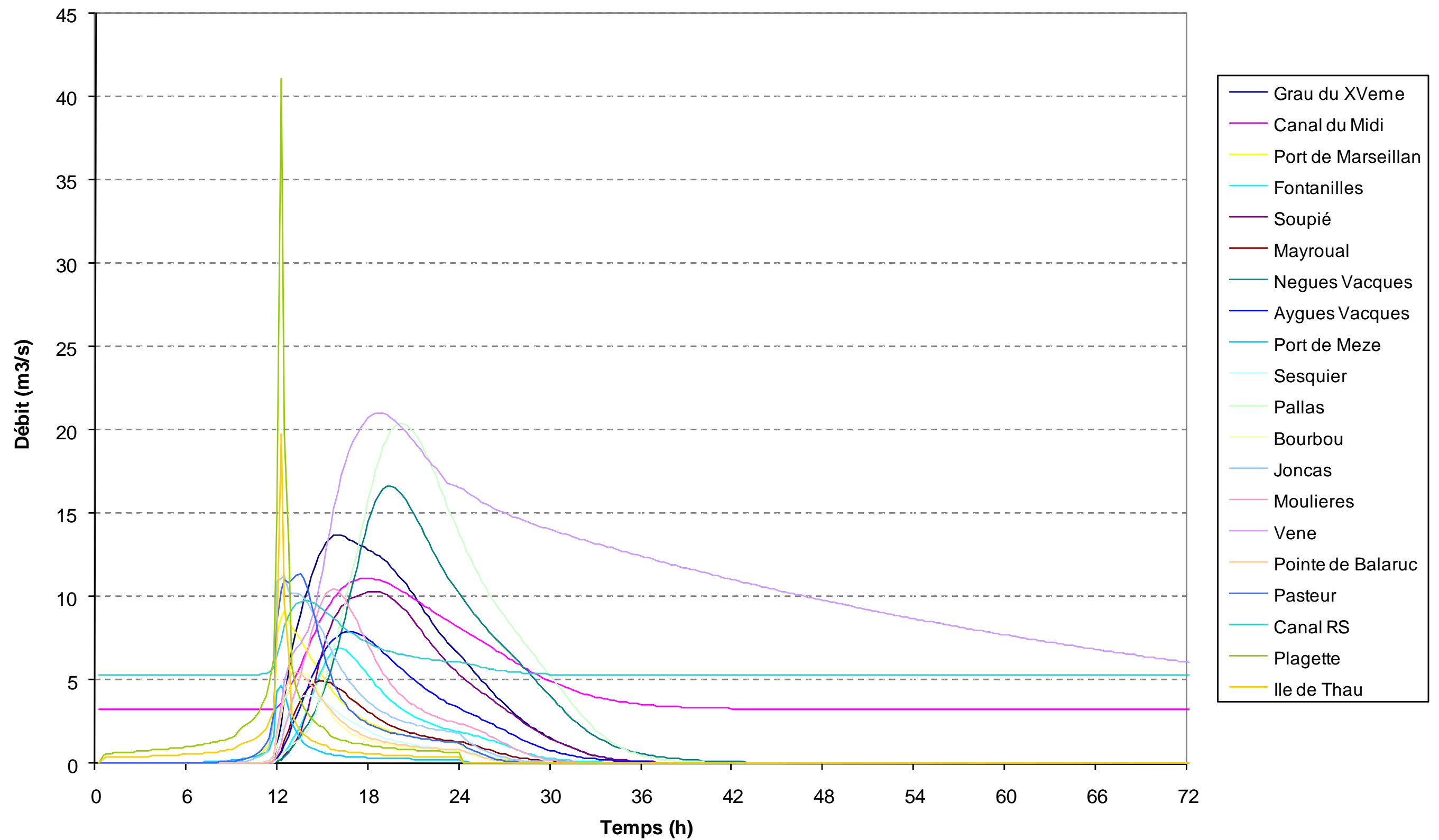
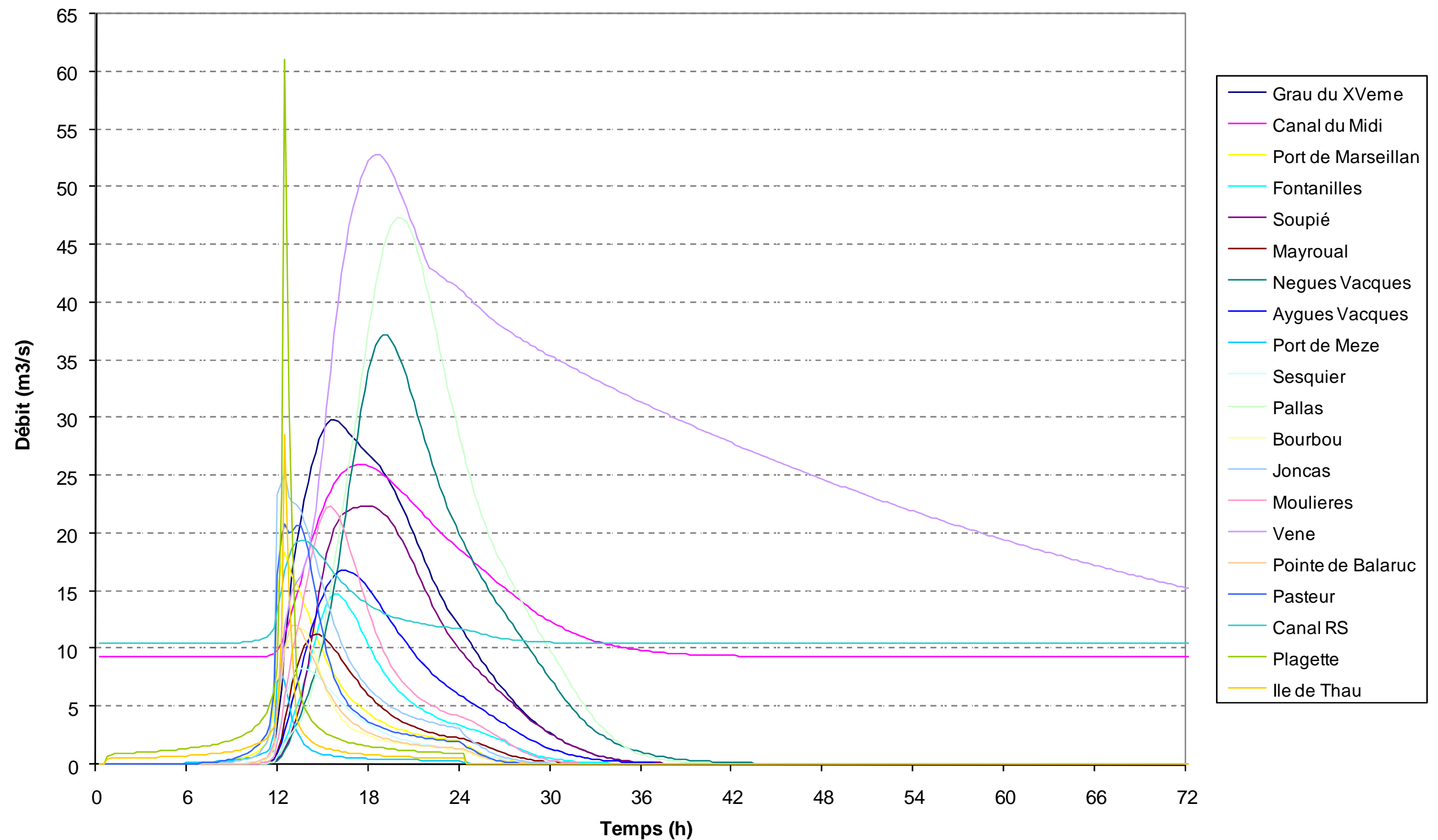


Figure 27 : Hydrogrammes de projet de période de retour 5 ans.



6.3 SIMULATION DE L'ÉVÉNEMENT PLUVIEUX DE PÉRIODE DE RETOUR 2 ANS

6.3.1 Apports en *E. coli* à la lagune

Les tableaux ci-après et les graphiques pages suivantes présentent les résultats de simulation de l'évènement pluvieux de période de retour 2 ans en distinguant la période hors saison (d'octobre à mai) de la saison estivale (de juin à septembre). Pour chacun des 20 exutoires lagunaires, sont fournis les apports en *E. coli* par source de pollution et totaux.

Tableau 50 : Apports en *E. coli* à la lagune pour l'évènement pluvieux de période de retour 2 ans en hors saison.

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

Tableau 51 : Apports en *E. coli* à la lagune pour l'évènement pluvieux de période de retour 2 ans en saison estivale.

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

Remarques :

- Les rejets d'assainissement non collectif (ANC et campings) et industriels n'ont pas été modélisés. Les valeurs indiquées sont les estimations fournies en étape 1.
- Les valeurs de flux de pollution bactériologiques fournies sont des valeurs sur 24 heures. Ces flux ne sont donc pas directement comparables aux flux calculés pour certaines campagnes, les valeurs fournies pour les résultats du calage étant les valeurs sur la durée totale de la campagne, qui parfois a dépassé 24 heures.
- Dans l'attente de données complémentaires sur les PR de Frontignan, les apports indiqués dans ces tableaux correspondent aux apports estimés de la dernière campagne de mesures de l'étape 2.

Les résultats obtenus mettent en évidence les éléments suivants :

- hors période estivale :
 - ♦ les rejets totaux par exutoire varient entre 11.2 (Nègues-Vaques) et 14.9 (La Plagette) log E.Coli, la majorité des exutoires fournit une valeur supérieure à 13 log E.Coli (13 exutoires sur 20),
 - ♦ les déversements d'eaux usées au droit des PR fournissent la plus grande part de la pollution bactériologique, excepté pour certains secteurs où les centres urbains sont importants et pour lesquels le lessivage urbain devient prépondérant (Balaruc et Sète, où la part de pollution due au lessivage urbain peut atteindre 60% pour l'exutoire « Ile de Thau »),
 - ♦ de manière générale, les rejets du lessivage urbain se situent en seconde ou troisième position, et apportent une pollution environ 10 fois moins importante que les rejets des PR, sauf pour les secteurs où les centres urbains sont importants, comme Balaruc et Sète,
 - ♦ pour les exutoires non affectés par des pollutions dues aux déversements de PR, la pollution due au lessivage urbain est prépondérante, mais dans ce cas la pollution totale de ces exutoires reste bien en-deçà de celle des exutoires affectés par des rejets de PR (10 à 1000 fois inférieure),

- ◆ les rejets des STEP (6 exutoires concernés) avoisinent ou dépassent légèrement les rejets du lessivage urbain pour 3 exutoires (Pallas, Moulières et Vène), ils sont nettement inférieurs pour 2 exutoires (Nègues Vacques et Aygues Vacques), et supérieurs pour le Soupié, ils constituent par conséquent la 2^{ème} ou la 3^{ème} source de pollution lorsqu'ils sont présents (les rejets sont 8 à 100 fois inférieurs à ceux des PR),
 - ◆ les rejets ANC et campings (8 exutoires concernés) se classent souvent en 2^{ème} position (pour 5 exutoires sur 8), après les rejets des PR (dans ce cas, ils sont 10 à 100 fois inférieurs), ou bien après les STEP ou le lessivage urbain (dans ce cas, ils en sont plus proches),
 - ◆ globalement, les autres sources de pollution sont ensuite par ordre d'importance : les rejets dus au relargage des stocks-rivière et au lessivage rural. Ce classement peut varier d'un exutoire à l'autre, mais les ordres de grandeur des pollutions dues à ces sources sont 10 à 1000 fois plus faibles que les rejets des PR.
- en saison estivale,
- ◆ les rejets totaux augmentent et varient entre 11.5 (Mayroual) et 15 log E.Coli (La Plagette),
 - ◆ la source de pollution principale reste les rejets des PR,
 - ◆ les rejets du lessivage urbain augmentent (+0.3 à +0.9 log E.Coli) et se rapprochent des valeurs des rejets des PR pour plusieurs exutoires : Port de Marseillan, Port de Mèze, La Plagette,
 - ◆ pour Ile de Thau et Balaruc (Pasteur), les rejets dus au lessivage urbain deviennent plus nettement prépondérants par rapport aux rejets des PR (ils représentent plus de 80% de la pollution).
 - ◆ les rejets du relargage des stocks-rivière augmentent de +1,2 à +1,3 log E. Coli, et deviennent la 2^{ème} source de pollution pour les exutoires du Soupié, du Pallas et de la Vène (tout en restant au moins 10 fois inférieurs aux rejets des PR),
 - ◆ les rejets du lessivage rural augmentent d'environ +0.5 à +0.6log E.Coli.

Les tableaux ci-dessous permettent de visualiser la hiérarchisation des sources de pollution par exutoire (tri par ordre de pollution décroissante, le rang 1 correspondant à la source la plus polluante).

Tableau 52 : Hiérarchisation des sources de pollution par exutoire lagunaire pour l'évènement pluvieux de période de retour 2 ans en hors saison.

T = 2 ans Hors saison	Rang (pourcentage de l'apport total à l'exutoire lagunaire)						
	Rejets stations d'épuration	Déversements réseau EU	Rejets ANC & camping	Rejets industriels	Lessivage urbain	Lessivage rural	Relargage stocks-rivières
Grau du XV	-	1 (75.9%)	2 (18%)	3 (3.6%)	4 (2.5%)	5 (0%)	-
Canal du Midi	-	1 (98.3%)	-	-	2 (1.7%)	3 (0%)	-
Port de Marseillan	-	1 (94.1%)	-	-	2 (5.9%)	3 (0%)	-
Fontanilles	-	1 (94.2%)	2 (3%)	-	3 (2.7%)	4 (0.1%)	-
Soupié	2 (5.5%)	1 (93%)	5 (0.4%)	6 (0.2%)	3 (0.4%)	7 (0.1%)	4 (0.4%)
Mayroual	-	-	1 (80.8%)	2 (16.1%)	-	3 (3%)	-
Nègues-Vacques	3 (1.3%)	-	-	-	1 (61.7%)	2 (37%)	4 (0.1%)
Aygues-Vacques	2 (15.6%)	-	-	-	1 (82.5%)	3 (1%)	4 (0.9%)
Port de Mèze	-	1 (77.8%)	-	-	2 (22.2%)	-	-
Sesquier	-	1 (94.8%)	-	-	2 (5.1%)	3 (0%)	-
Pallas	3 (1.1%)	1 (95.7%)	2 (1.8%)	-	4 (0.8%)	5 (0.4%)	6 (0.2%)
Bourbou	-	1 (98.3%)	-	-	2 (1.7%)	3 (0%)	-
Joncas	-	1 (87.5%)	-	-	2 (12%)	3 (0.5%)	-
Moulières	2 (10.2%)	1 (83.1%)	-	-	3 (5.7%)	5 (0.4%)	4 (0.7%)
Vène	3 (2.3%)	1 (86.8%)	2 (8%)	-	4 (1.9%)	6 (0.4%)	5 (0.6%)
Pointe de Balaruc	-	-	-	-	1 (100%)	-	-
Pasteur	-	2 (41.8%)	-	-	1 (58.1%)	3 (0.1%)	-
Canal du Rhône à Sète	-	1 (93.5%)	3 (1.4%)	-	2 (5%)	4 (0.1%)	-
La Plagette	-	1 (87.1%)	4 (0.2%)	3 (0.2%)	2 (12.5%)	-	-
Ile de Thau	-	2 (40.7%)	-	-	1 (59.3%)	-	-

Tableau 53 : Hiérarchisation des sources de pollution par exutoire lagunaire pour l'évènement pluvieux de période de retour 2 ans en saison estivale.

T = 2 ans Saison estivale	Rang (pourcentage de l'apport total à l'exutoire lagunaire)						
	Rejets stations d'épuration	Déversements réseau EU	Rejets ANC & camping	Rejets industriels	Lessivage urbain	Lessivage rural	Relargage stocks-rivières
Grau du XV	-	1 (60.9%)	3 (14.4%)	4 (2.9%)	2 (21.7%)	5 (0%)	-
Canal du Midi	-	1 (84.1%)	-	-	2 (15.9%)	3 (0.1%)	-
Port de Marseillan	-	1 (59.6%)	-	-	2 (40.4%)	3 (0%)	-
Fontanilles	-	1 (90.3%)	3 (2.9%)	-	2 (6.4%)	4 (0.3%)	-
Soupié	3 (5.1%)	1 (87.3%)	6 (0.4%)	7 (0.2%)	4 (1.1%)	5 (0.4%)	2 (5.6%)
Mayroual	-	-	1 (74.8%)	2 (14.9%)	-	3 (10.3%)	-
Nègues-Vacques	3 (0.5%)	-	-	-	2 (48%)	1 (51.1%)	4 (0.4%)
Aygues-Vacques	2 (6.1%)	-	-	-	1 (86.8%)	4 (1.4%)	3 (5.7%)
Port de Mèze	-	1 (56.7%)	-	-	2 (43.3%)	-	-
Sesquier	-	1 (87.3%)	-	-	2 (12.7%)	3 (0.1%)	-
Pallas	6 (1.1%)	1 (89.7%)	4 (1.7%)	-	3 (1.8%)	5 (1.2%)	2 (4.5%)
Bourbou	-	1 (94.7%)	-	-	2 (5.2%)	3 (0.1%)	-
Joncas	-	1 (71.6%)	-	-	2 (27.1%)	3 (1.4%)	-
Moulières	3 (8.7%)	1 (71.2%)	-	-	2 (10.7%)	5 (1.2%)	4 (8.3%)
Vène	5 (2%)	1 (76.1%)	3 (7.1%)	-	4 (3.6%)	6 (1.4%)	2 (9.8%)
Pointe de Balaruc	-	-	-	-	1 (100%)	-	-
Pasteur	-	2 (8.5%)	-	-	1 (91.4%)	3 (0.1%)	-
Canal du Rhône à Sète	-	1 (74.5%)	3 (1.1%)	-	2 (24.2%)	4 (0.2%)	-
La Plagette	-	1 (67.7%)	4 (0.1%)	3 (0.2%)	2 (32%)	-	-
Ile de Thau	-	2 (17.3%)	-	-	1 (82.7%)	-	-

Figure 28 : Apports en E. coli à la lagune pour l'évènement pluvieux de période de retour 2 ans en hors saison.

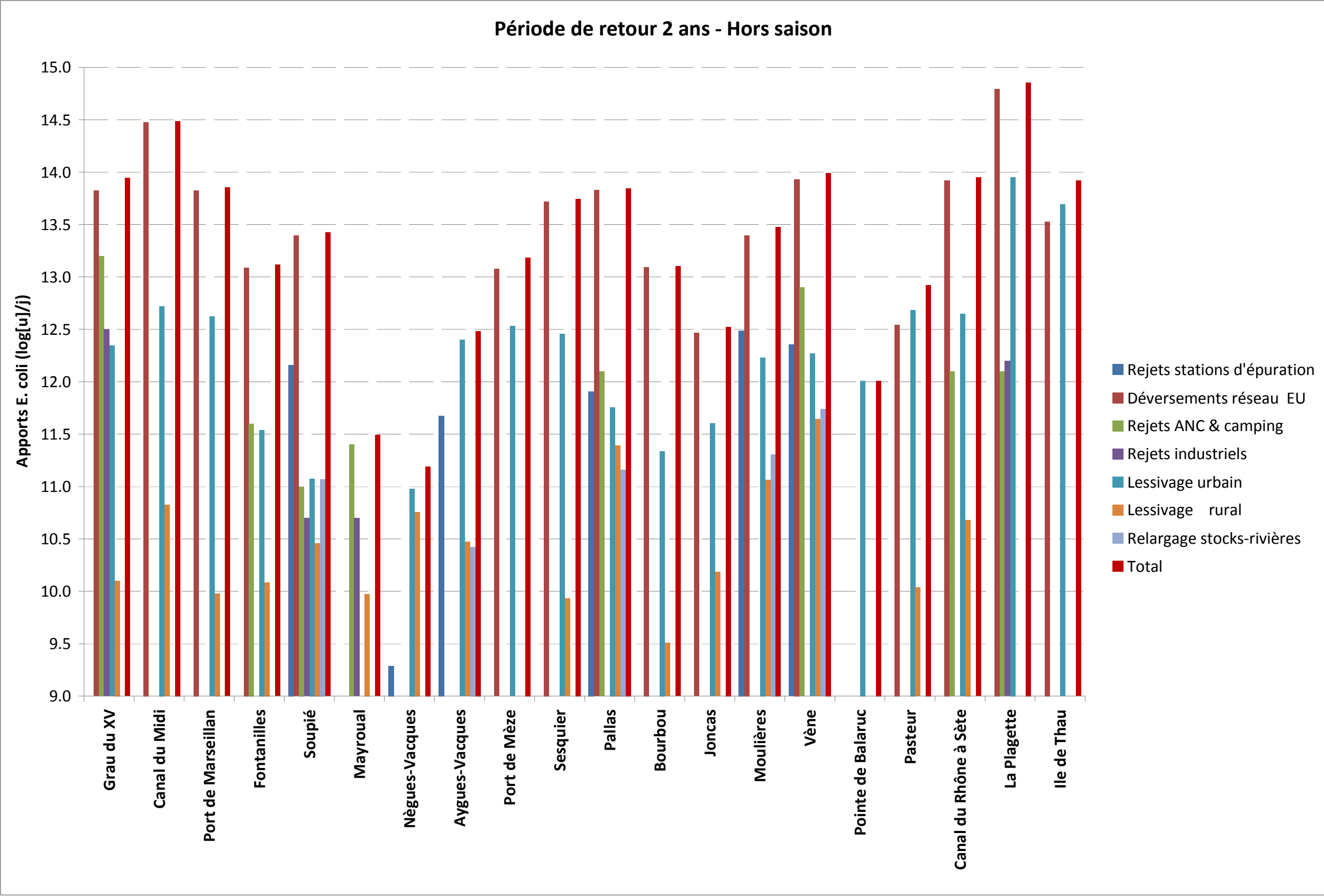
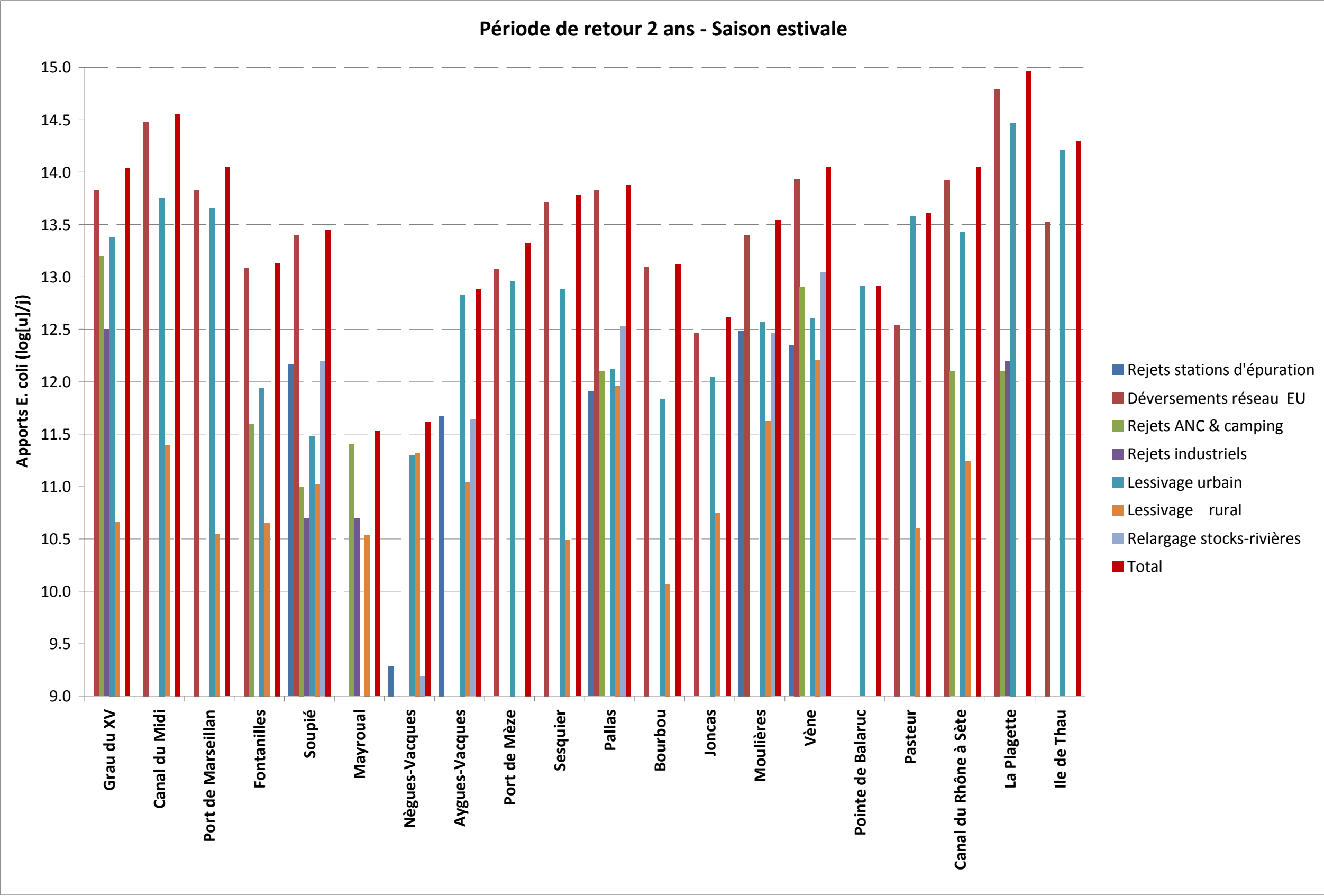


Figure 29 : Apports en E. coli à la lagune pour l'évènement pluvieux de période de retour 2 ans en saison estivale.



6.3.2 Hiérarchisation des exutoires lagunaires par source de pollution

Les tableaux ci-dessous permettent de visualiser la hiérarchisation des exutoires par source de pollution (tri par ordre de contribution décroissante, le rang 1 correspondant à l'exutoire le plus contributeur).

Tableau 54 : Hiérarchisation des exutoires lagunaires par source de pollution pour l'évènement pluvieux de période de retour 2 ans – hors saison.

T = 2 ans Hors saison	Rang							Total
	Rejets stations d'épuration	Déversements réseau EU	Rejets ANC & camping	Rejets industriels	Lessivage urbain	Lessivage rural	Relargage stocks-rivières	
Grau du XV	-	7	1	1	10	10	-	5
Canal du Midi	-	2	-	-	3	4	-	2
Port de Marseillan	-	6	-	-	6	13	-	7
Fontanilles	-	13	6	-	16	11	-	13
Soupié	3	11	8	3	18	8	4	11
Mayroual	-	-	7	3	-	14	-	19
Nègues-Vacques	6	-	-	-	19	5	6	20
Aygues-Vacques	5	-	-	-	9	7	5	17
Port de Mèze	-	14	-	-	7	-	-	12
Sesquier	-	8	-	-	8	15	-	9
Pallas	4	5	3	-	14	2	3	8
Bourbou	-	12	-	-	17	16	-	14
Joncas	-	16	-	-	15	9	-	16
Moulières	1	10	-	-	12	3	2	10
Vène	2	3	2	-	11	1	1	3
Pointe de Balaruc	-	-	-	-	13	-	-	18
Pasteur	-	15	-	-	4	12	-	15
Canal du Rhône à Sète	-	4	3	-	5	6	-	4
La Plagette	-	1	3	2	1	-	-	1
Ile de Thau	-	9	-	-	2	-	-	6

Tableau 55 : Hiérarchisation des exutoires lagunaires par source de pollution pour l'évènement pluvieux de période de retour 2 ans – saison estivale.

T = 2 ans Saison estivale	Rang							Total
	Rejets stations d'épuration	Déversements réseau EU	Rejets ANC & camping	Rejets industriels	Lessivage urbain	Lessivage rural	Relargage stocks-rivières	
Grau du XV	-	7	1	1	7	10	-	7
Canal du Midi	-	2	-	-	3	4	-	2
Port de Marseillan	-	6	-	-	4	13	-	4
Fontanilles	-	13	6	-	16	11	-	14
Soupié	3	11	8	3	18	8	4	12
Mayroual	-	-	7	3	-	14	-	20
Nègues-Vacques	6	-	-	-	19	5	6	19
Aygues-Vacques	5	-	-	-	11	7	5	17
Port de Mèze	-	14	-	-	8	-	-	13
Sesquier	-	8	-	-	10	15	-	9
Pallas	4	5	3	-	14	2	2	8
Bourbou	-	12	-	-	17	16	-	15
Joncas	-	16	-	-	15	9	-	18
Moulières	1	10	-	-	13	3	3	11
Vène	2	3	2	-	12	1	1	5
Pointe de Balaruc	-	-	-	-	9	-	-	16
Pasteur	-	15	-	-	5	12	-	10
Canal du Rhône à Sète	-	4	3	-	6	6	-	6
La Plagette	-	1	3	2	1	-	-	1
Ile de Thau	-	9	-	-	2	-	-	3

Remarque : Ces tableaux sont fournis pour une première analyse comparative des quantités de pollution apportées par chaque exutoire. La hiérarchisation définitive des exutoires vis à vis de la pollution des zones conchylicoles doit se faire sur la base d'un croisement de ces informations avec la sensibilité de chaque exutoire vis à vis de la lagune, obtenue au travers des calculs faits avec le modèle « lagune », en vue de la détermination des valeurs-seuil de pollution admissibles pour chaque exutoire ou groupe d'exutoires. En effet, certains exutoires plus éloignés présentant des pollutions importantes (exutoires de Sète notamment) pourront se révéler moins sensibles pour la pollution des zones conchylicoles, que des exutoires plus proches apportant une pollution moindre.

On voit que cette hiérarchisation par source de pollution est très corrélée avec la précédente par exutoire, les sous-bassins les plus « potentiellement contaminants » sont ceux concernés par les déversements des réseaux d'eaux usées.

6.4 SIMULATION DE L'ÉVÉNEMENT PLUVIEUX DE PÉRIODE DE RETOUR 5 ANS

6.4.1 Apports en *E. coli* à la lagune

Les tableaux ci-dessous et les graphiques pages suivantes présentent les résultats de simulation de l'événement pluvieux de période de retour 5 ans en distinguant la période hors saison (d'octobre à mai) de la saison estivale (de juin à septembre). Pour chacun des 20 exutoires lagunaires, sont fournis les apports en *E. coli* par source de pollution et totaux.

Tableau 56 : Apports en *E. coli* à la lagune pour l'événement pluvieux de période de retour 5 ans en hors saison.

T = 5 ans Hors saison	Apport en <i>E. coli</i> (log[u]/l)							Total
	Rejets stations d'épuration	Déversements réseau EU	Rejets ANC & camping	Rejets industriels	Lessivage urbain	Lessivage rural	Relargage stocks-rivières	
Grau du XV	-	14.0	13.2	12.5	12.4	10.2	-	14.1
Canal du Midi	-	14.6	-	-	12.9	11.0	-	14.7
Port de Marseillan	-	14.1	-	-	12.7	10.1	-	14.1
Fontanilles	-	13.2	11.6	-	11.7	10.2	-	13.2
Soupié	12.6	13.5	11.0	10.7	11.2	10.6	11.2	13.6
Mayroual	-	-	11.4	10.7	-	10.1	-	11.5
Nègues-Vacques	9.3	-	-	-	11.1	10.9	8.1	11.3
Aygues-Vacques	12.1	-	-	-	12.5	10.6	10.5	12.7
Port de Mèze	-	13.2	-	-	12.6	-	-	13.3
Sesquier	-	13.9	-	-	12.6	10.0	-	13.9
Pallas	12.4	14.1	12.1	-	11.9	11.6	11.3	14.1
Bourbou	-	13.2	-	-	11.5	9.7	-	13.3
Joncas	-	12.5	-	-	11.7	10.3	-	12.6
Moulières	13.0	13.6	-	-	12.4	11.2	11.4	13.7
Vène	12.9	14.0	12.9	-	12.5	11.9	11.9	14.1
Pointe de Balaruc	-	-	-	-	12.1	-	-	12.1
Pasteur	-	13.0	-	-	12.8	10.1	-	13.2
Canal du Rhône à Sète	-	13.9	12.1	-	12.8	10.8	-	14.0
La Plagette	-	14.9	12.1	12.2	14.0	-	-	15.0
Ile de Thau	-	13.7	-	-	13.7	-	-	14.0
TOTAL	13.4	15.3	13.5	12.7	14.3	12.2	12.2	15.4

Tableau 57 : Apports en *E. coli* à la lagune pour l'événement pluvieux de période de retour 5 ans en saison estivale.

T = 5 ans Saison estivale	Apport en <i>E. coli</i> (log[u]/l)							Total
	Rejets stations d'épuration	Déversements réseau EU	Rejets ANC & camping	Rejets industriels	Lessivage urbain	Lessivage rural	Relargage stocks-rivières	
Grau du XV	-	14.0	13.2	12.5	13.5	10.8	-	14.2
Canal du Midi	-	14.6	-	-	13.9	11.5	-	14.7
Port de Marseillan	-	14.1	-	-	13.8	10.7	-	14.2
Fontanilles	-	13.2	11.6	-	12.1	10.8	-	13.3
Soupié	12.6	13.5	11.0	10.7	11.6	11.2	12.4	13.6
Mayroual	-	-	11.4	10.7	-	10.7	-	11.5
Nègues-Vacques	9.3	-	-	-	11.5	11.5	9.3	11.8
Aygues-Vacques	12.1	-	-	-	13.0	11.2	11.8	13.1
Port de Mèze	-	13.2	-	-	13.0	-	-	13.4
Sesquier	-	13.9	-	-	13.0	10.6	-	13.9
Pallas	12.4	14.1	12.1	-	12.3	12.1	12.7	14.1
Bourbou	-	13.2	-	-	12.0	10.2	-	13.3
Joncas	-	12.5	-	-	12.2	10.9	-	12.7
Moulières	13.0	13.6	-	-	12.7	11.8	12.6	13.7
Vène	12.9	14.0	12.9	-	12.8	12.4	13.3	14.2
Pointe de Balaruc	-	-	-	-	13.0	-	-	13.0
Pasteur	-	13.0	-	-	13.7	10.7	-	13.8
Canal du Rhône à Sète	-	13.9	12.1	-	13.5	11.4	-	14.1
La Plagette	-	14.9	12.1	12.2	14.5	-	-	15.1
Ile de Thau	-	13.7	-	-	14.3	-	-	14.4
TOTAL	13.4	15.3	13.5	12.7	14.9	12.8	13.5	15.5

Remarque :

- Les rejets d'assainissement non collectif (ANC et campings) et industriels n'ont pas été modélisés. Les valeurs indiquées sont les estimations fournies en étape 1.
- Dans l'attente de données complémentaires sur les PR de Frontignan, les apports indiqués dans ces tableaux correspondent aux apports estimés de la dernière campagne de mesures de l'étape 2.

L'analyse des résultats obtenus montre :

- un accroissement global d'environ +0.1 à +0.2 log *E.Coli* pour la pollution totale de chaque exutoire entre les pluies de projet de période de retour 2ans et 5 ans :
 - ♦ 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*.
 - ♦ pour l'exutoire Pasteur, l'accroissement est un peu plus important (+0.5 log) du fait des déversement des PR Vignes et Serpentin, qui ne se produisent pas pour la pluie de période de retour 2 ans,
- les déversements des PR constituent toujours la source de pollution prépondérante pour la majorité des exutoires, sauf pour les secteurs avec des centres urbains importants (Balaruc et Sète [Ile de Thau], où les rejets du lessivage urbain représentent jusqu'à 83% des rejets),
- en période « hors-saison » :
 - ♦ les rejets des STEP se placent plus souvent en seconde position, et restent inférieurs aux rejets des PR, avec des écarts qui se sont réduits pour certains exutoires (entre 4 à 100 fois plus faibles).
 - ♦ les rejets ANC et campings (qui concernent 8 exutoires) sont souvent proches des rejets du lessivage urbain, sauf en cas de présence de centre urbain important comme Sète,
 - ♦ les rejets du lessivage rural se classent souvent en 3^{ème} position

➤ en période estivale :

- ♦ de la même manière que pour la pluie 2 ans, les rejets du lessivage urbain se rapprochent des rejets des PR,
- ♦ le relargage des stocks-rivière prend souvent la 2^{ème} ou 3^{ème} position.

Les tableaux ci-après permettent de visualiser la hiérarchisation des sources de pollution par exutoire (tri par ordre de pollution décroissante, le rang 1 correspondant à la source la plus polluante).

Tableau 58 : Hiérarchisation des sources de pollution par exutoire lagunaire pour l'évènement pluvieux de période de retour 5 ans en hors saison.

T = 5 ans Hors saison	Rang (pourcentage de l'apport total à l'exutoire lagunaire)						
	Rejets stations d'épuration	Déversements réseau EU	Rejets ANC & camping	Rejets industriels	Lessivage urbain	Lessivage rural	Relargage stocks-rivières
Grau du XV	-	1 (83.5%)	2 (12.1%)	3 (2.4%)	4 (2%)	5 (0%)	-
Canal du Midi	-	1 (98.4%)	-	-	2 (1.6%)	3 (0%)	-
Port de Marseillan	-	1 (95.6%)	-	-	2 (4.4%)	3 (0%)	-
Fontanilles	-	1 (94.9%)	3 (2.3%)	-	2 (2.7%)	4 (0.1%)	-
Soupié	2 (10.7%)	1 (87.9%)	5 (0.3%)	6 (0.1%)	3 (0.4%)	7 (0.1%)	4 (0.4%)
Mayroual	-	-	1 (79.8%)	2 (15.9%)	-	3 (4.3%)	-
Nègues-Vacques	3 (0.9%)	-	-	-	1 (62%)	2 (37.1%)	4 (0.1%)
Aygues-Vacques	2 (27.7%)	-	-	-	1 (70.7%)	3 (0.8%)	4 (0.7%)
Port de Mèze	-	1 (80.9%)	-	-	2 (19.1%)	-	-
Sesquier	-	1 (95.1%)	-	-	2 (4.9%)	3 (0%)	-
Pallas	2 (2%)	1 (95.8%)	3 (1.1%)	-	4 (0.7%)	5 (0.3%)	6 (0.2%)
Bourbou	-	1 (98.3%)	-	-	2 (1.7%)	3 (0%)	-
Joncas	-	1 (85.6%)	-	-	2 (13.8%)	3 (0.6%)	-
Moulières	2 (18.6%)	1 (75.6%)	-	-	3 (4.9%)	5 (0.3%)	4 (0.6%)
Vène	2 (6.6%)	1 (83.5%)	3 (6.3%)	-	4 (2.3%)	6 (0.6%)	5 (0.7%)
Pointe de Balaruc	-	-	-	-	1 (100%)	-	-
Pasteur	-	1 (61.1%)	-	-	2 (38.8%)	3 (0.1%)	-
Canal du Rhône à Sète	-	1 (92.2%)	3 (1.4%)	-	2 (6.3%)	4 (0.1%)	-
La Plagette	-	1 (88.9%)	4 (0.1%)	3 (0.2%)	2 (10.8%)	-	-
Ile de Thau	-	2 (48%)	-	-	1 (52%)	-	-

Tableau 59 : Hiérarchisation des sources de pollution par exutoire lagunaire pour l'évènement pluvieux de période de retour 5 ans en saison estivale.

T = 5 ans Saison estivale	Rang (pourcentage de l'apport total à l'exutoire lagunaire)						
	Rejets stations d'épuration	Déversements réseau EU	Rejets ANC & camping	Rejets industriels	Lessivage urbain	Lessivage rural	Relargage stocks-rivières
Grau du XV	-	1 (69.5%)	3 (10.1%)	4 (2%)	2 (18.3%)	5 (0%)	-
Canal du Midi	-	1 (85.2%)	-	-	2 (14.8%)	3 (0.1%)	-
Port de Marseillan	-	1 (67%)	-	-	2 (33%)	3 (0%)	-
Fontanilles	-	1 (91%)	3 (2.2%)	-	2 (6.4%)	4 (0.4%)	-
Soupié	2 (10.1%)	1 (82.6%)	6 (0.2%)	7 (0.1%)	4 (1%)	5 (0.4%)	3 (5.5%)
Mayroual	-	-	1 (71.5%)	2 (14.3%)	-	3 (14.2%)	-
Nègues-Vacques	4 (0.3%)	-	-	-	2 (48.1%)	1 (51.2%)	3 (0.4%)
Aygues-Vacques	2 (11.9%)	-	-	-	1 (81.4%)	4 (1.3%)	3 (5.4%)
Port de Mèze	-	1 (61.3%)	-	-	2 (38.7%)	-	-
Sesquier	-	1 (87.9%)	-	-	2 (12.1%)	3 (0%)	-
Pallas	3 (1.9%)	1 (90.4%)	6 (1%)	-	4 (1.5%)	5 (1.1%)	2 (4.1%)
Bourbou	-	1 (94.8%)	-	-	2 (5.1%)	3 (0.1%)	-
Joncas	-	1 (68.2%)	-	-	2 (30.2%)	3 (1.6%)	-
Moulières	2 (16.2%)	1 (66%)	-	-	3 (9.3%)	5 (1.1%)	4 (7.3%)
Vène	3 (5.6%)	1 (70.7%)	4 (5.4%)	-	5 (4.2%)	6 (1.8%)	2 (12.3%)
Pointe de Balaruc	-	-	-	-	1 (100%)	-	-
Pasteur	-	2 (16.9%)	-	-	1 (83%)	3 (0.1%)	-
Canal du Rhône à Sète	-	1 (69.6%)	3 (1%)	-	2 (29.2%)	4 (0.2%)	-
La Plagette	-	1 (71.3%)	4 (0.1%)	3 (0.1%)	2 (28.4%)	-	-
Ile de Thau	-	2 (22%)	-	-	1 (78%)	-	-

Figure 30 : Apports en E. coli à la lagune pour l'évènement pluvieux de période de retour 5 ans en hors saison.

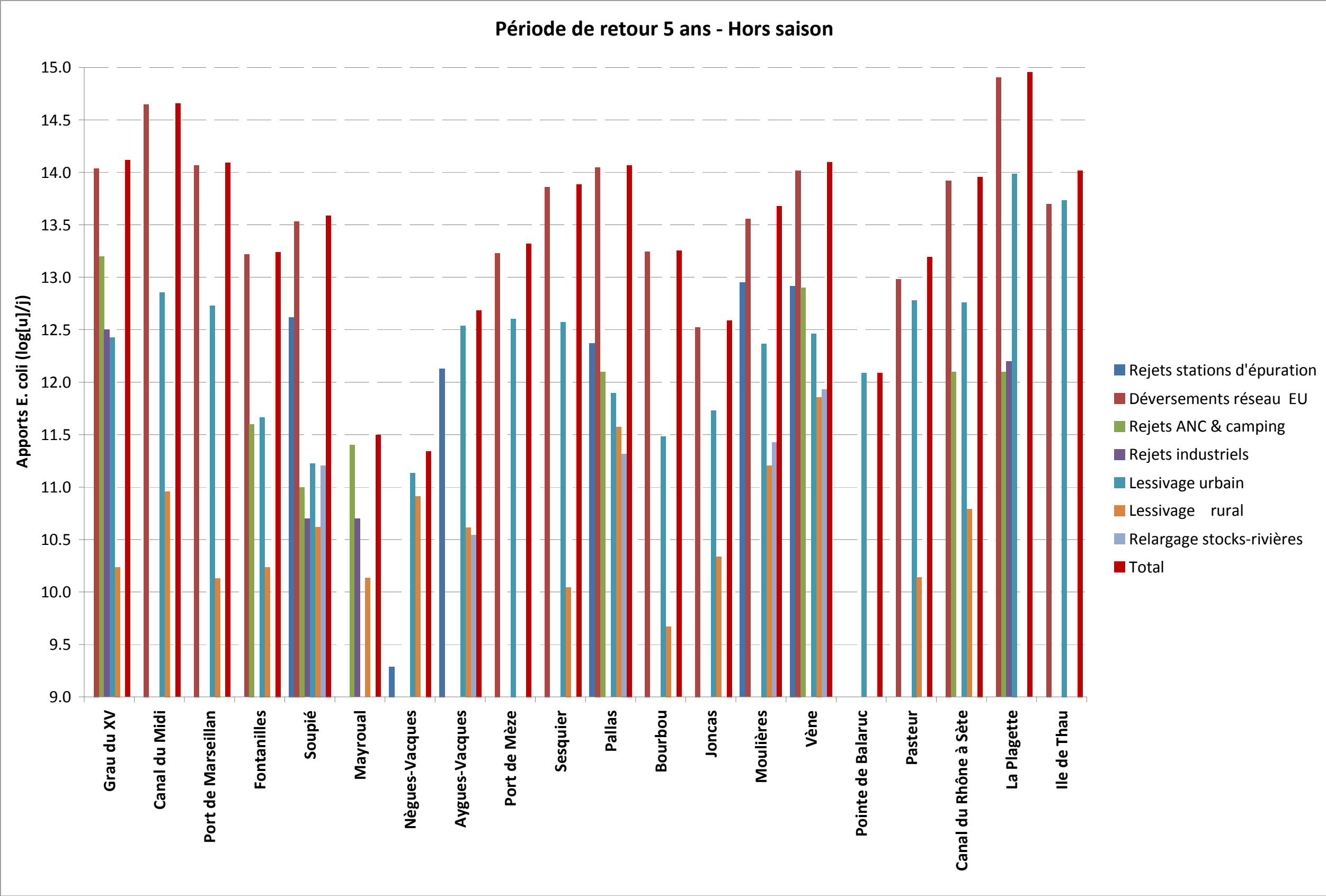
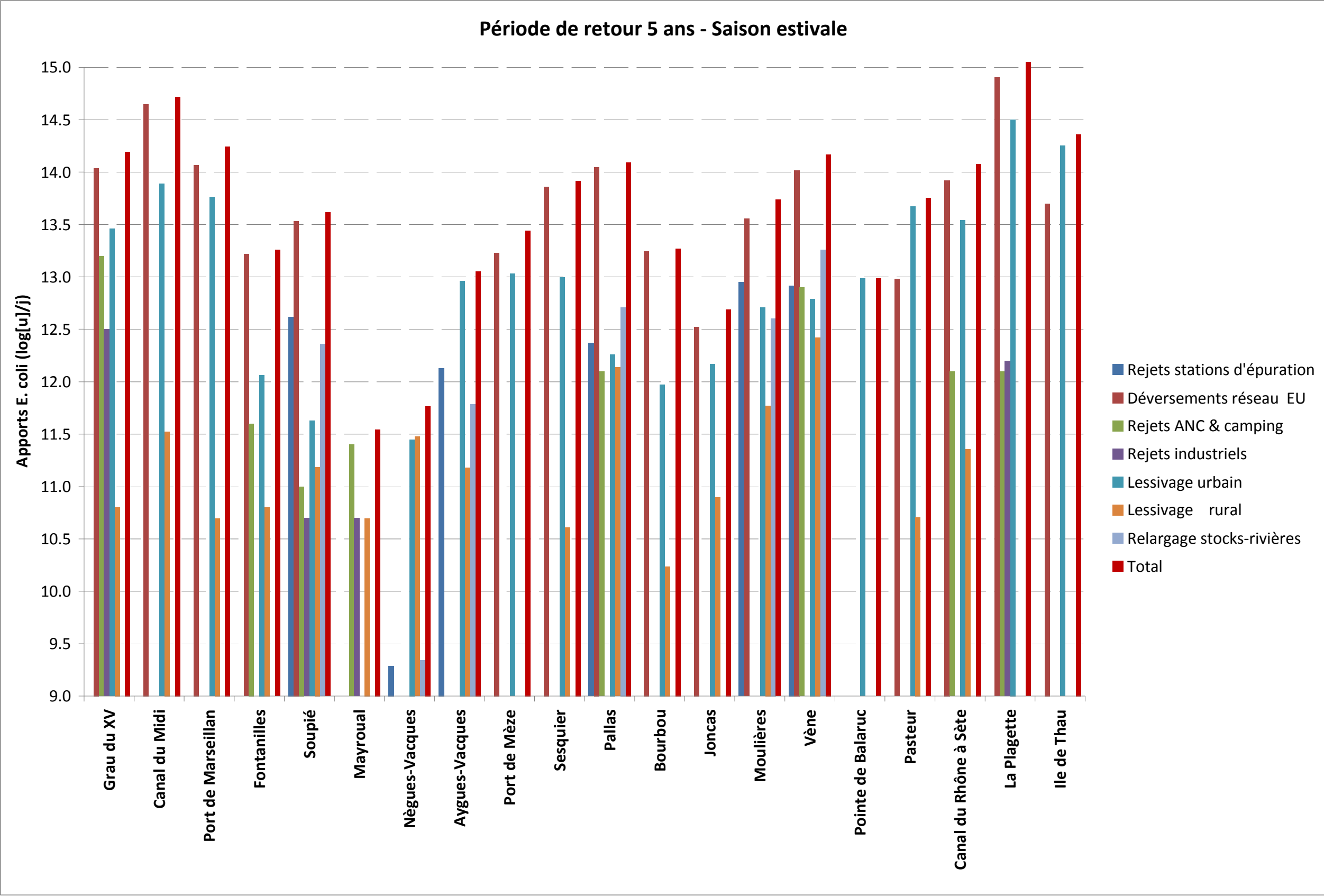


Figure 31 : Apports en E. coli à la lagune pour l'évènement pluvieux de période de retour 5 ans en saison estivale.



6.4.2 Hiérarchisation des exutoires lagunaires par source de pollution

Les tableaux ci-dessous permettent de visualiser la hiérarchisation des exutoires par source de pollution (tri par ordre de contribution décroissante, le rang 1 correspondant à l'exutoire le plus contributeur).

Tableau 60 : Hiérarchisation des exutoires lagunaires par source de pollution pour l'évènement pluvieux de période de retour 5 ans – hors saison.

T = 5 ans Hors saison	Rang							Total
	Rejets stations d'épuration	Déversements réseau EU	Rejets ANC & camping	Rejets industriels	Lessivage urbain	Lessivage rural	Relargage stocks-rivières	
Grau du XV	-	5	1	1	11	10	-	3
Canal du Midi	-	2	-	-	3	4	-	2
Port de Marseillan	-	3	-	-	6	14	-	5
Fontanilles	-	14	6	-	16	11	-	14
Soupié	3	11	8	3	18	7	4	11
Mayroual	-	-	7	3	-	13	-	19
Nègues-Vacques	6	-	-	-	19	5	6	20
Aygues-Vacques	5	-	-	-	9	8	5	16
Port de Mèze	-	13	-	-	7	-	-	12
Sesquier	-	8	-	-	8	15	-	9
Pallas	4	4	3	-	14	2	3	6
Bourbou	-	12	-	-	17	16	-	13
Joncas	-	16	-	-	15	9	-	17
Moulières	1	10	-	-	12	3	2	10
Vène	2	6	2	-	10	1	1	4
Pointe de Balaruc	-	-	-	-	13	-	-	18
Pasteur	-	15	-	-	4	12	-	15
Canal du Rhône à Sète	-	7	3	-	5	6	-	8
La Plagette	-	1	3	2	1	-	-	1
Ile de Thau	-	9	-	-	2	-	-	7

Tableau 61 : Hiérarchisation des exutoires lagunaires par source de pollution pour l'évènement pluvieux de période de retour 5 ans –saison estivale.

T = 5 ans Saison estivale	Rang							Total
	Rejets stations d'épuration	Déversements réseau EU	Rejets ANC & camping	Rejets industriels	Lessivage urbain	Lessivage rural	Relargage stocks-rivières	
Grau du XV	-	5	1	1	7	10	-	5
Canal du Midi	-	2	-	-	3	4	-	2
Port de Marseillan	-	3	-	-	4	14	-	4
Fontanilles	-	14	6	-	16	11	-	15
Soupié	3	11	8	3	18	7	4	12
Mayroual	-	-	7	3	-	13	-	20
Nègues-Vacques	6	-	-	-	19	5	6	19
Aygues-Vacques	5	-	-	-	11	8	5	16
Port de Mèze	-	13	-	-	8	-	-	13
Sesquier	-	8	-	-	9	15	-	9
Pallas	4	4	3	-	14	2	2	7
Bourbou	-	12	-	-	17	16	-	14
Joncas	-	16	-	-	15	9	-	18
Moulières	1	10	-	-	13	3	3	11
Vène	2	6	2	-	12	1	1	6
Pointe de Balaruc	-	-	-	-	10	-	-	17
Pasteur	-	15	-	-	5	12	-	10
Canal du Rhône à Sète	-	7	3	-	6	6	-	8
La Plagette	-	1	3	2	1	-	-	1
Ile de Thau	-	9	-	-	2	-	-	3

Remarque : Ces tableaux sont fournis pour une première analyse comparative des quantités de pollution apportées par chaque exutoire. La hiérarchisation définitive des exutoires vis à vis de la pollution des zones conchylicoles doit se faire sur la base d'un croisement de ces informations avec la sensibilité de chaque exutoire vis à vis de la lagune, obtenue au travers des calculs faits avec le modèle « lagune », en vue de la détermination des valeurs-seuil de pollution admissibles pour chaque exutoire ou groupe d'exutoires. En effet, certains exutoires plus éloignés présentant des pollutions importantes (exutoires de Sète notamment) pourront se révéler moins sensibles pour la pollution des zones conchylicoles, que des exutoires plus proches apportant une pollution moindre.

Comme pour l'évènement pluvieux de période de retour 2 ans, on voit que cette hiérarchisation par source de pollution est très corrélée avec la précédente par exutoire, les sous-bassins les plus « potentiellement contaminants » sont ceux concernés par les déversements des réseaux d'eaux usées.

7. HYPOTHESES POUR LES SIMULATIONS EN PERIODE DE TEMPS SEC

En période de temps sec, les pollutions bactériologiques en provenance des bassins versants seront principalement les rejets de temps sec des stations d’épuration et les rejets des postes de relevage du fait de pannes.

Les conditions de circulation de la pollution dans la lagune étant dépendantes du volume d’eau douce aux exutoires des bassins versants, il est nécessaire de définir des hydrogrammes pour les apports de temps sec. Comme pour les hydrogrammes en temps de pluie, ces hydrogrammes sont utilisés en entrée du modèle « lagune » pour définir les niveaux-seuils de pollution entraînant une contamination des zones conchyliques.

Ces hydrogrammes ont été définis à partir des hypothèses suivantes :

- débit d’eaux usées rejeté par les PR en cas de panne d’une durée de 4 heures : pour chaque exutoire, on a considéré arbitrairement une panne du ou des PR de tête et d’un ou deux autres PR impactant le même exutoire,
- débit de temps sec en sortie des STEP,
- débit de base du cours d’eau en période d’étéage : un débit de base a été pris en compte uniquement pour la Vène (100 l/s) et le Pallas (7 l/s).

Ces hydrogrammes ont par conséquent une durée de 4 heures, pendant laquelle on considère un débit constant.

Les résultats obtenus à partir des simulations du modèle « lagune » en terme de seuils de flux polluants par exutoire en période de temps sec seront ensuite utilisés pour une analyse de l’incidence des pannes poste par poste, permettant de les hiérarchiser vis à vis du risque de pollution en temps sec.

Les ordres de grandeur des flux de pollution obtenus selon ces hypothèses pour chaque exutoire sont fournis dans le tableau suivant.

Tableau 62 : Flux de pollution calculés aux exutoires du bassin versant en période de temps sec

Exutoires	Volume rejeté (m³)	Rejet log E.Coli	Hypothèses
Grau du XV	1125	14.6	Panne PR Grau du XV
Canal Midi	348	14.1	Panne du PR Boudas
Port Marseillan	202	13.8	Panne du PR Belledouche
Fontanilles	71	13.4	Panne simultanée du PR Tennis et Pomérols
Soupié	152	13.5	STEP Pinet + panne simultanée de PR Pinet
Mayroual	0	0.0	Qmayroual=0 / pas d'autres sources
Nègue-Vaques	5	12.2	Panne du PR Mourre2
Aygue-Vaques	861	14.2	Panne du PR Mourre5+PR Ecosite+ STEP Mèze
Port Mèze	229	13.9	Panne du PR Méditerranée
Sesquier	135	13.7	Panne simultanée des PR Pépin-et Sesquier3
Pallas	337	13.7	Panne du PR Pouzet+Pallas + STEP Villeveyrac / Qpallas=6.9l/s
Bourbou	88	13.5	Panne du PR Eglise
Joncas	63	13.3	Panne PR Tennis
Moulières	322	13.8	Panne PR Lagunage + STEP Poussan-Bouzigues
Vène	1950	13.9	Panne PR Lavadou+ZAE_Gigean+Village Amont+Village+STEP Gigean-Montbazin /Qvène=100l/s
Pointe Balaruc	7	12.3	Panne PR VVF
Pasteur	557	14.3	Panne PR Serpentin
Canal Rhône à Sète	67	13.3	Panne PR Pont
Plagette	2295	14.9	Panne PR Plagette+Pointe courte (déversement direct étang)
Ile Thau	348	14.1	Panne PR Presqu'ile+Pont levis+Quille nord

8. CONCLUSIONS

L'étape 3 du programme Omega Thau a permis de quantifier les différentes sources de pollution en provenance des bassins versants terrestres de l'étang de Thau en temps de pluie.

Les modèles détaillés mis en œuvre pour représenter les différents processus en jeu pour chaque source de pollution bactériologique ont exploité à la fois les données issues des campagnes de mesure 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. 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 celles de l'étape 1.

Ces résultats sont par conséquent tout à fait exploitables pour l'étape ultérieure du programme, qui vise à définir un programme de travaux basé sur une hiérarchisation des sources de pollution vis à vis de la lagune.

Cependant, tout au long de cette étape, les incertitudes associées aux différents modèles et sources de pollution ont été mises en évidence. Ces incertitudes ont différentes origines :

- la modélisation elle-même qui n'est pas parfaite,
- des données partielles, à la fois temporellement et spatialement, avec des événements observés qui sont faibles et un domaine de calage souvent restreint,
- des informations incomplètes, en particulier sur les caractéristiques des postes de relevage et sur les déversements réels ayant eu lieu pendant les campagnes de mesure,
- des hypothèses faites sur certains paramètres.

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 2^{ème} ou 3^{ème} 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).

Remarque : Le calage des stock-rivières a été pénalisé par le manque de campagnes de mesures pour une première crue d'automne, qui a priori est la situation dans laquelle ce relargage est maximal. Les mesures collectées pour des crues antérieures (septembre 2006, septembre 2003) n'ont pas permis d'approfondir la modélisation de ce phénomène du fait de l'importance des rejets des PR de la chaîne de Gigean (rejets qui n'existent plus actuellement du fait des travaux réalisés en 2007).

Entre les pluies de projet de période de retour 2 ans et 5ans, 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*.

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 constante,
- une durée de lessivage efficace d'avanatage constante.

Malgré les faibles différences en termes d'apports en *E. coli*, le traitement de la problématique sera 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.

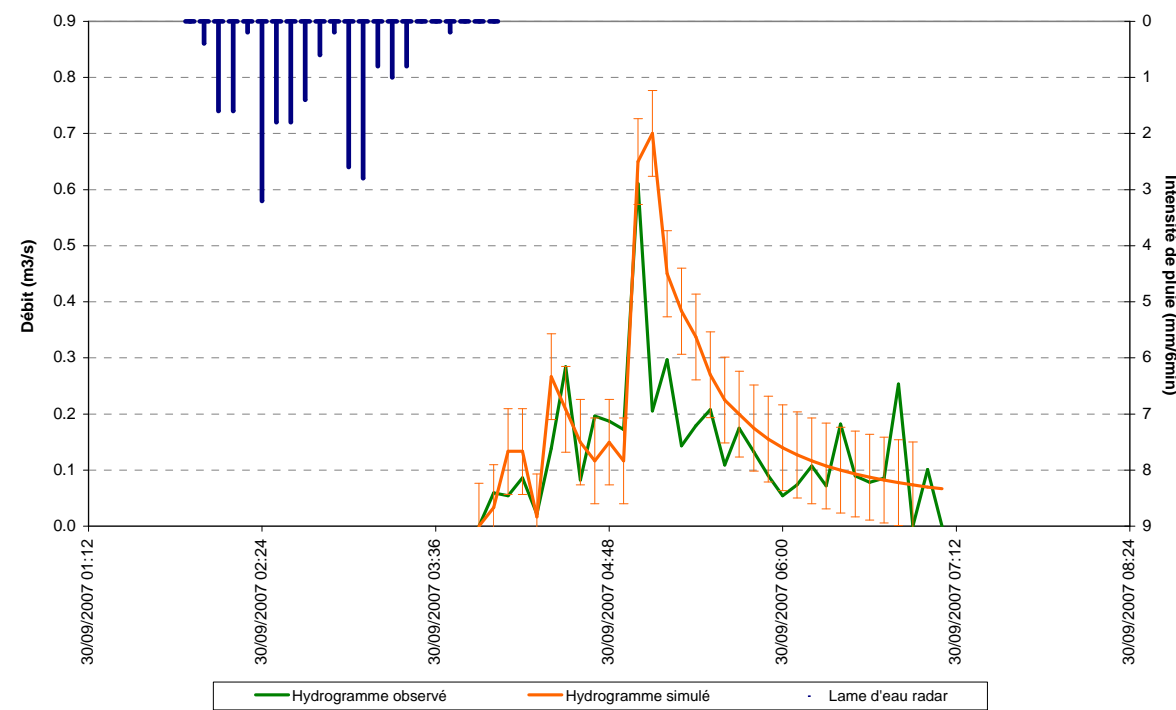
L'analyse des incertitudes évaluées pour chaque processus ne conduit pas à remettre en cause fondamentalement ces conclusions, cependant les écarts relatifs peuvent être modifiés, notamment pour les sources de pollution les plus importantes pour lesquelles les écarts sont relativement faibles pour certains 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 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 à faire 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 pollution des zones conchylicoles.

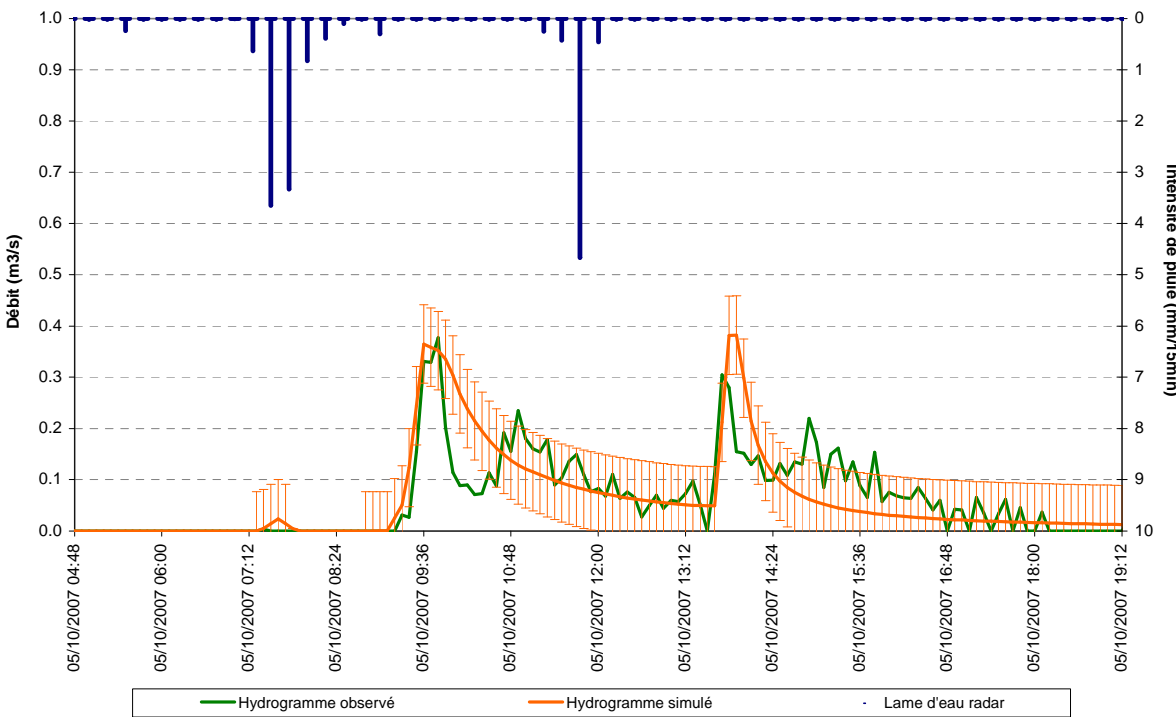
ANNEXE 1 : GRAPHIQUES DE CALAGE – HYDROGRAMMES

P5 – AYGUES-VACQUES

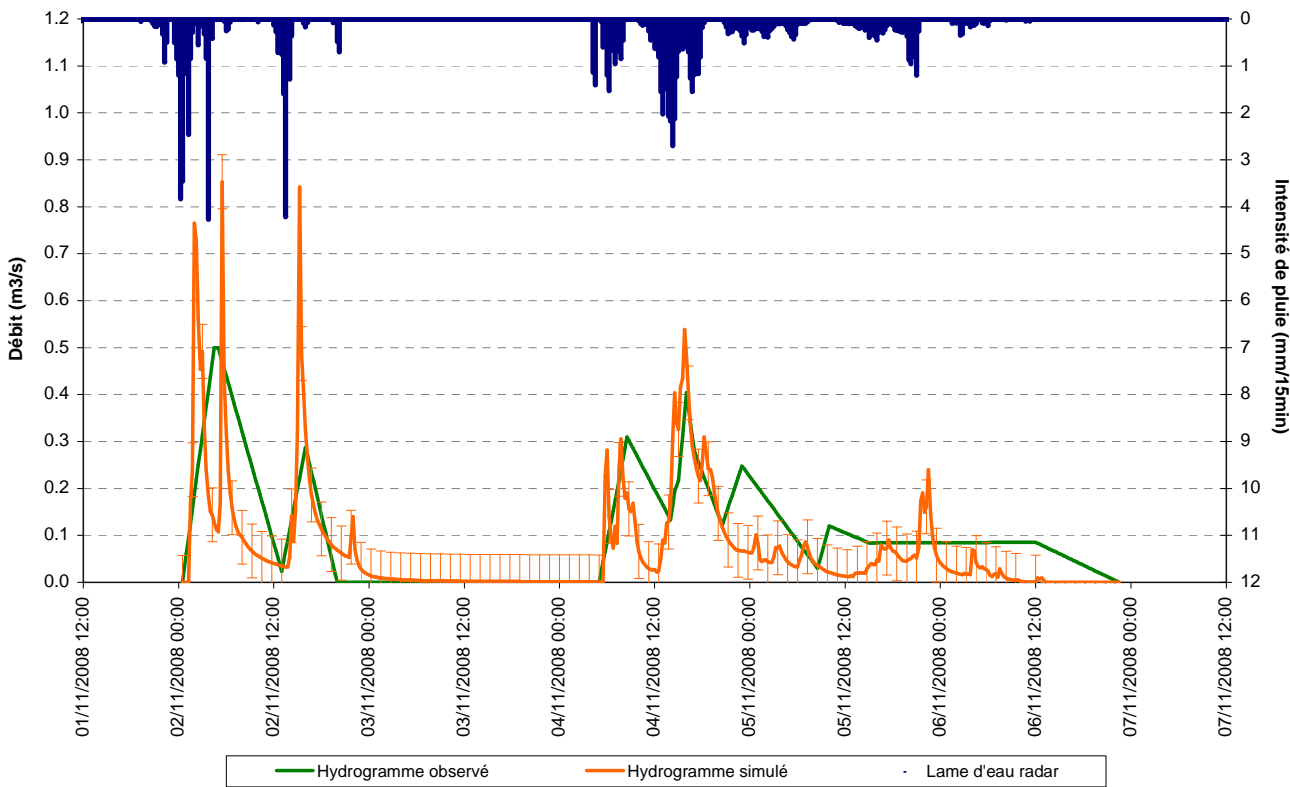
Septembre 2007



Octobre 2007

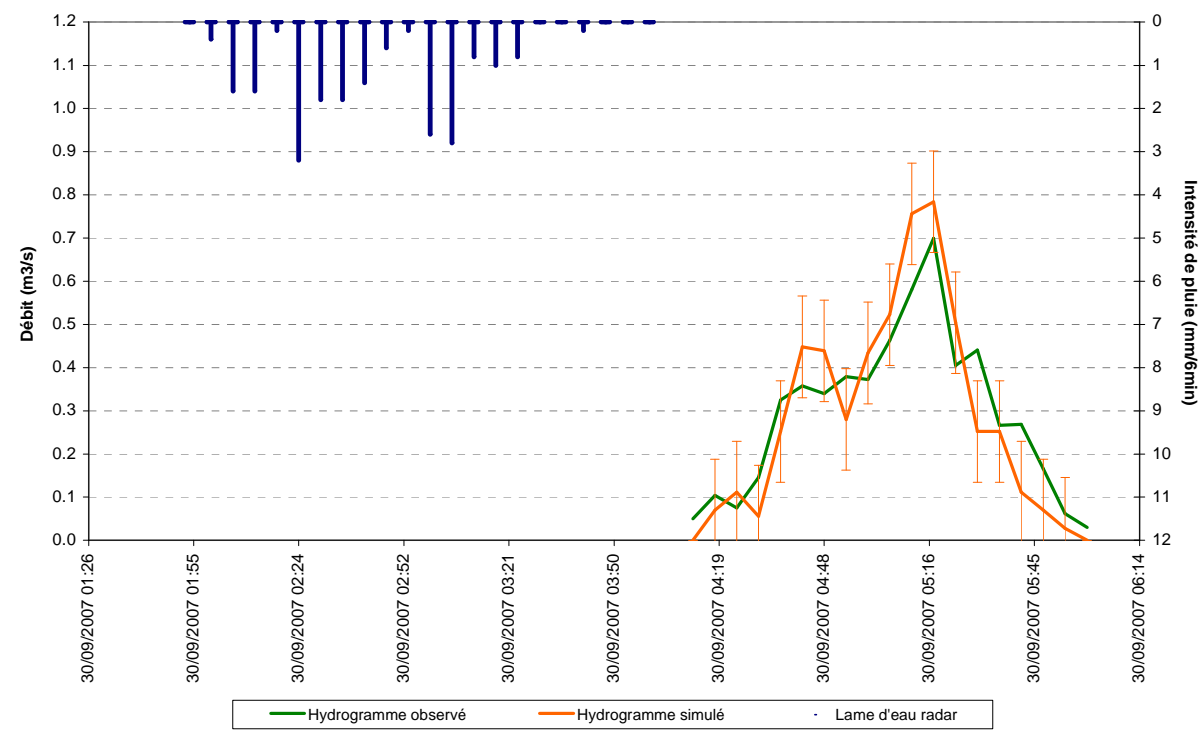


Novembre 2008

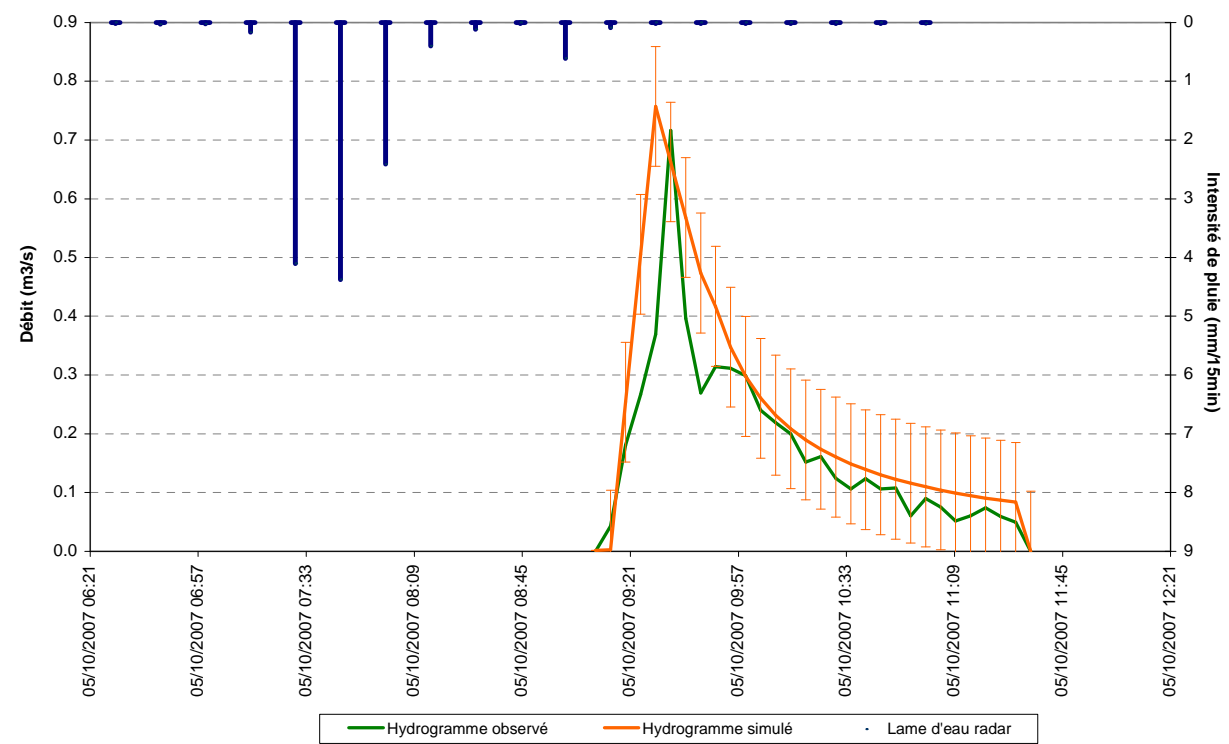


P30 – SESQUIER (1/2)

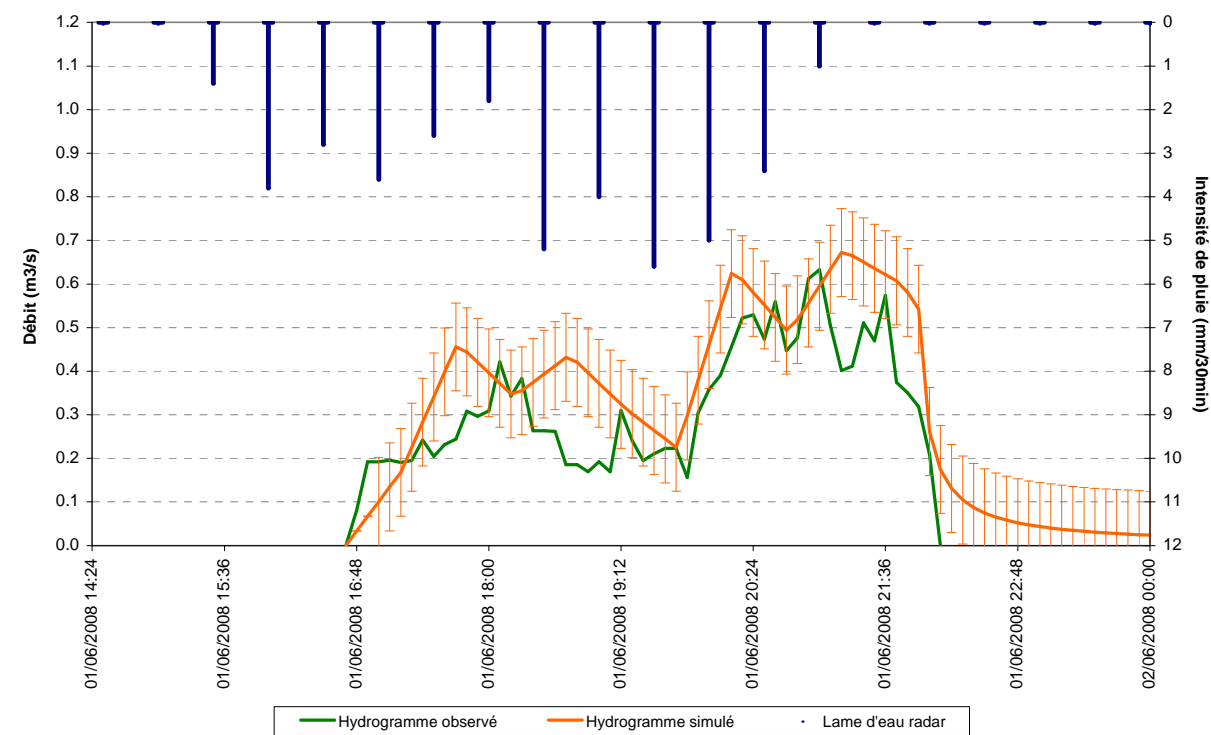
Septembre 2007



Octobre 2007

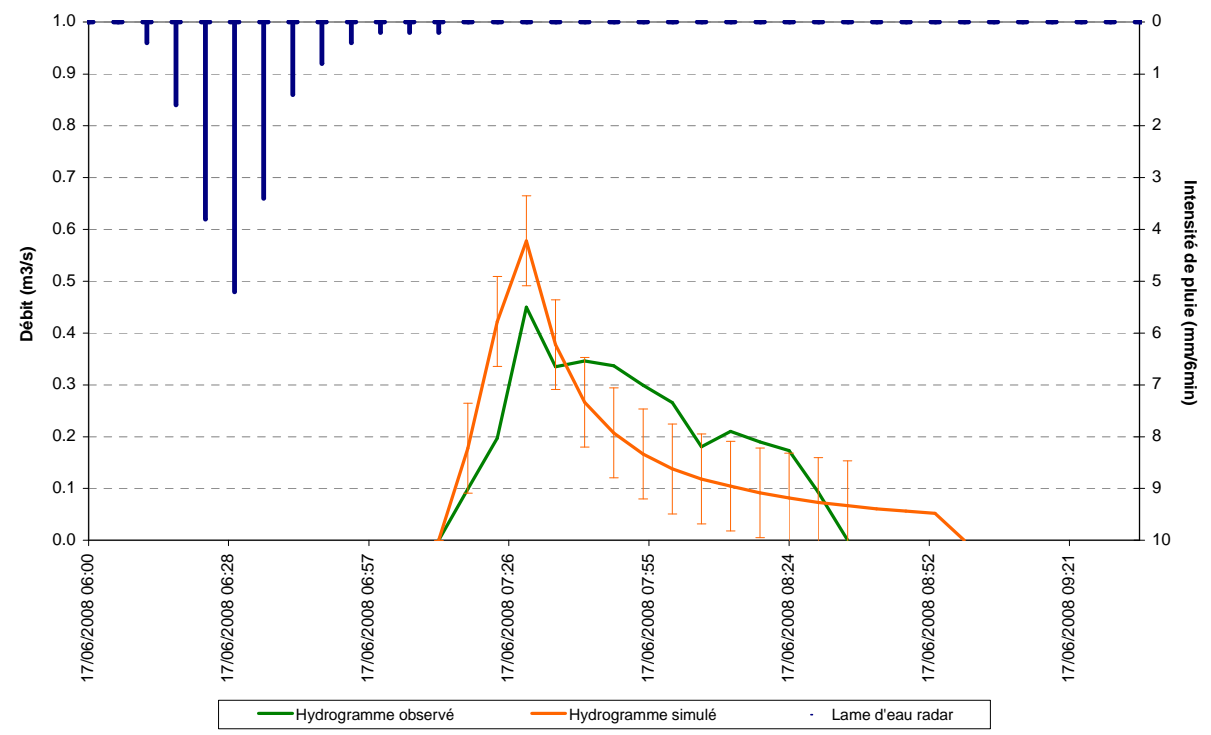


Juin 2008 (1)

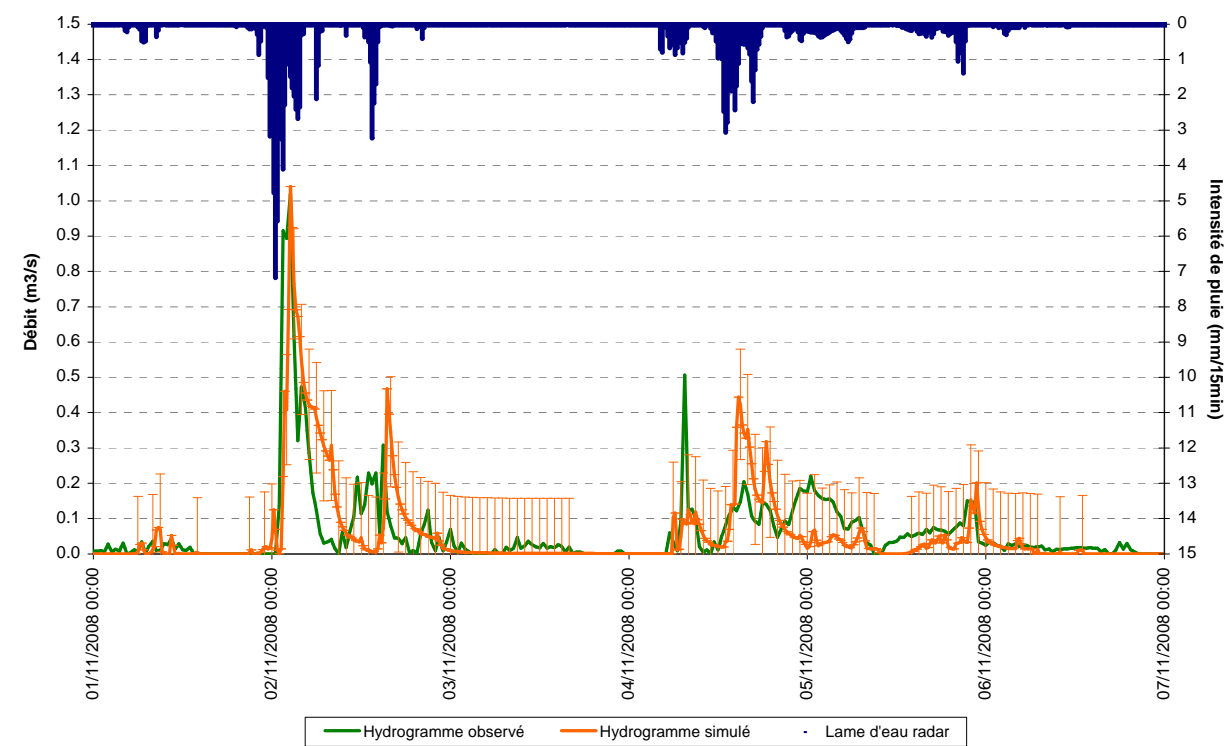


P30 – SESQUIER (2/2)

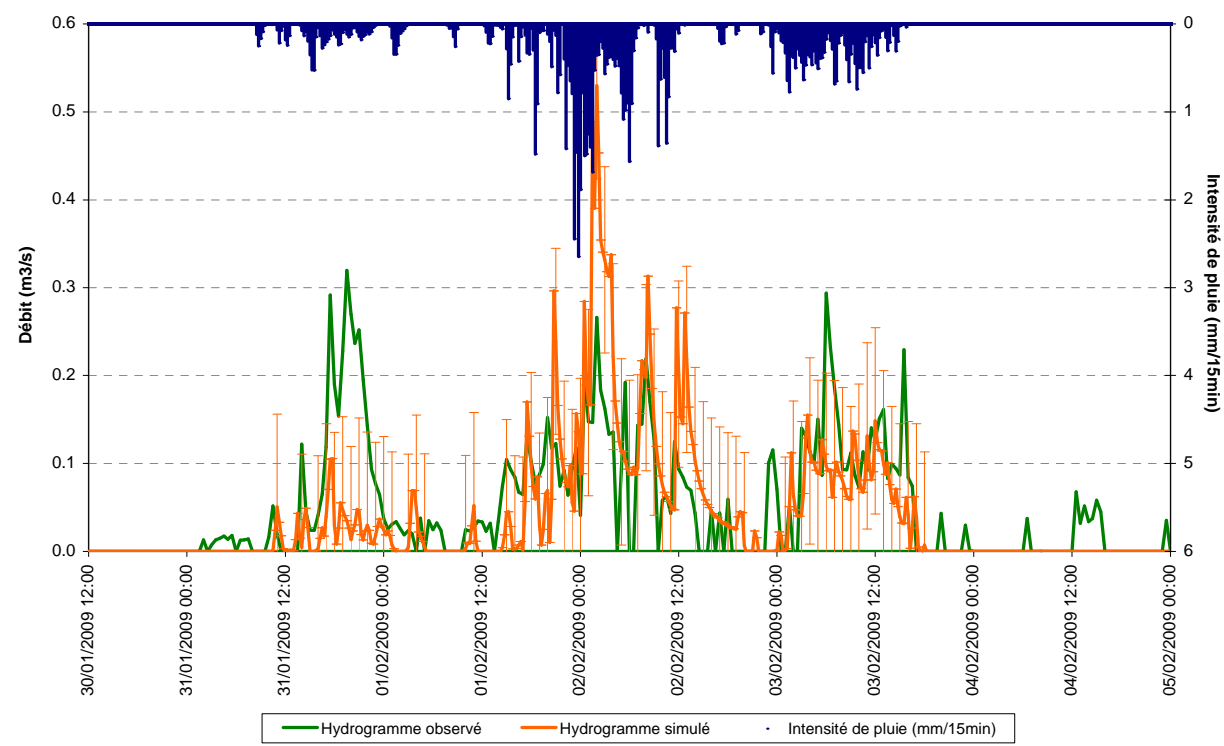
Juin 2008 (2)



Novembre 2008

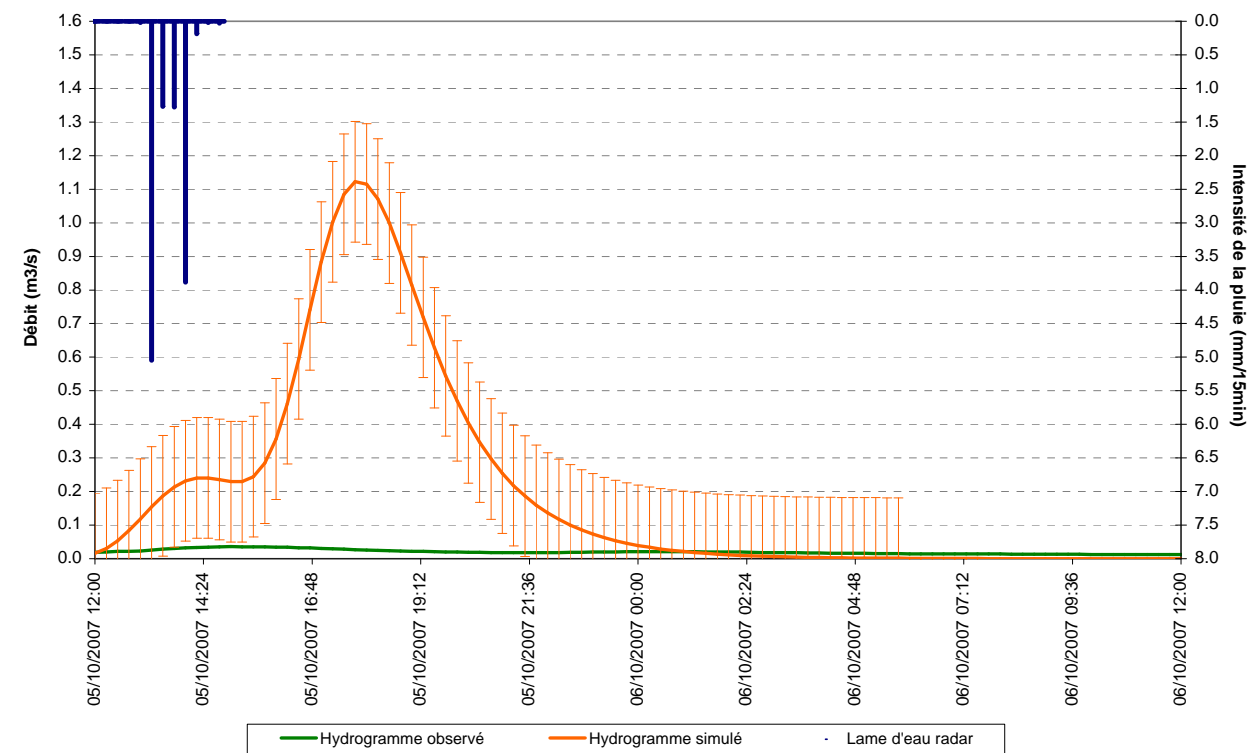


Février 2009

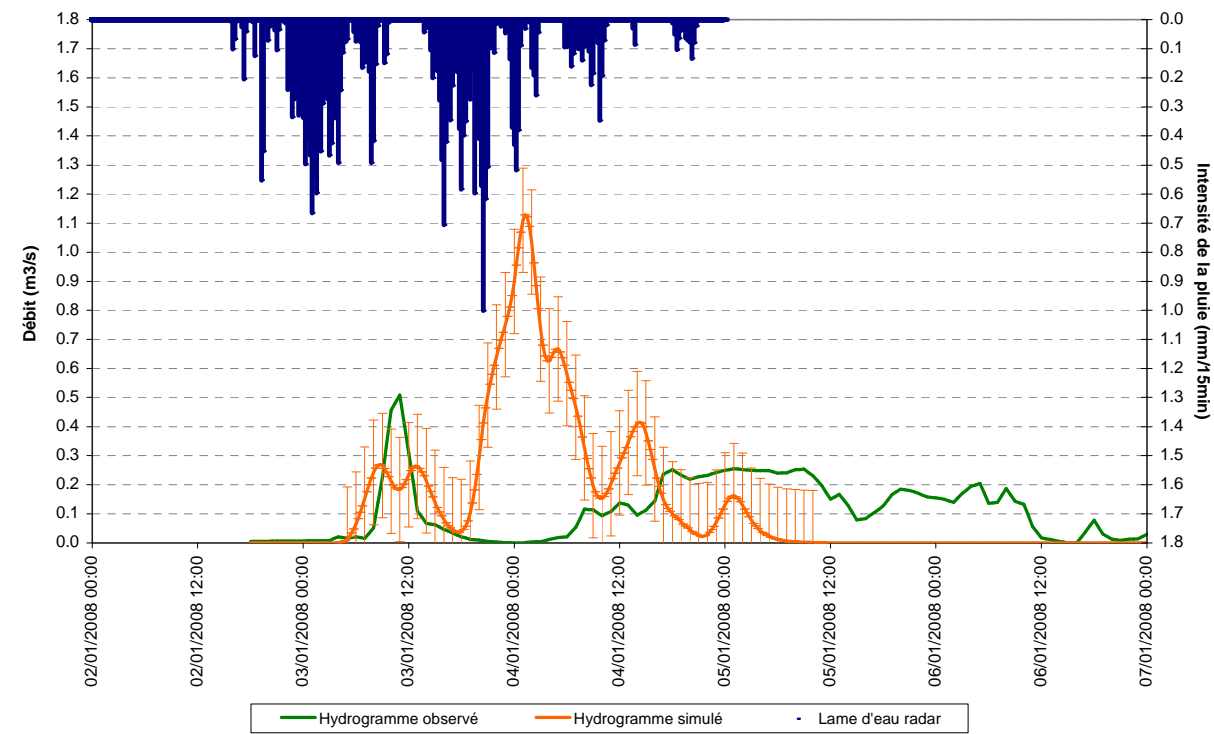


P30BIS – PALLAS (1/2)

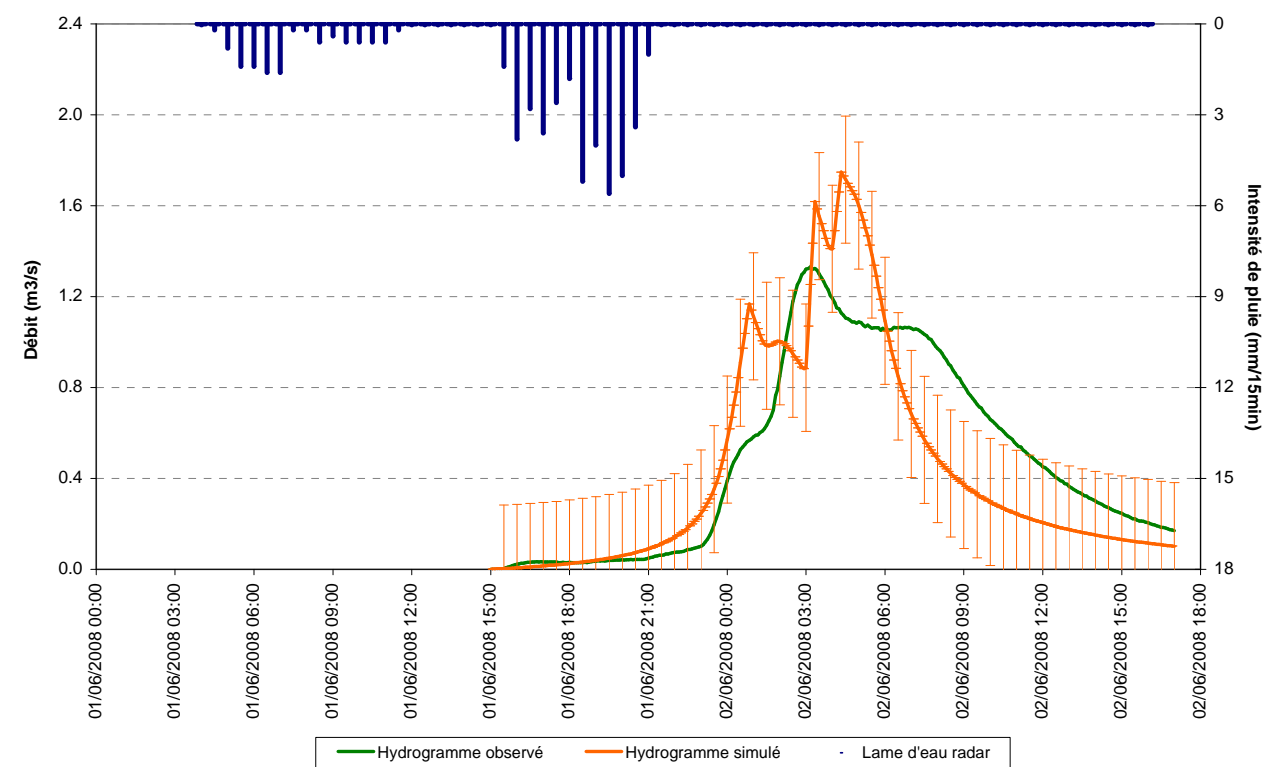
Octobre 2007



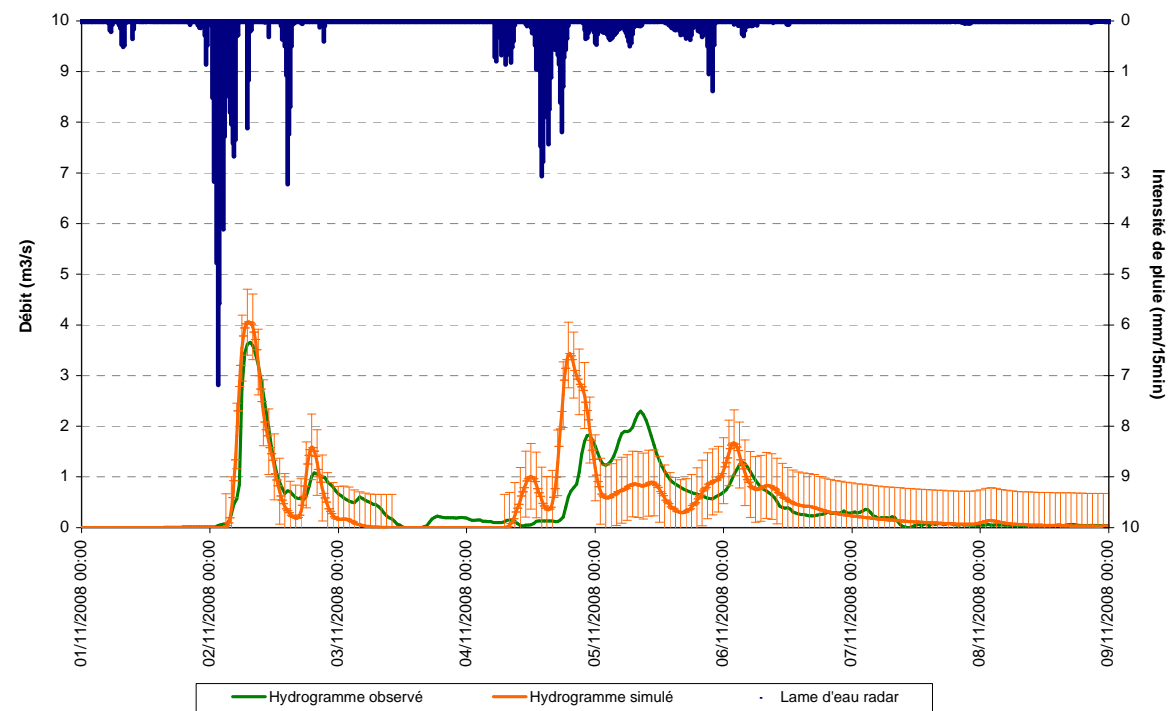
Janvier 2008



Juin 2008

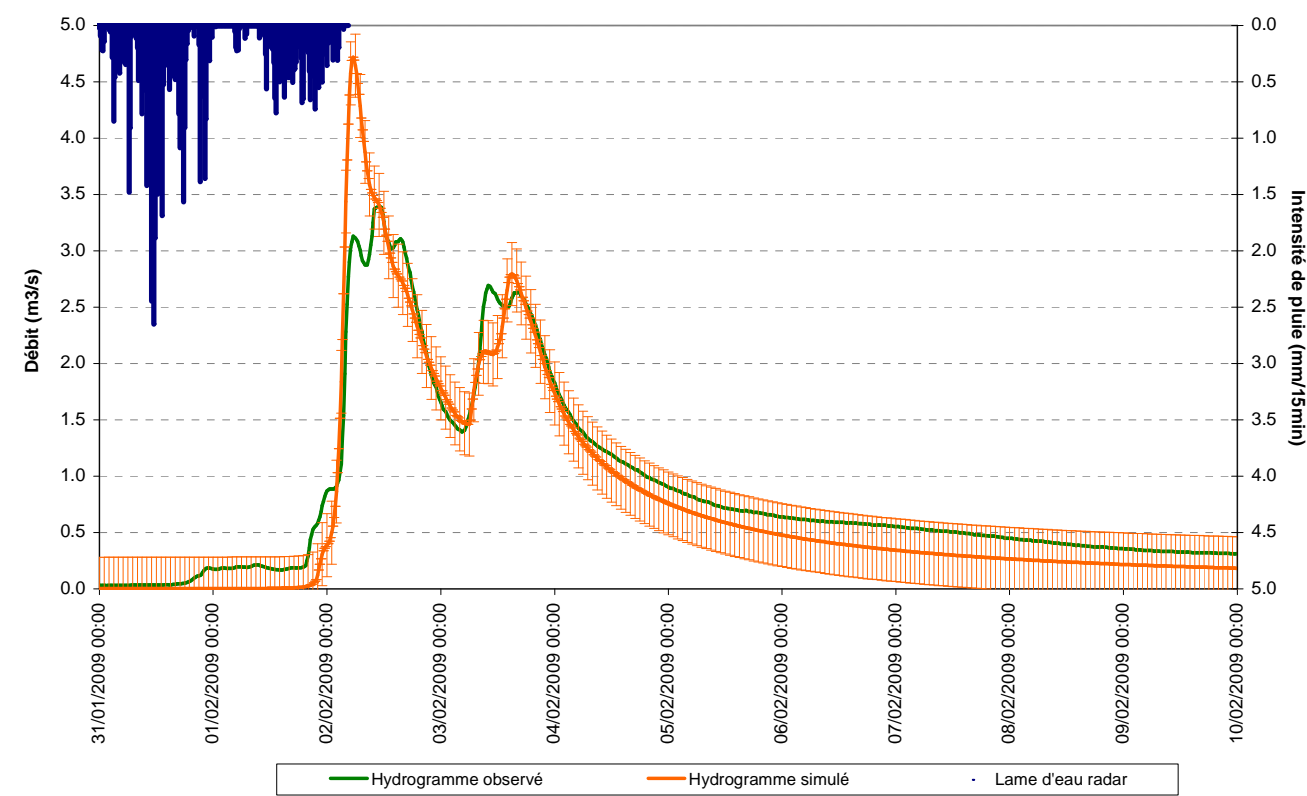


Novembre 2008



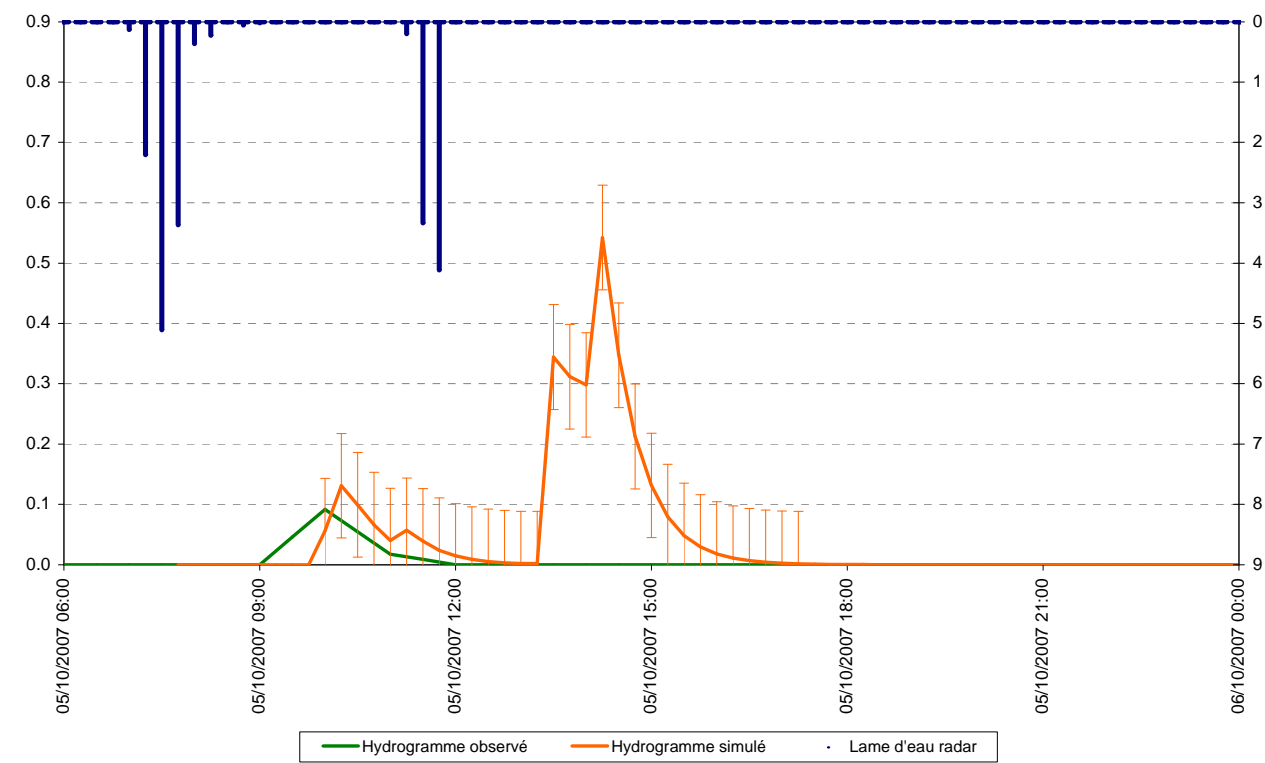
P30BIS – PALLAS (2/2)

Février 2009

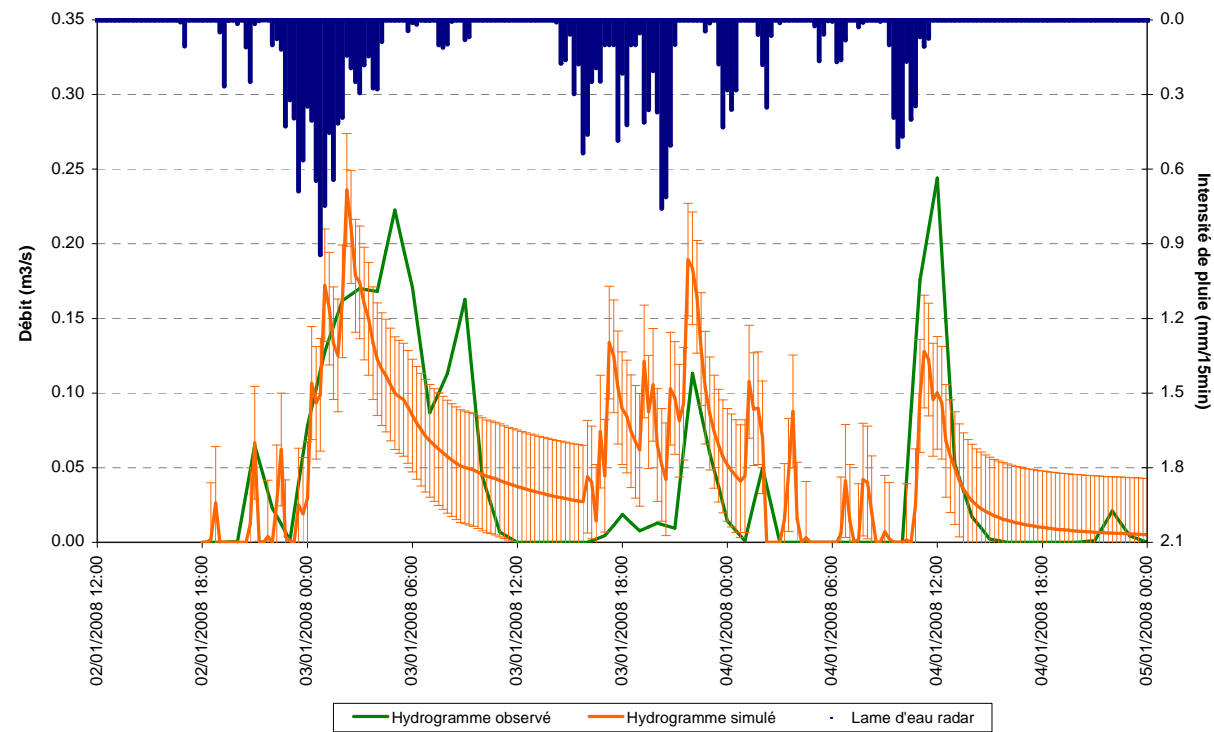


P31BIS – LOUPIAN-BOURBOU

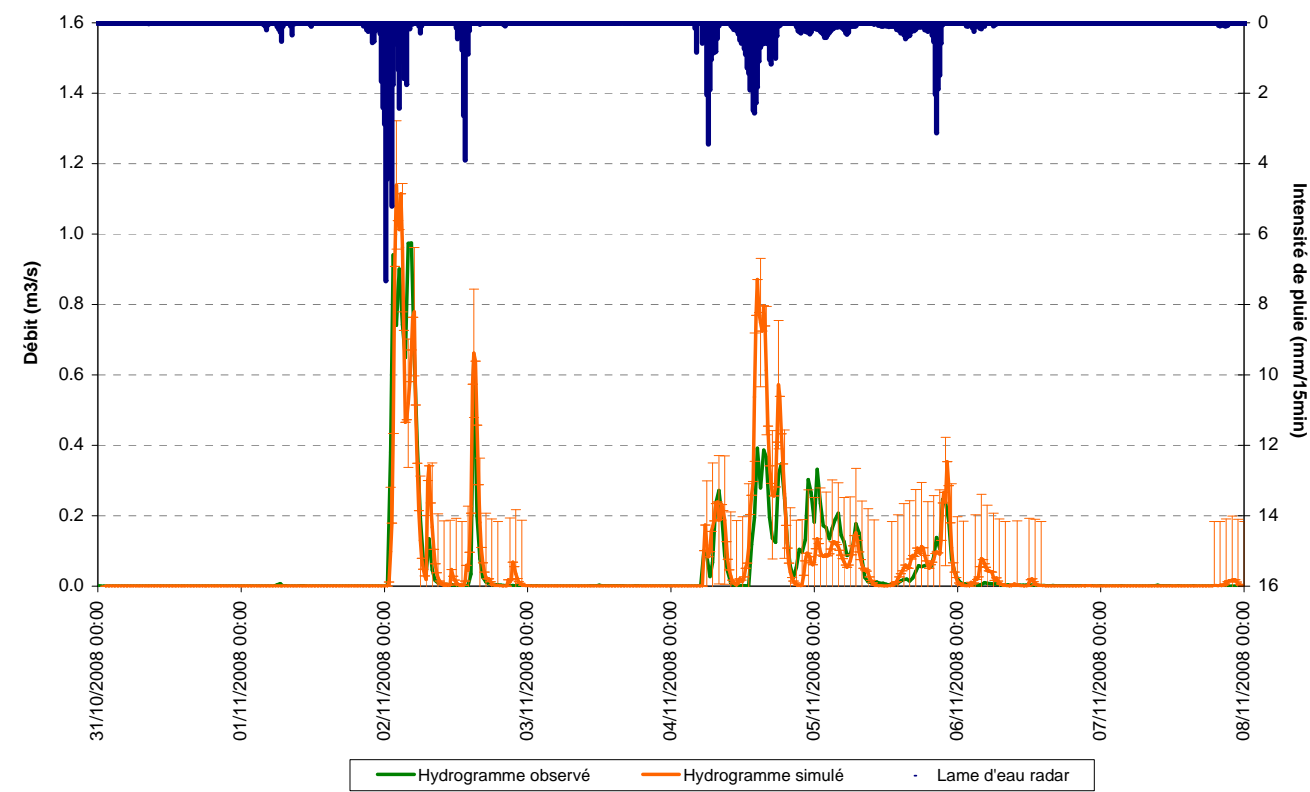
Octobre 2007



Janvier 2008

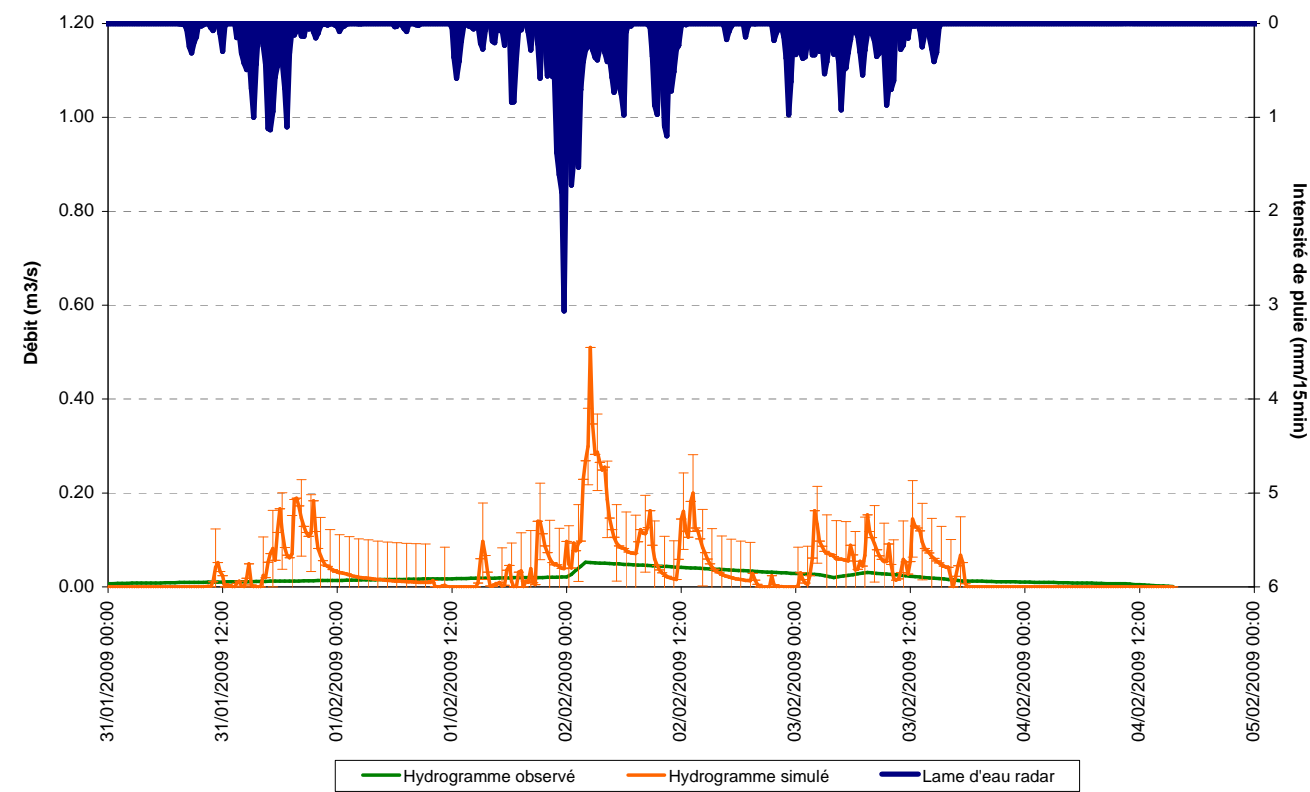


Novembre 2008



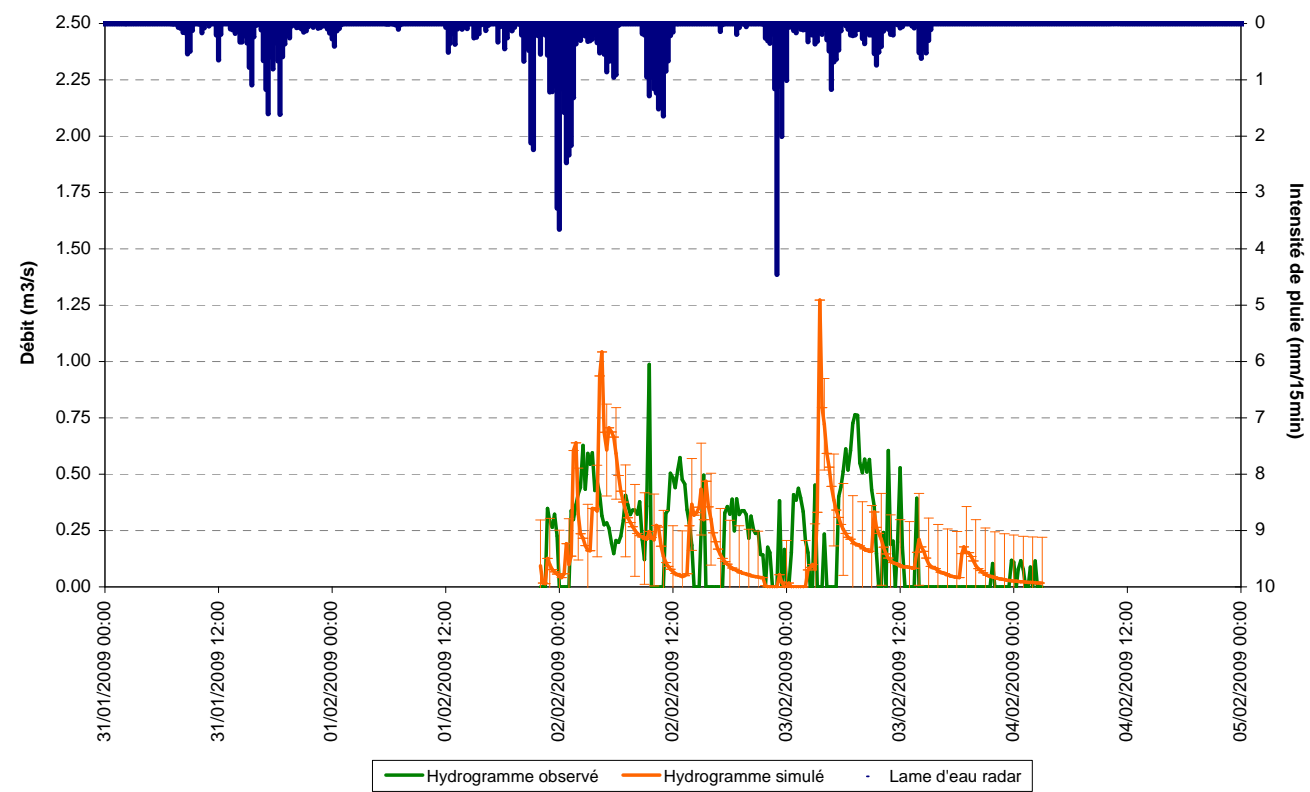
P41 – JONCAS

Février 2009



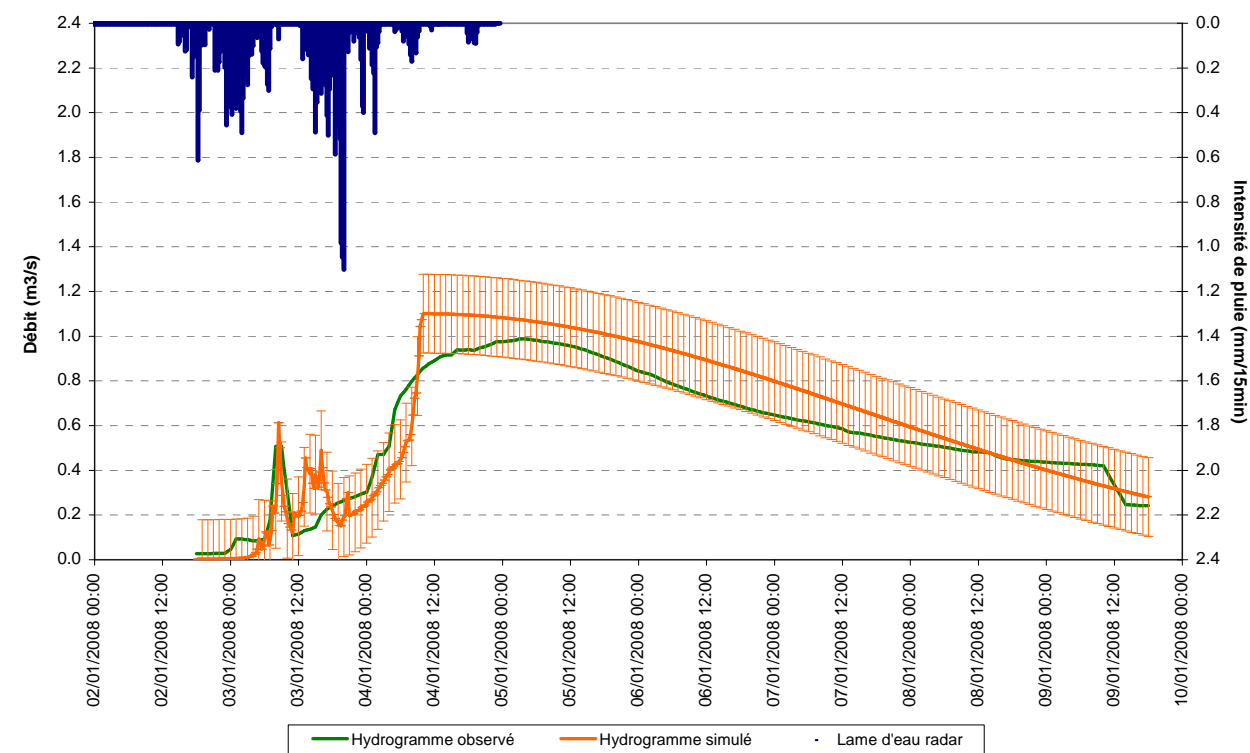
P58 – AGAU

Février 2009

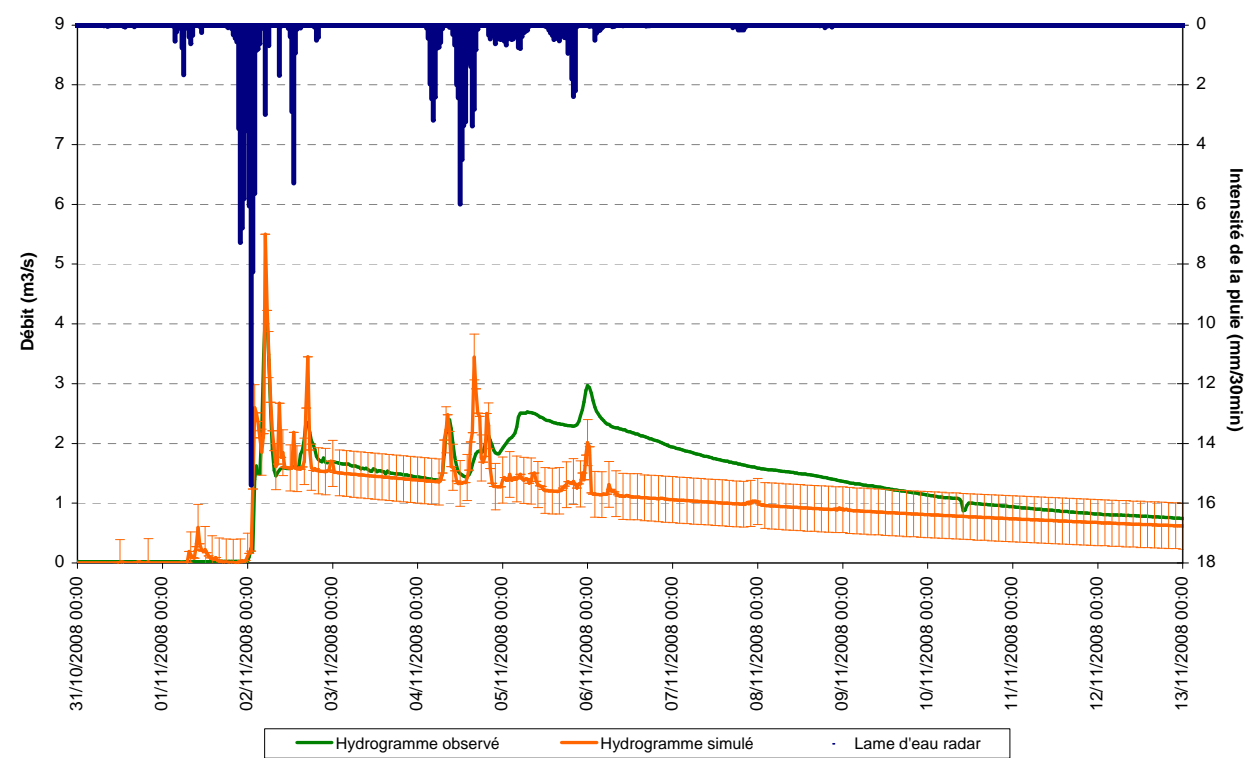


P57TRIA – VENE

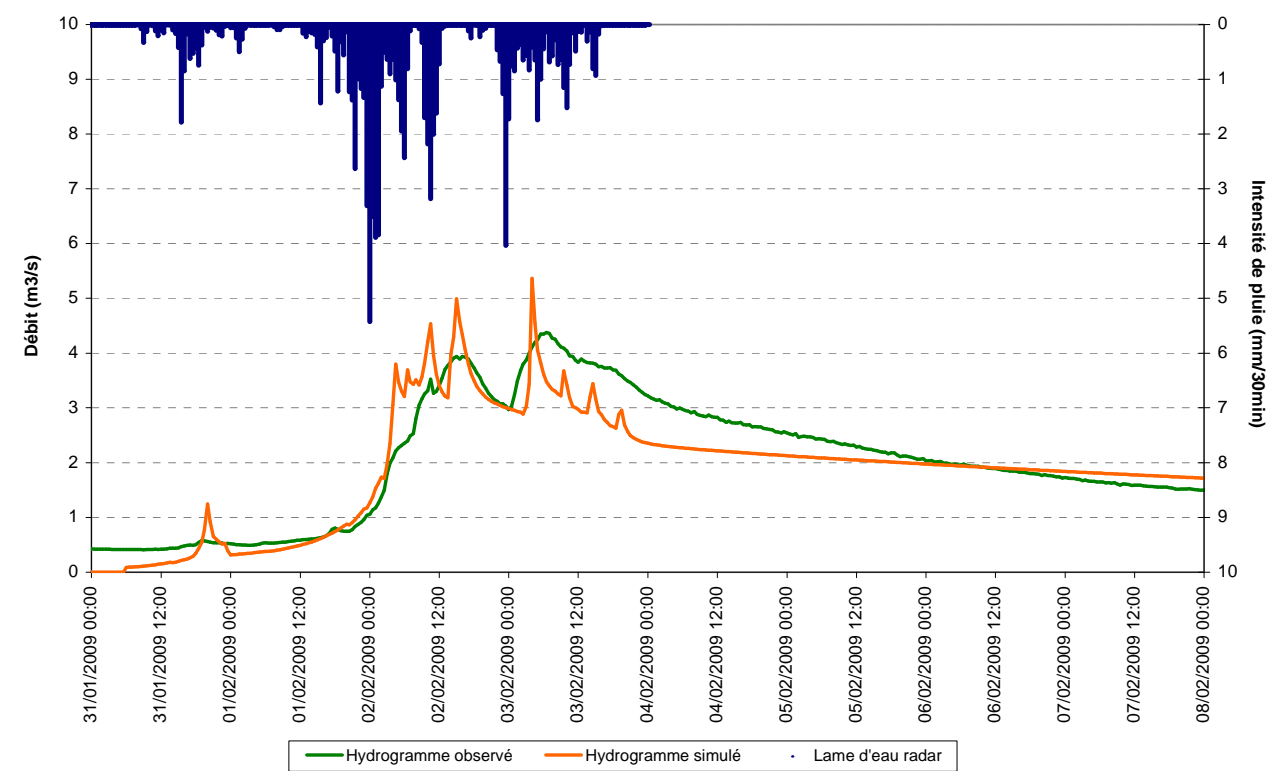
Janvier 2008



Novembre 2008

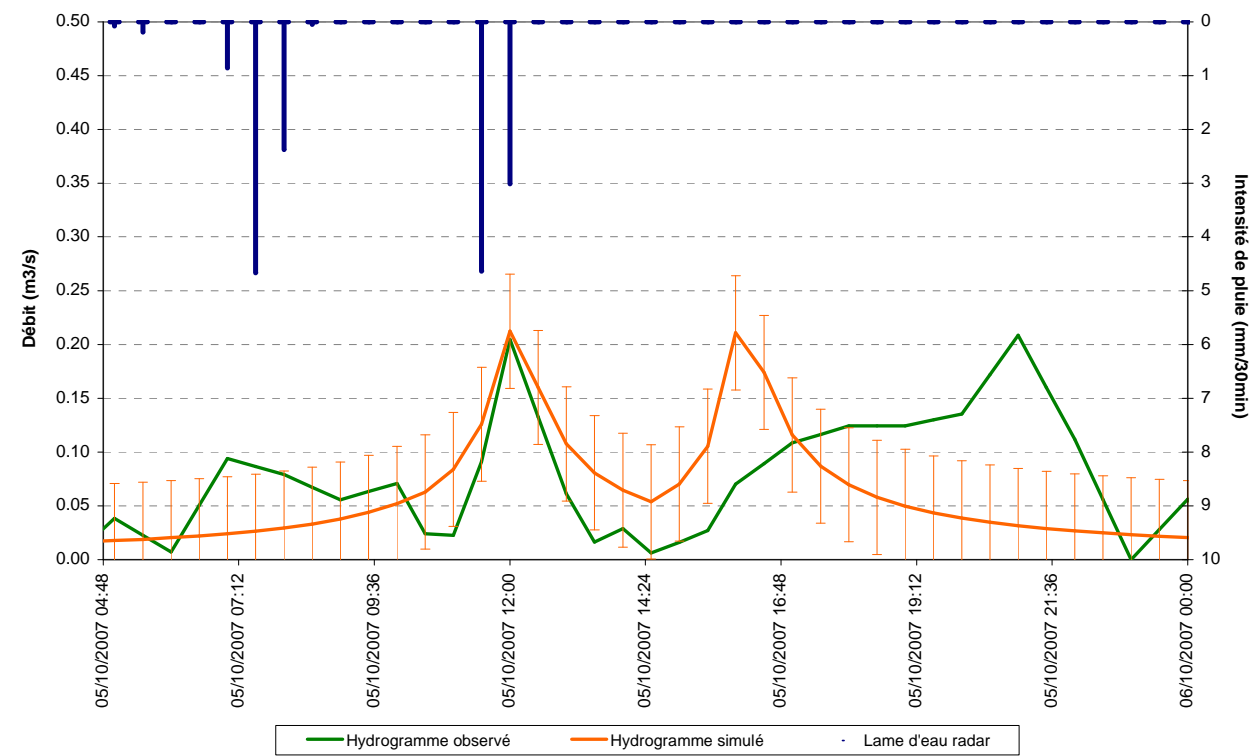


Février 2009

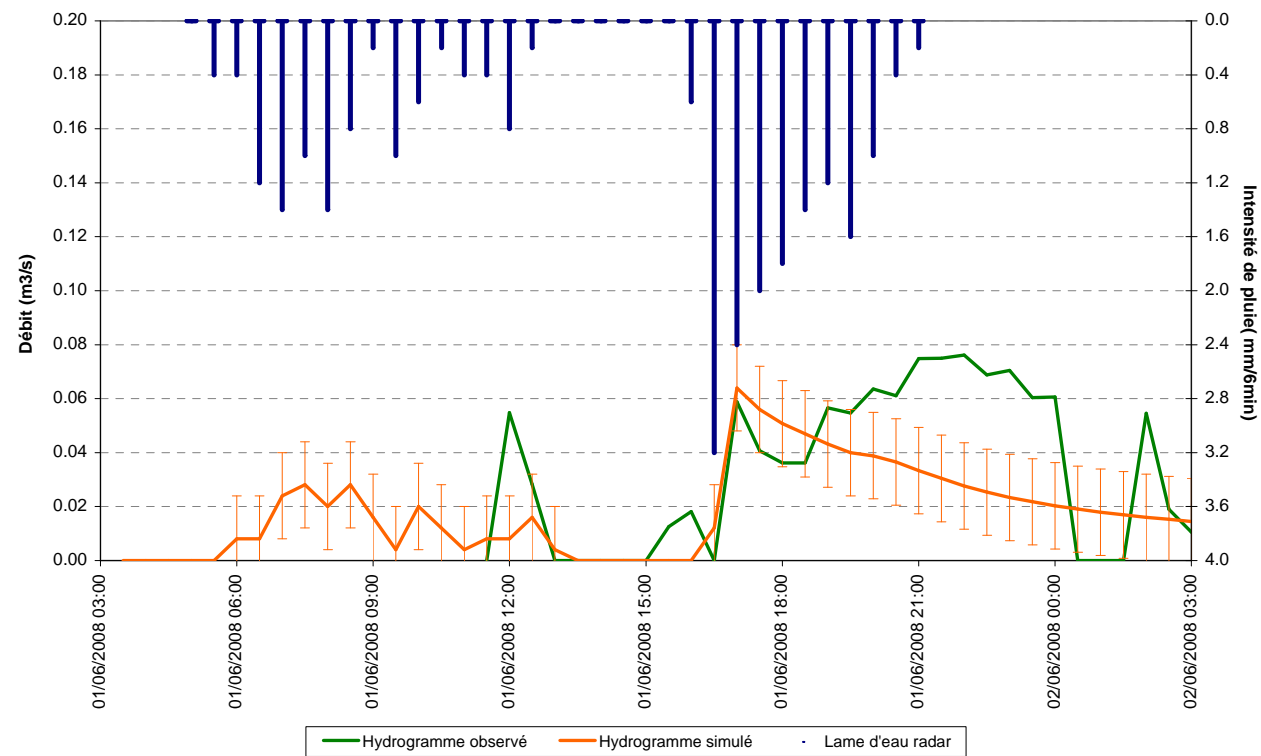


P157 – FONTANILLES (1/2)

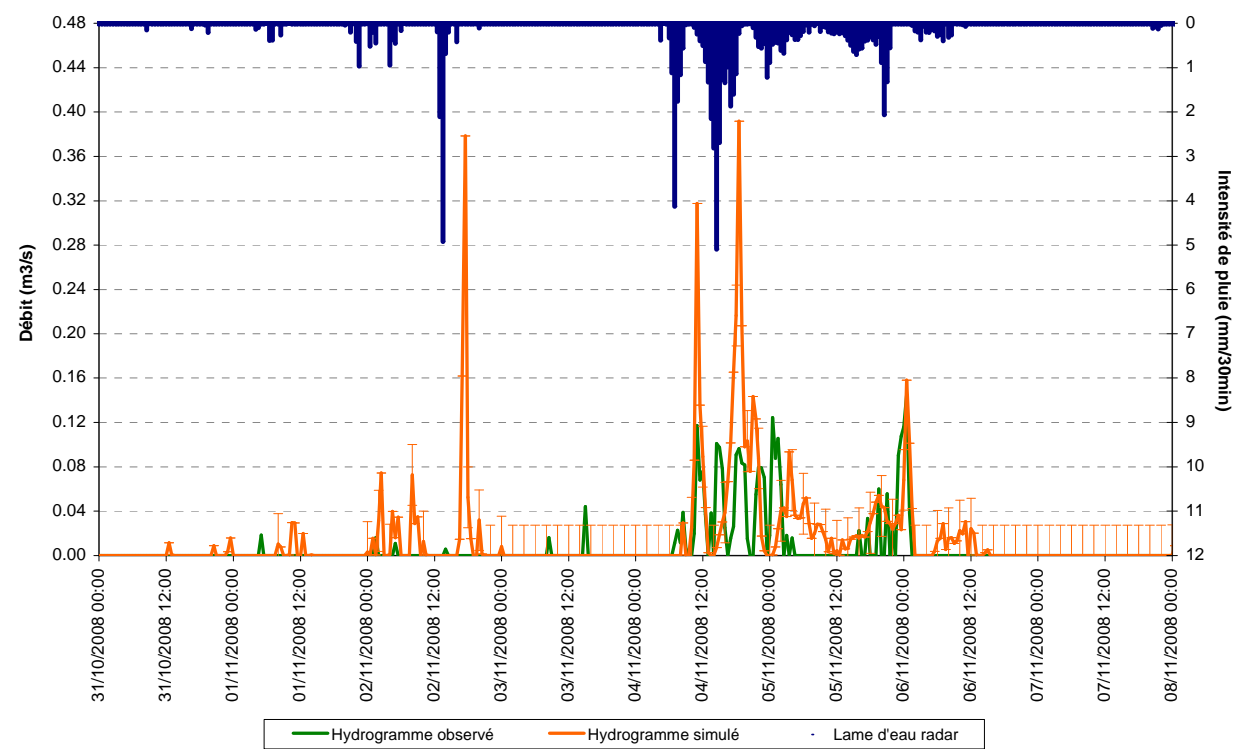
Octobre 2007



Juin 2008



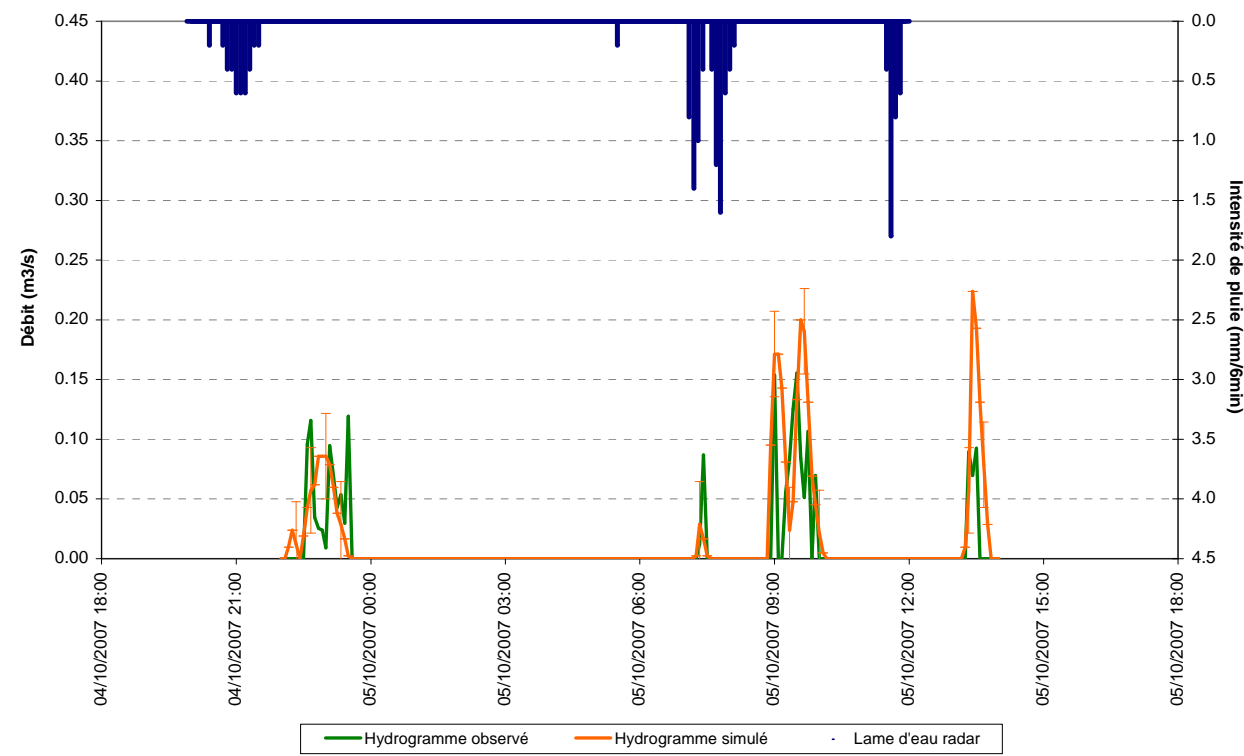
Novembre 2008



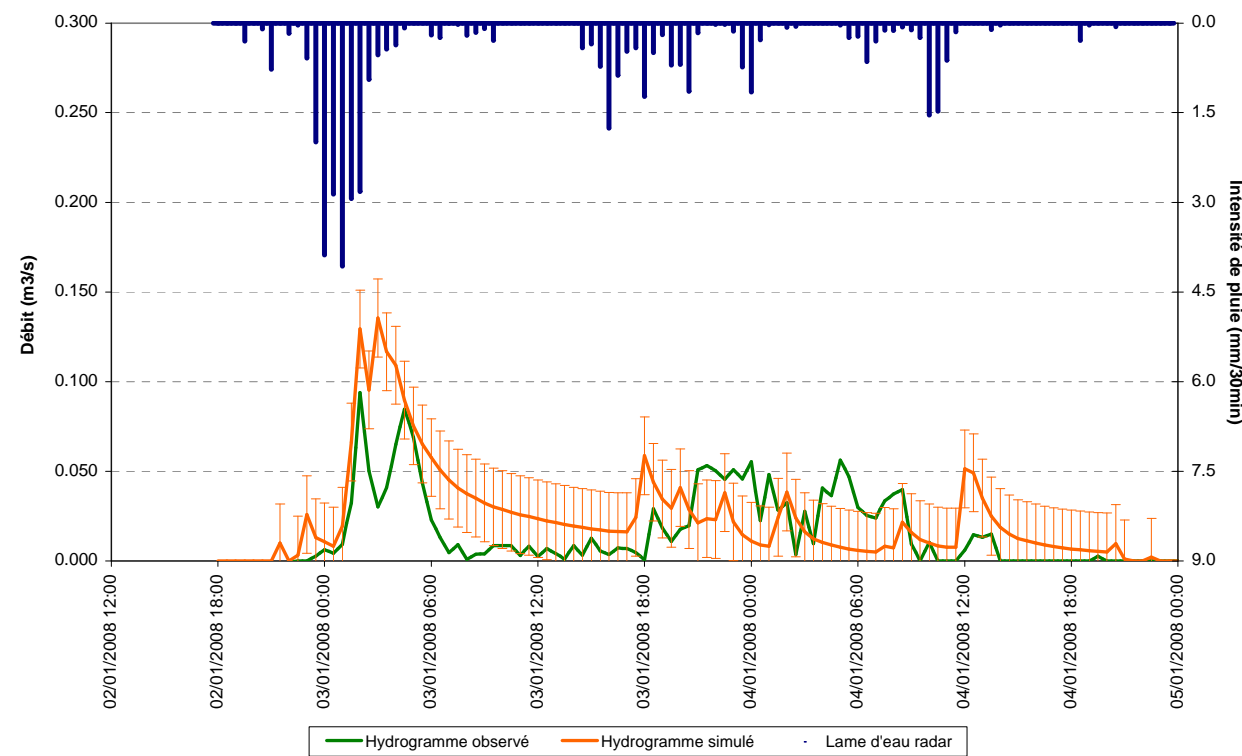
P157 – FONTANILLES (2/2)

P159 – SOUPIE

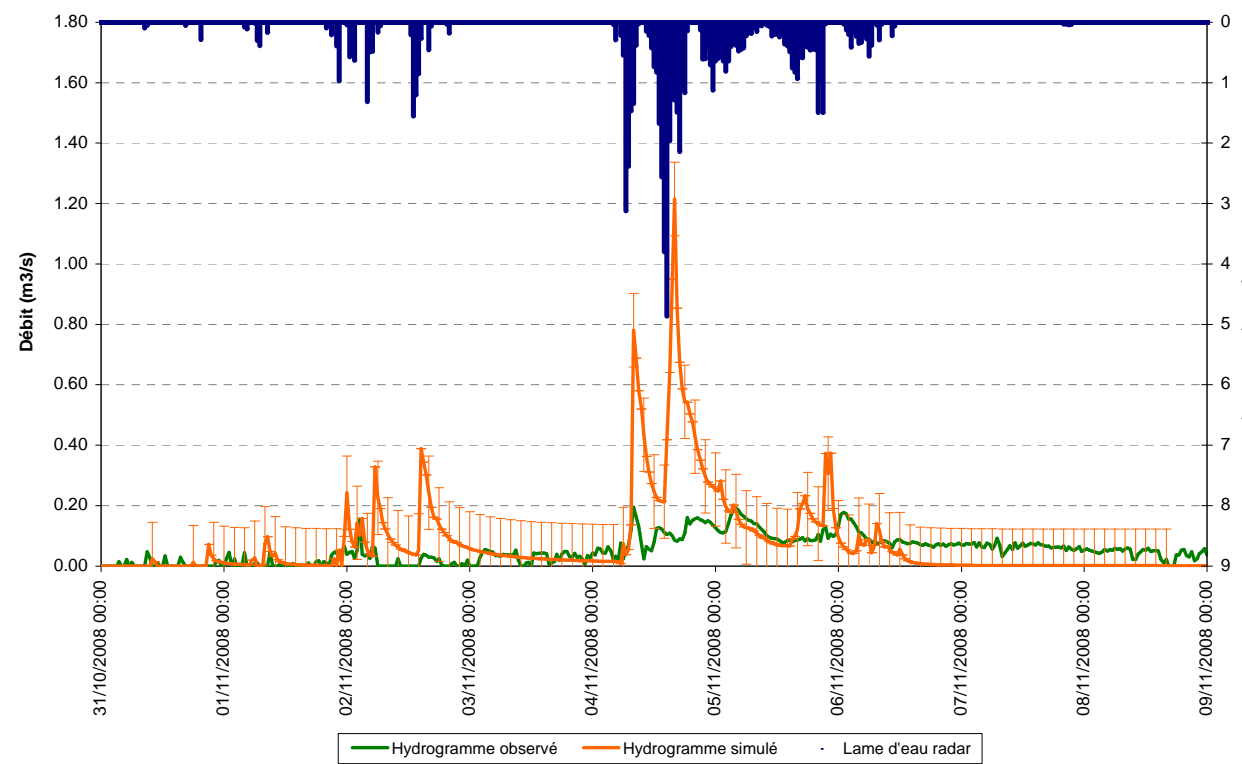
Octobre 2007



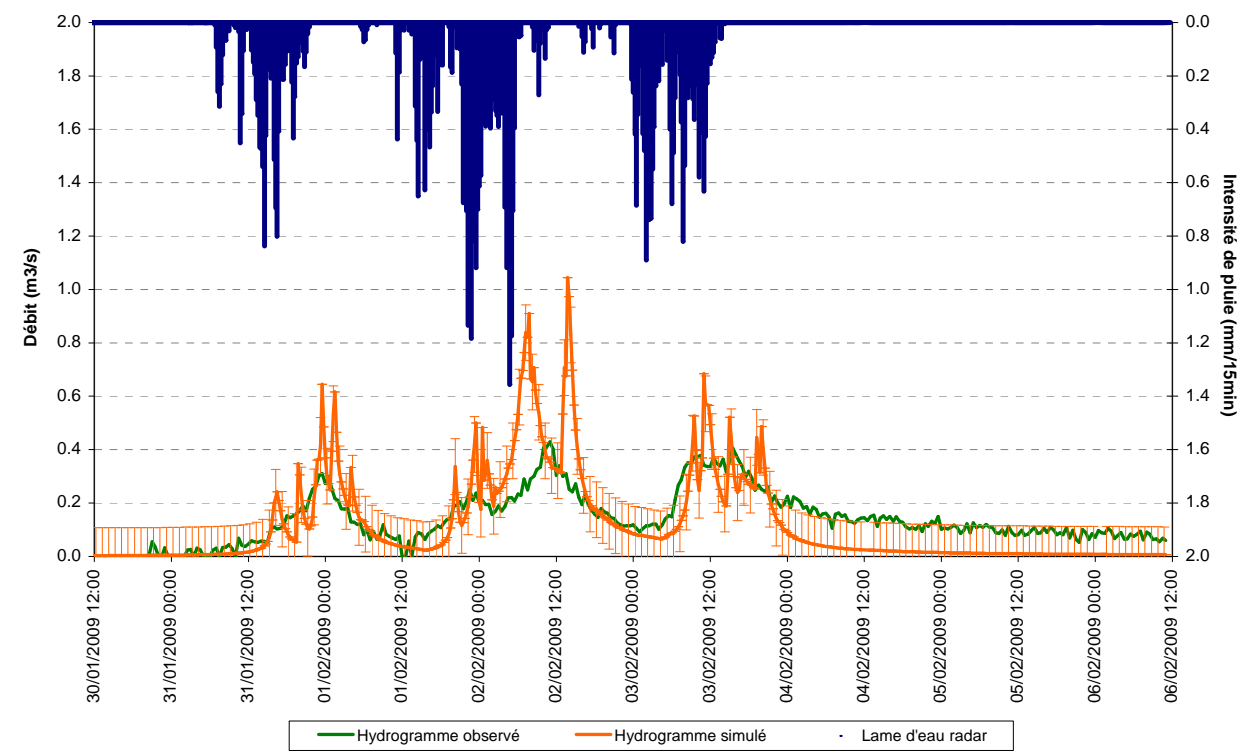
Janvier 2008



Novembre 2008



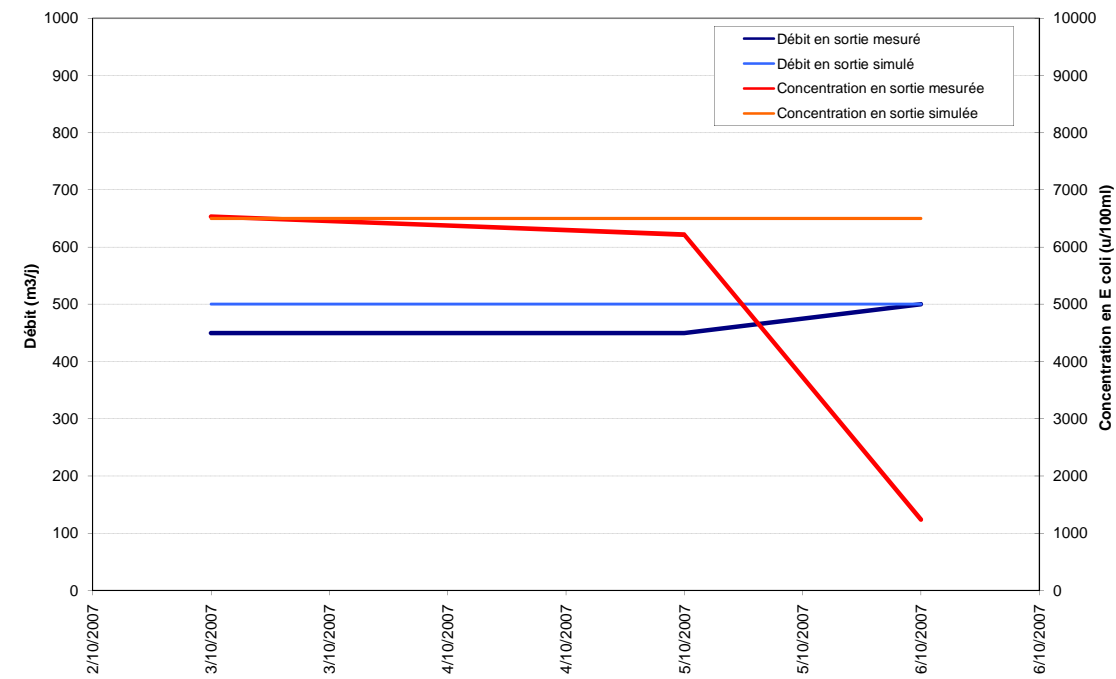
Février 2009



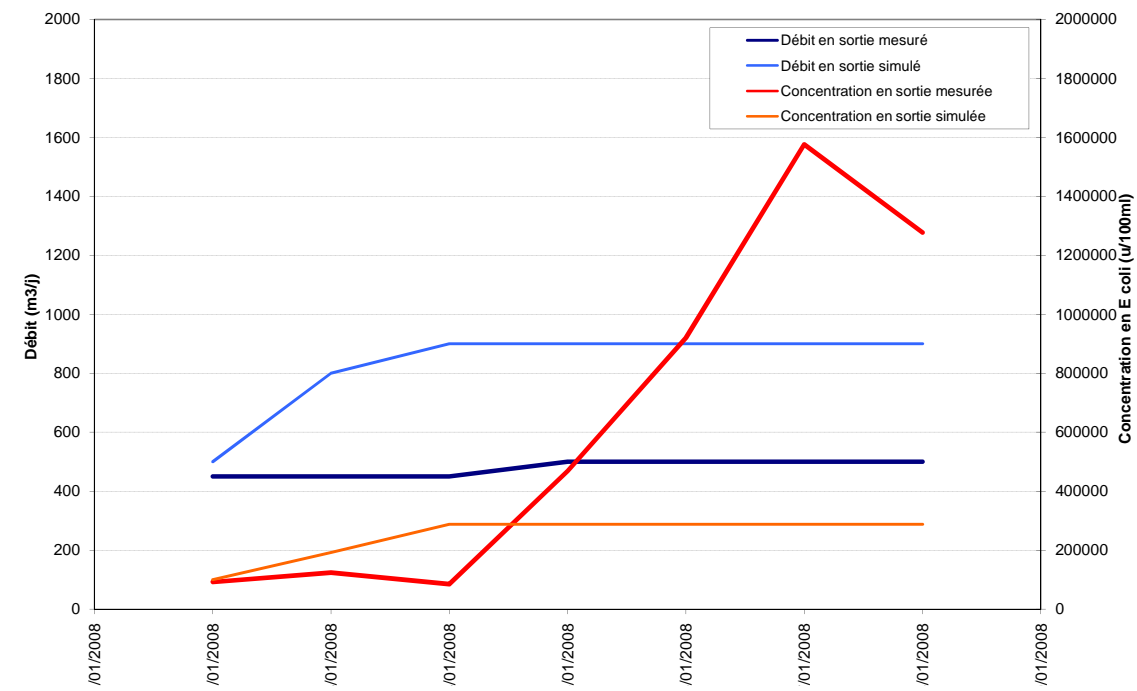
ANNEXE 2 : GRAPHIQUES DE CALAGE – REJETS DES STATIONS D'EPURATION

LAGUNAGE DE MONTBAZIN

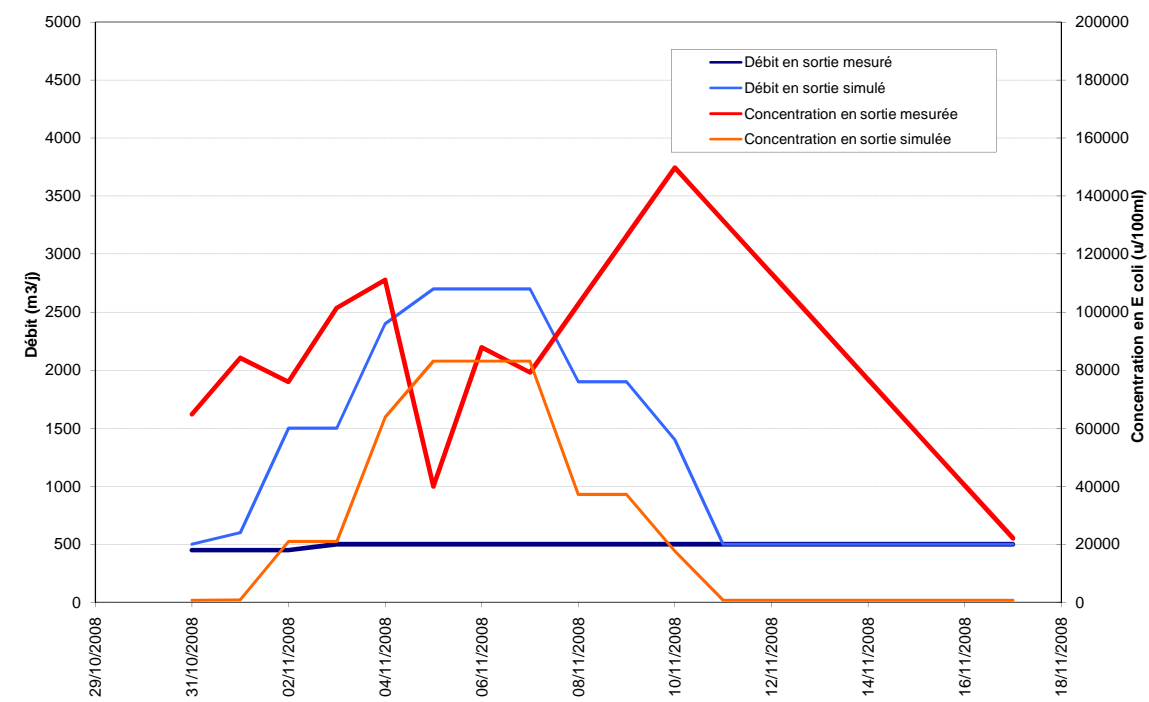
Octobre 2007



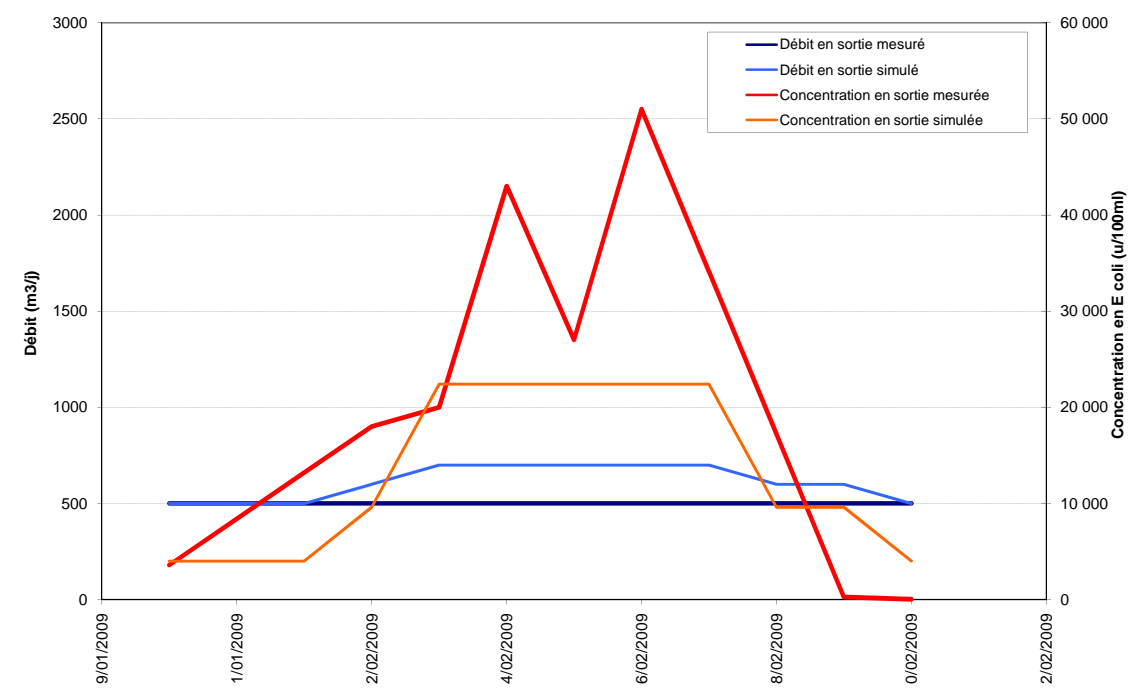
Janvier 2008



Novembre 2008

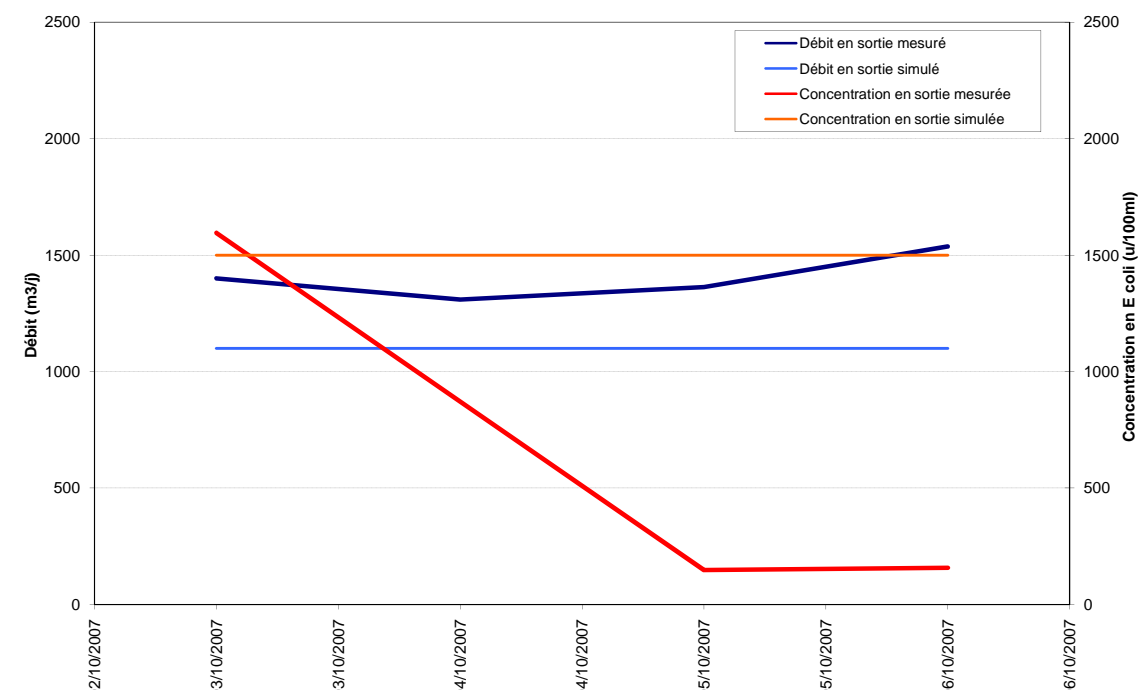


Février 2009

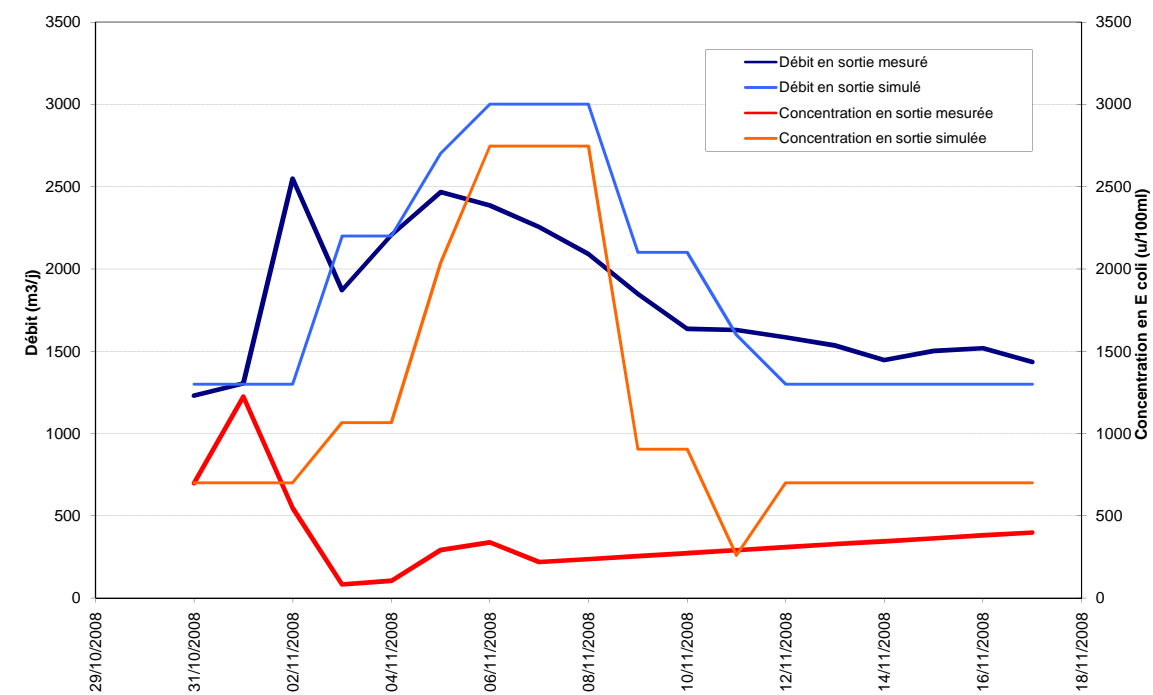


LAGUNAGE DE GIGEAN-EMBOSQUE

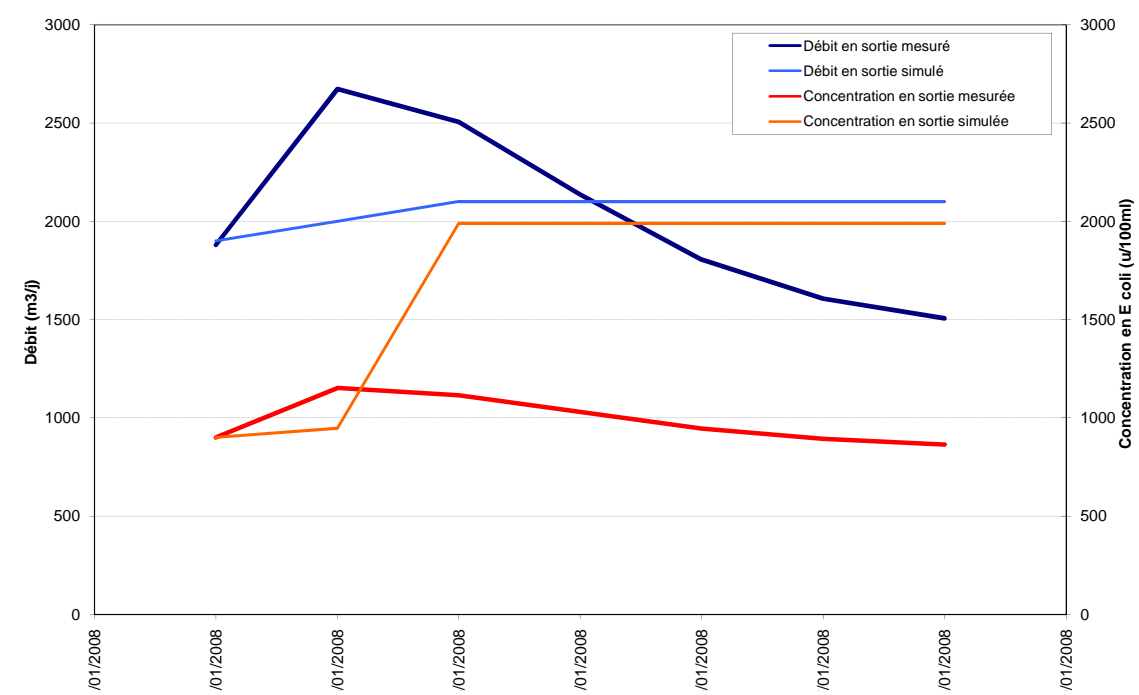
Octobre 2007



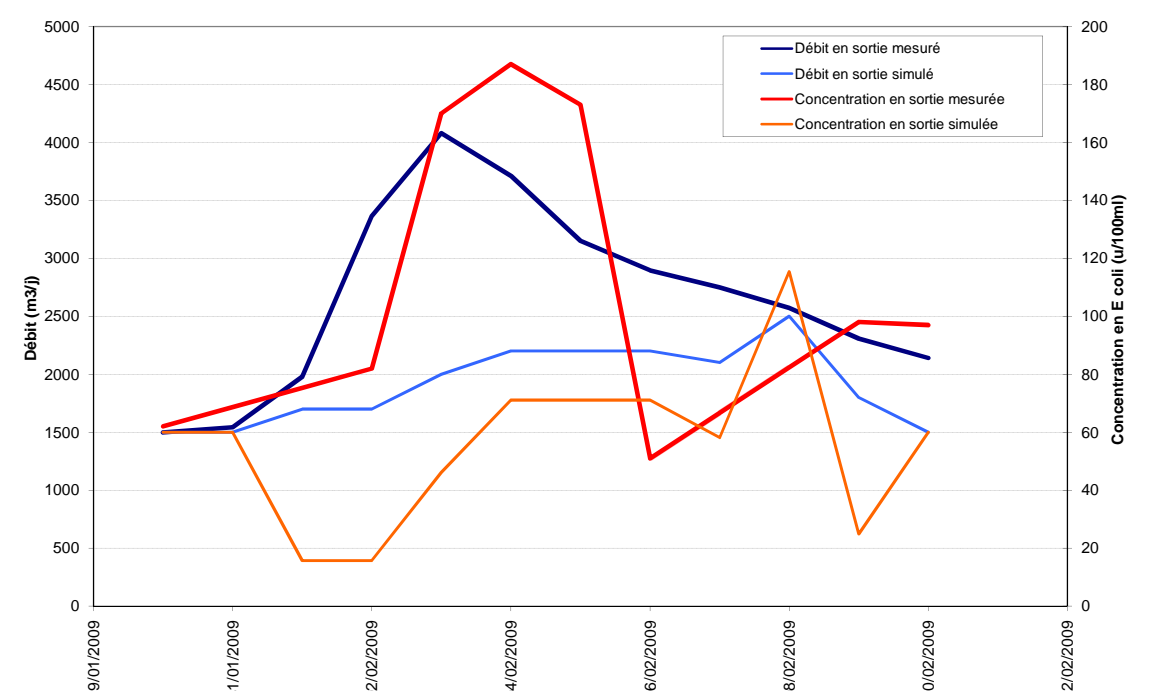
Novembre 2008



Janvier 2008

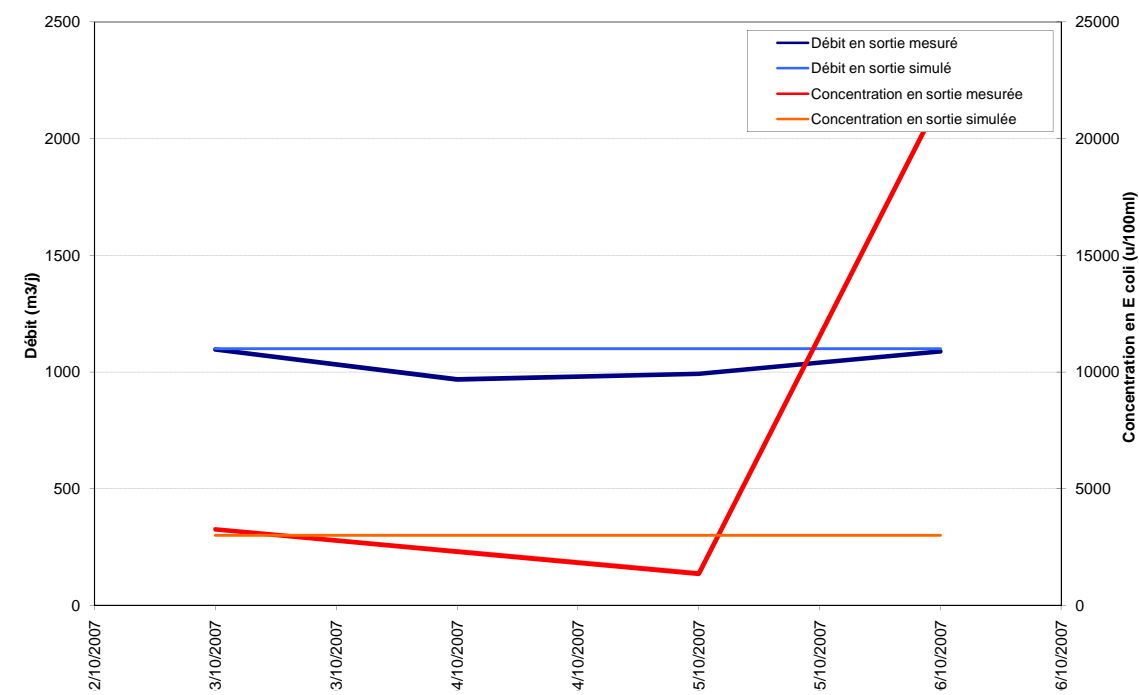


Février 2009

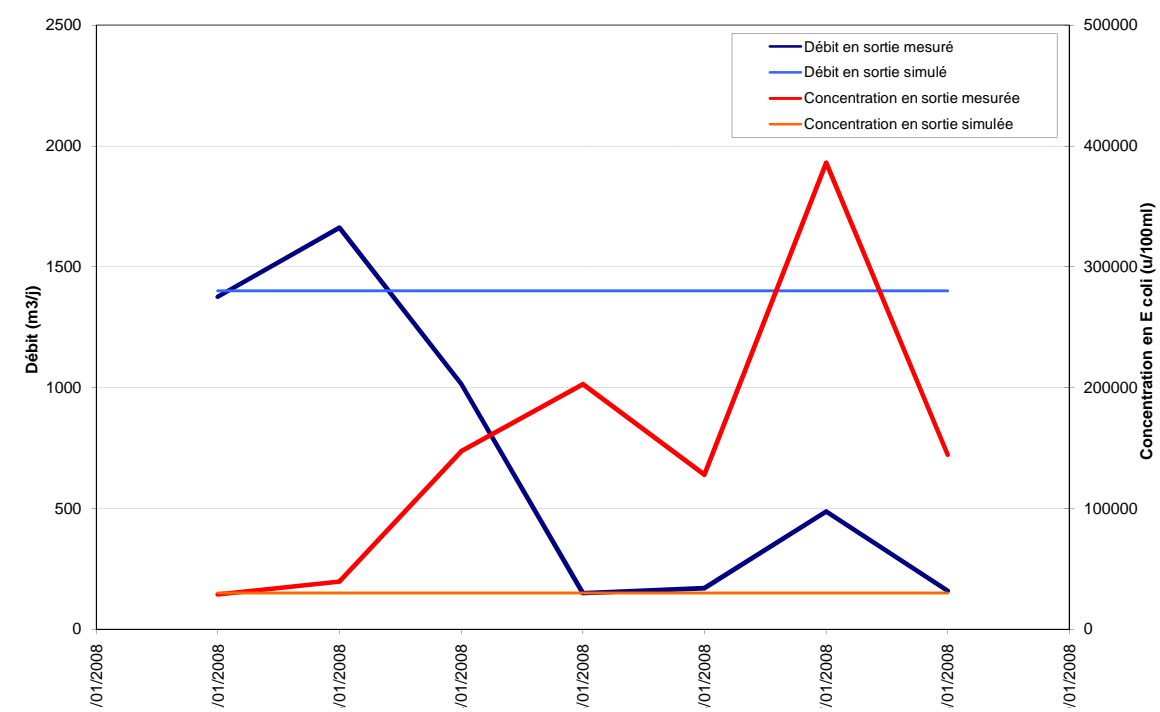


LAGUNAGE DE POUSSAN-BOUZIGUES

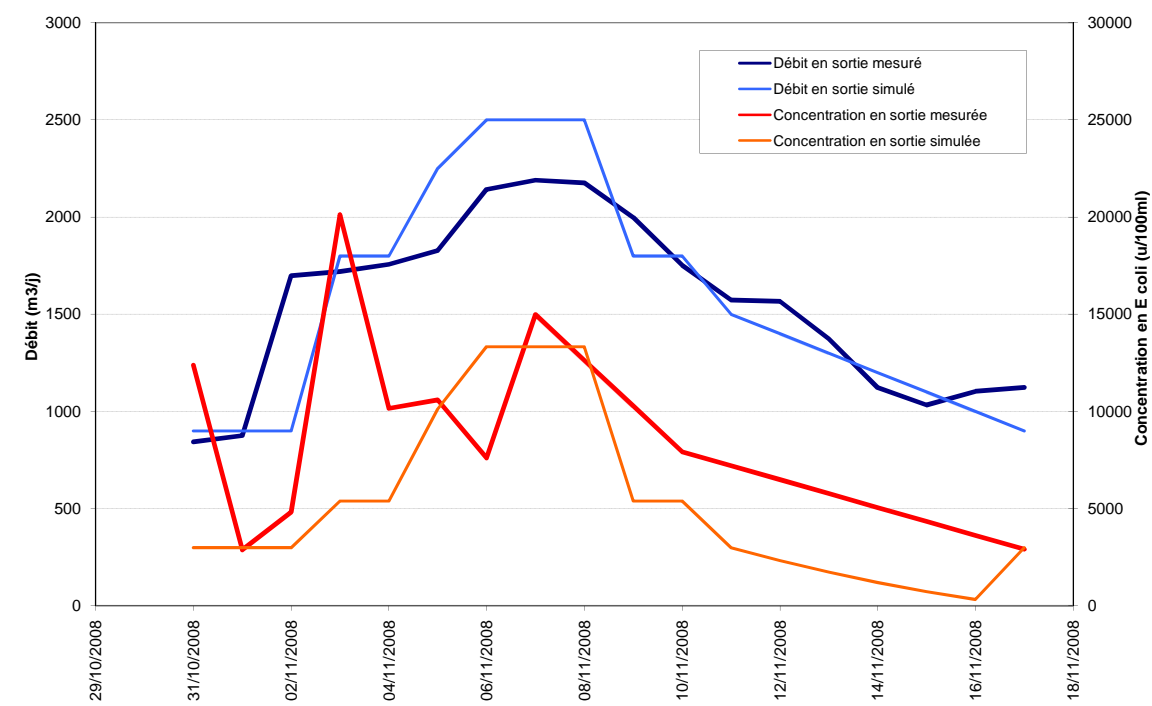
Octobre 2007



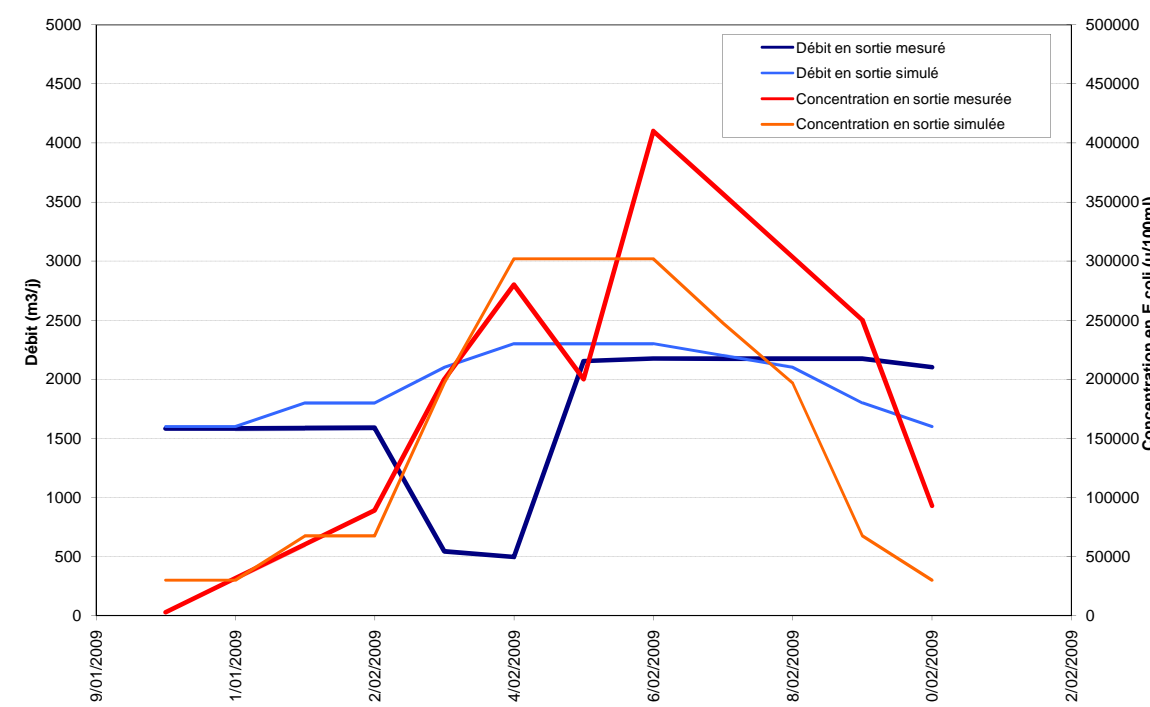
Janvier 2008



Novembre 2008

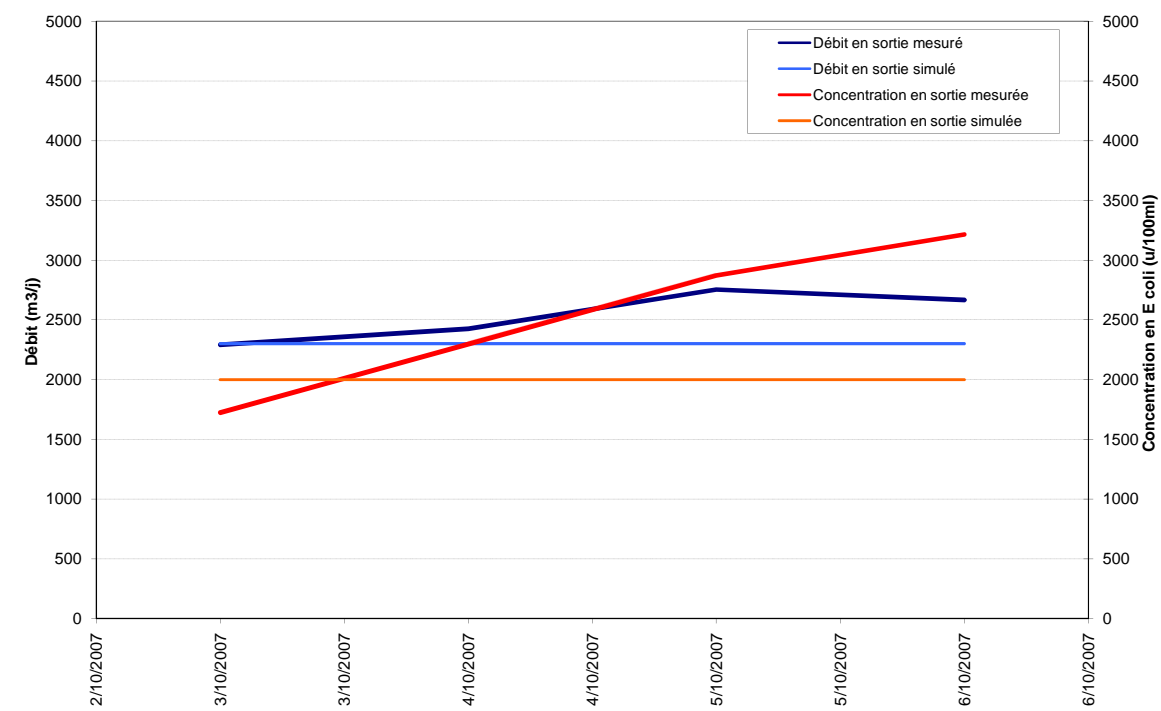


Février 2009

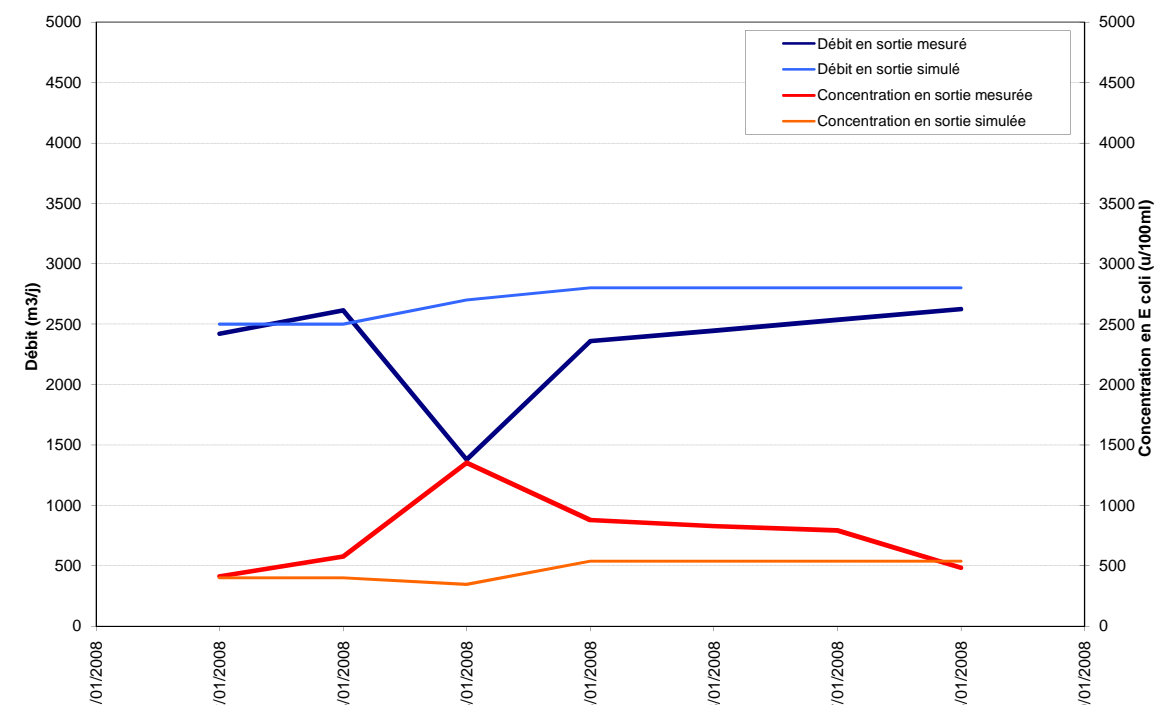


LAGUNAGE DE MEZE-LOUPIAN

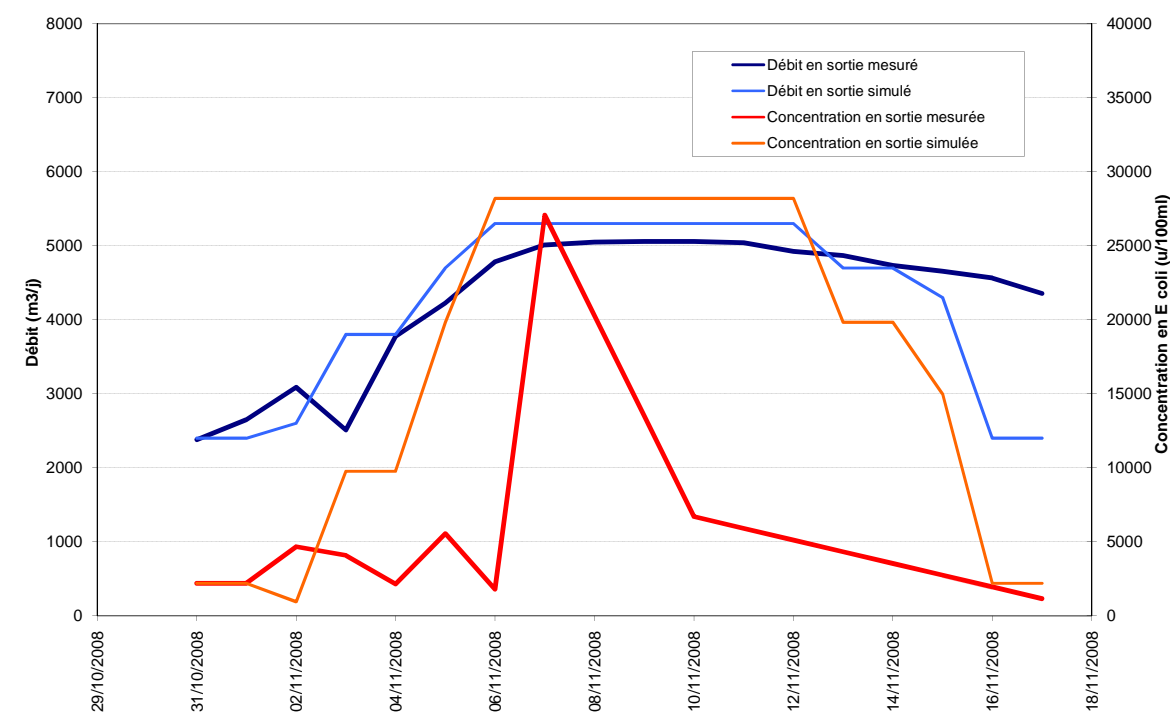
Octobre 2007



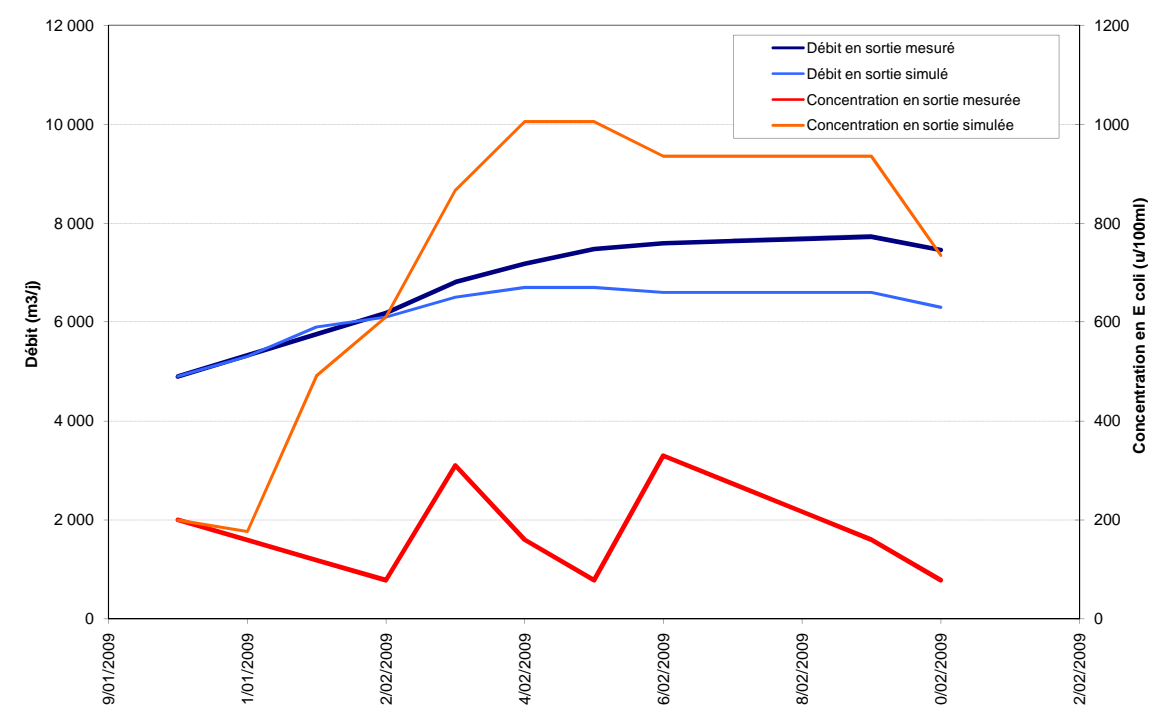
Janvier 2008



Novembre 2008

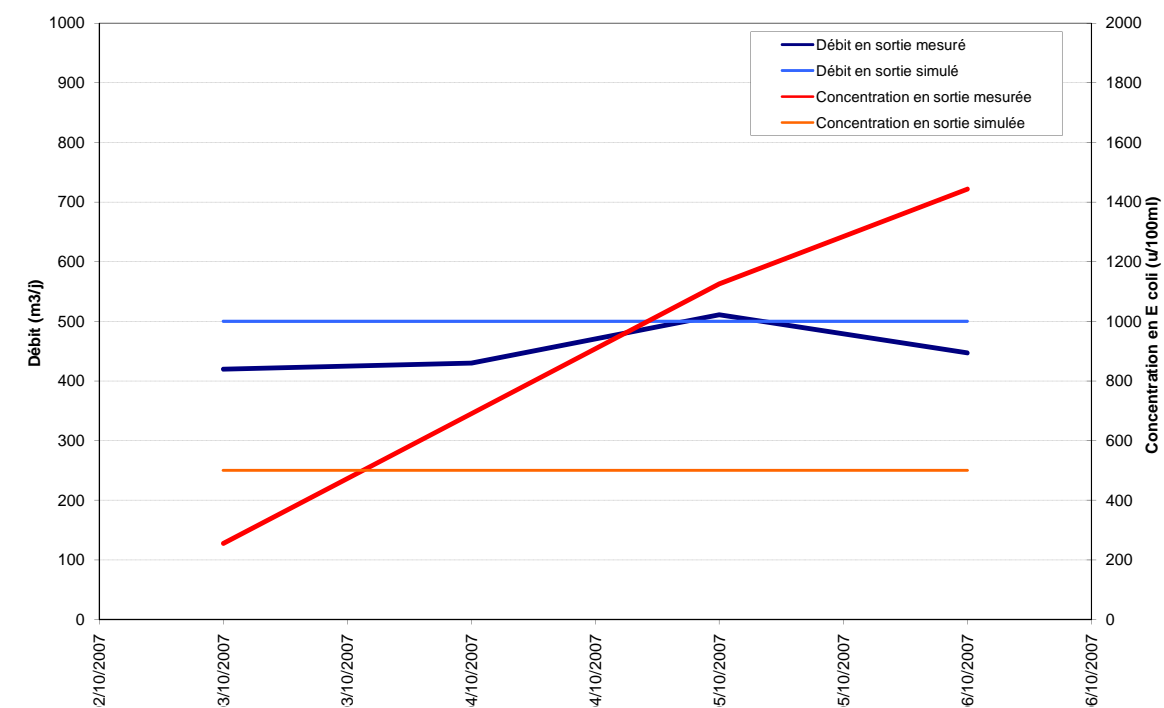


Février 2009

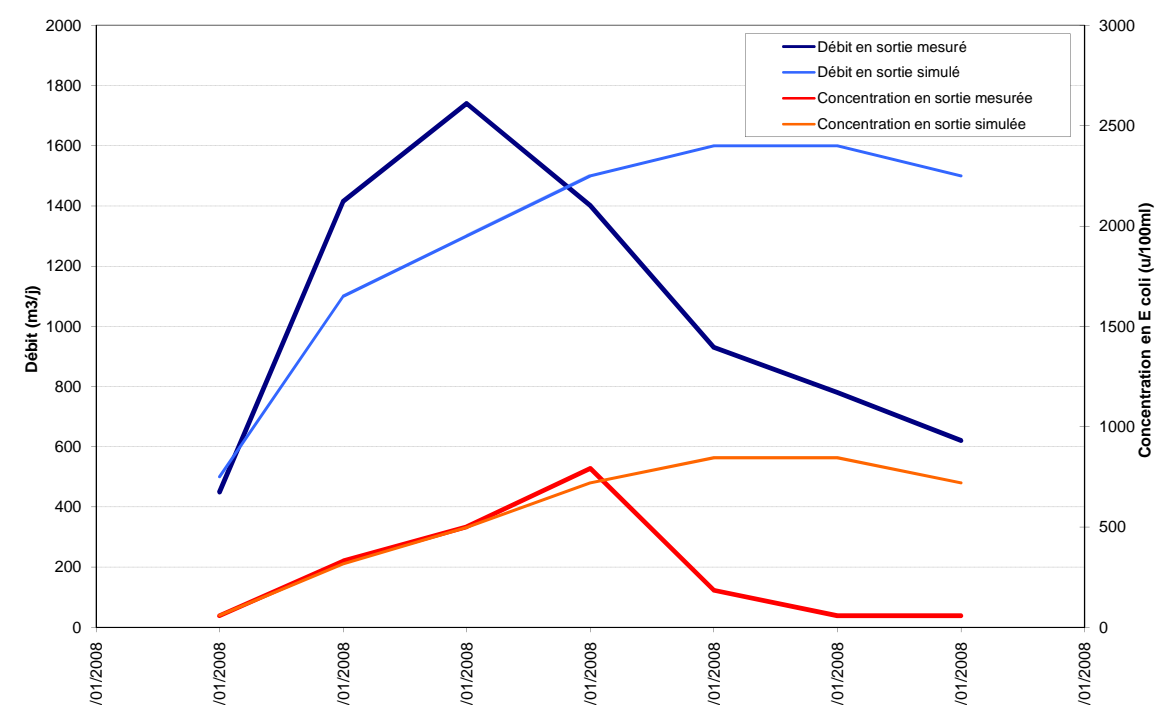


STATION MIXTE DE VILLEVEYRAC

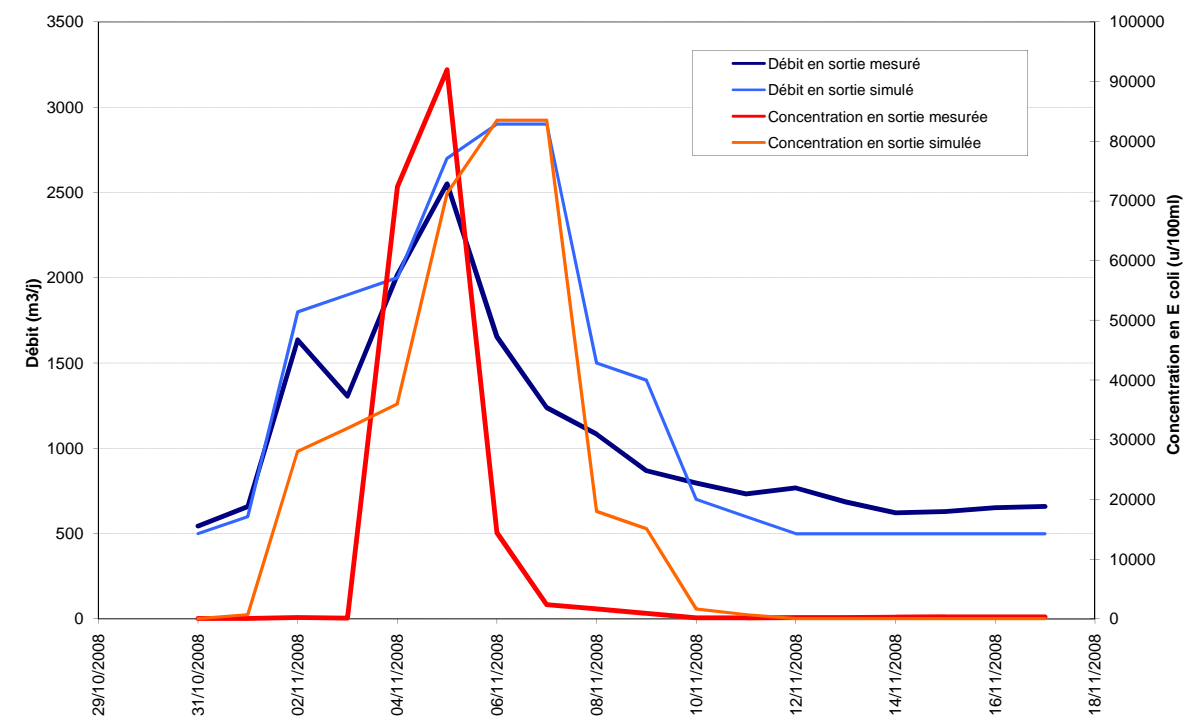
Octobre 2007



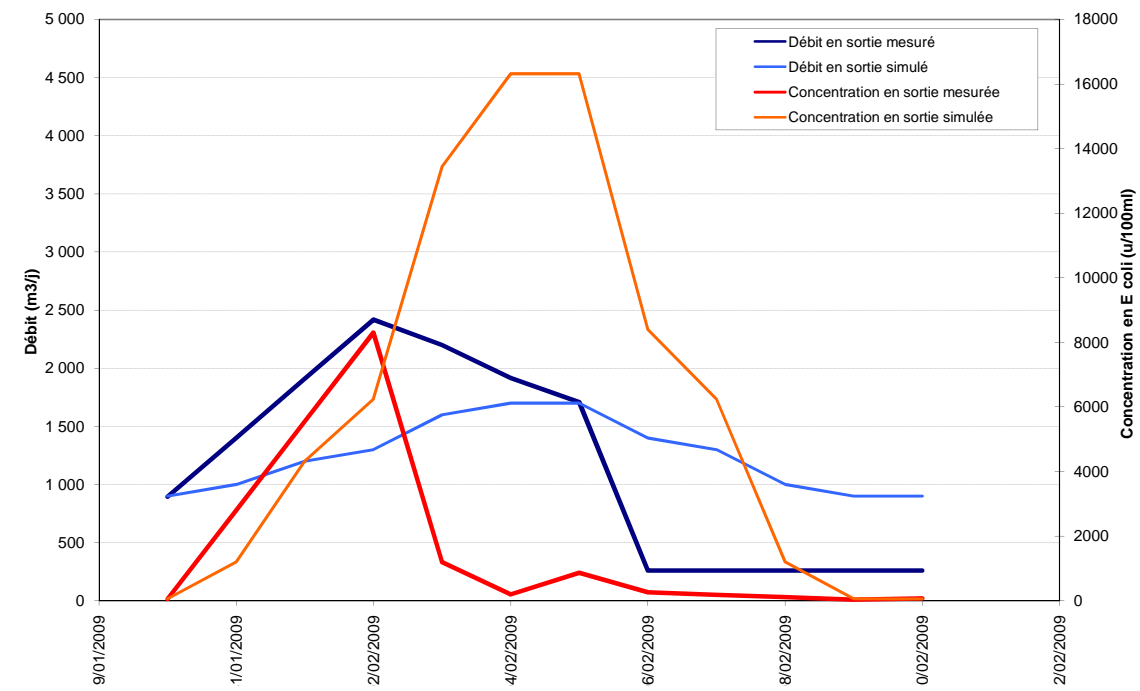
Janvier 2008



Novembre 2008

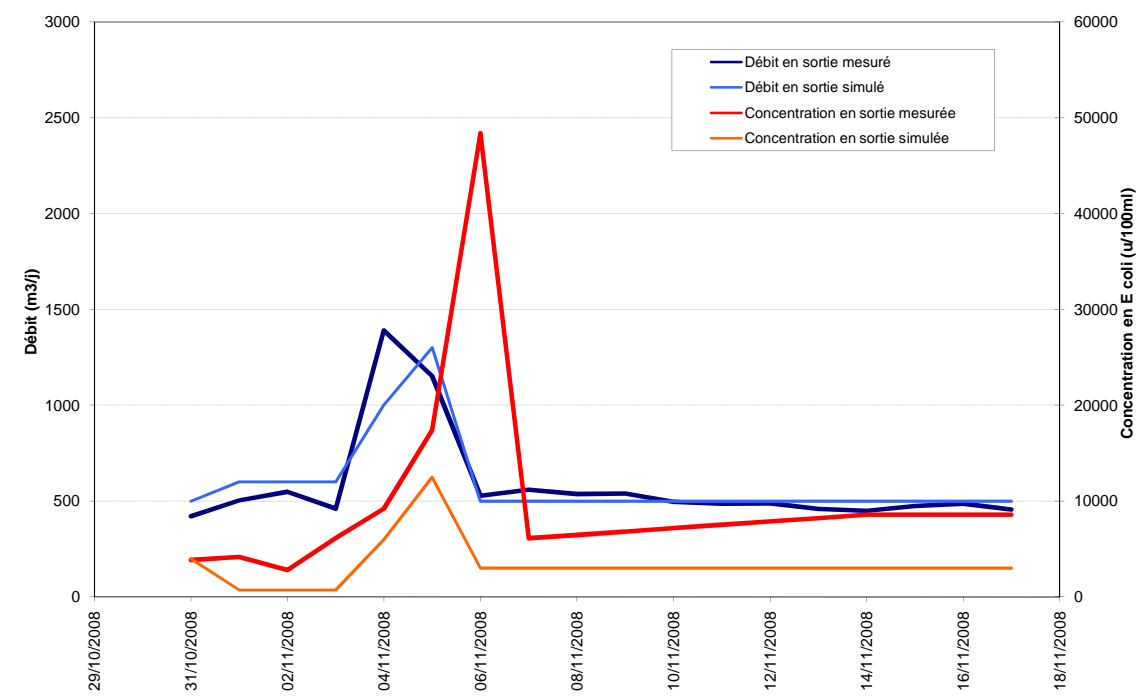


Février 2009

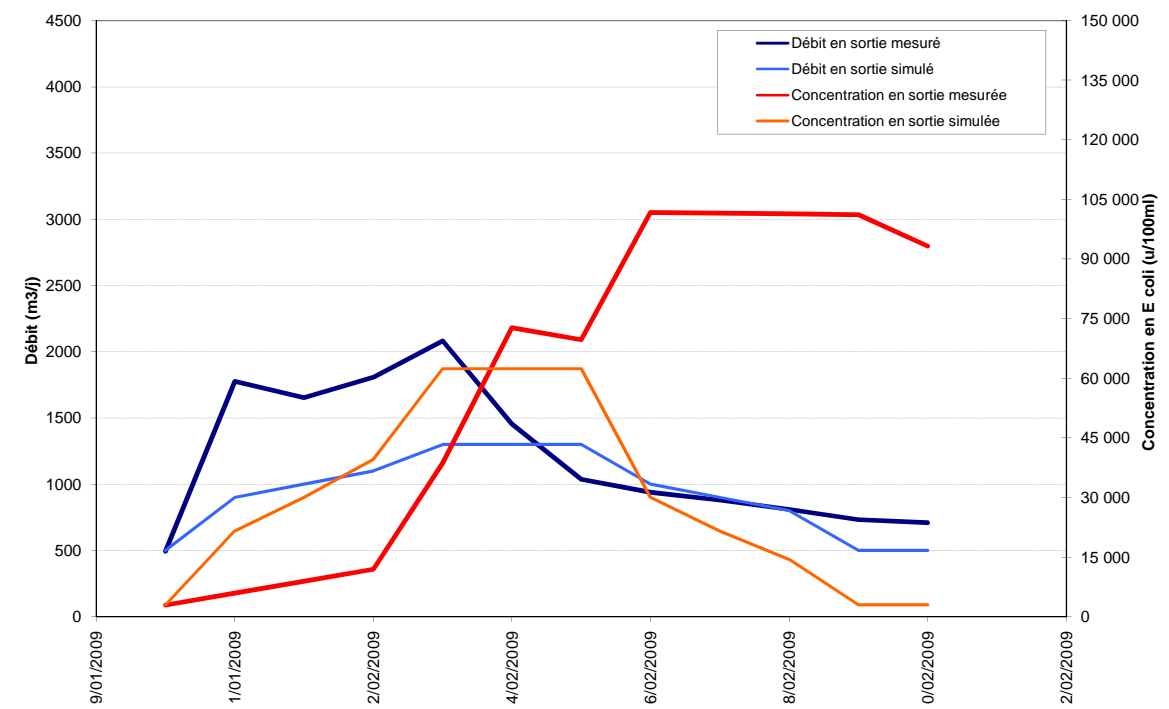


LAGUNAGE DE PINET-POMEROLS

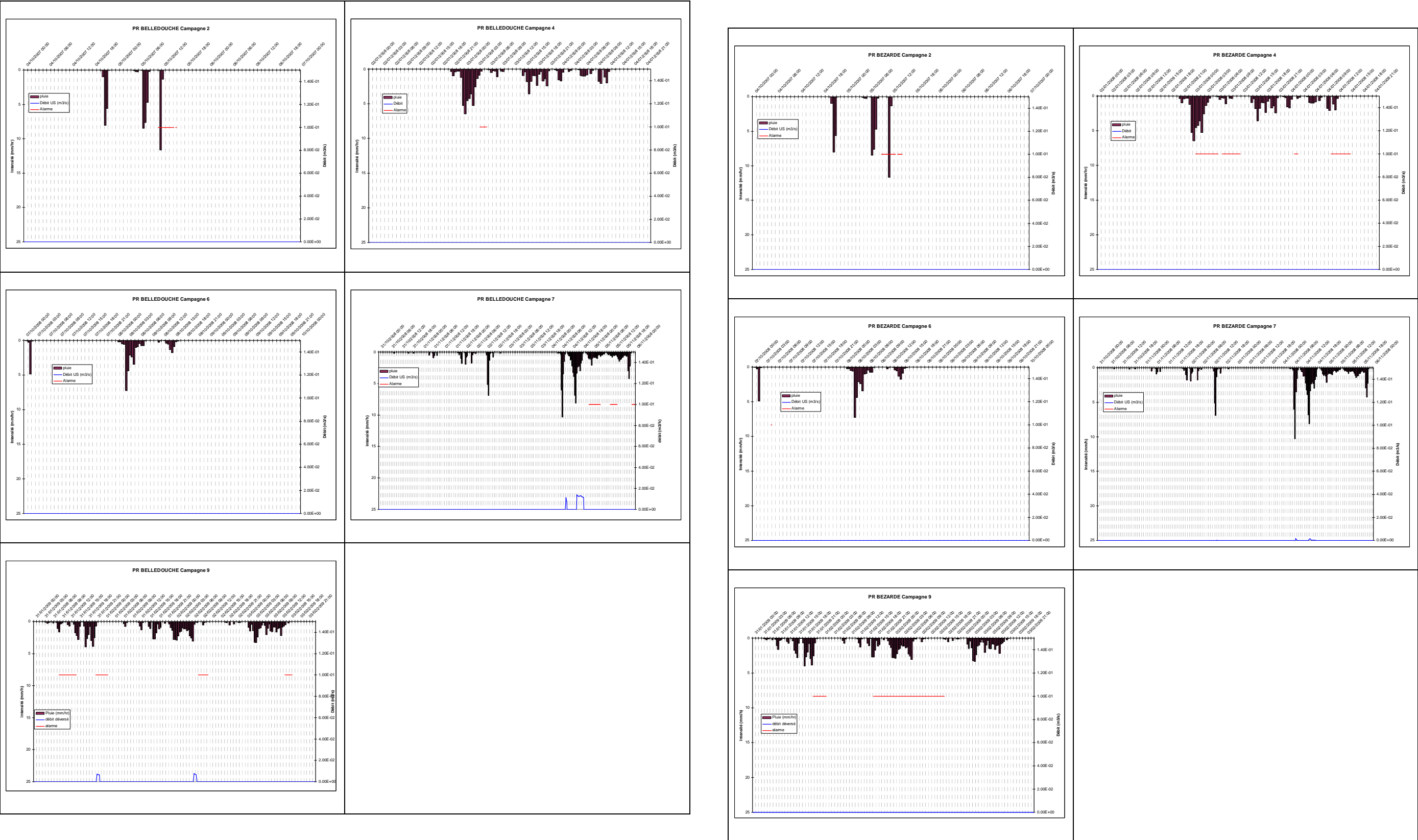
Novembre 2008

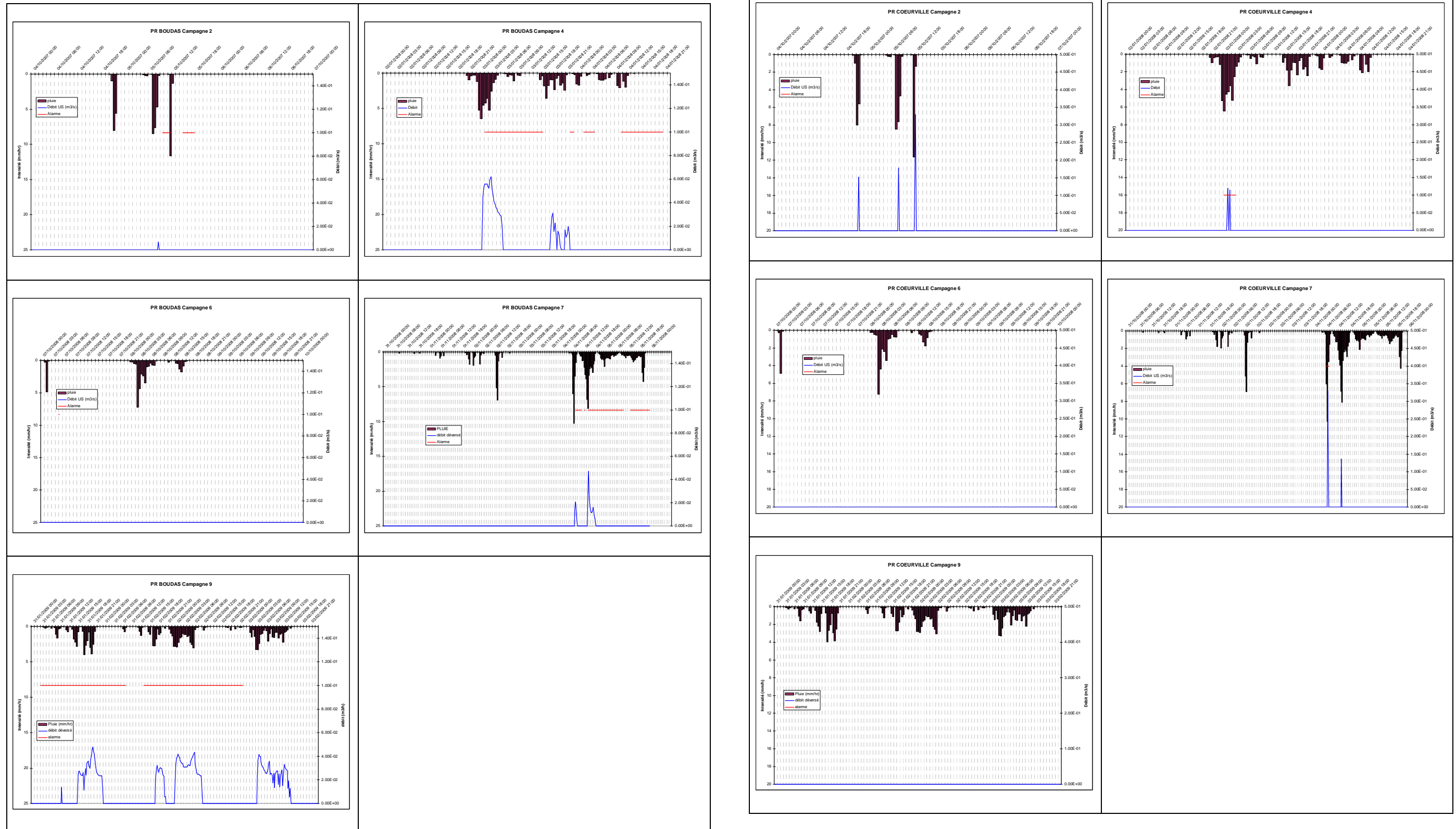


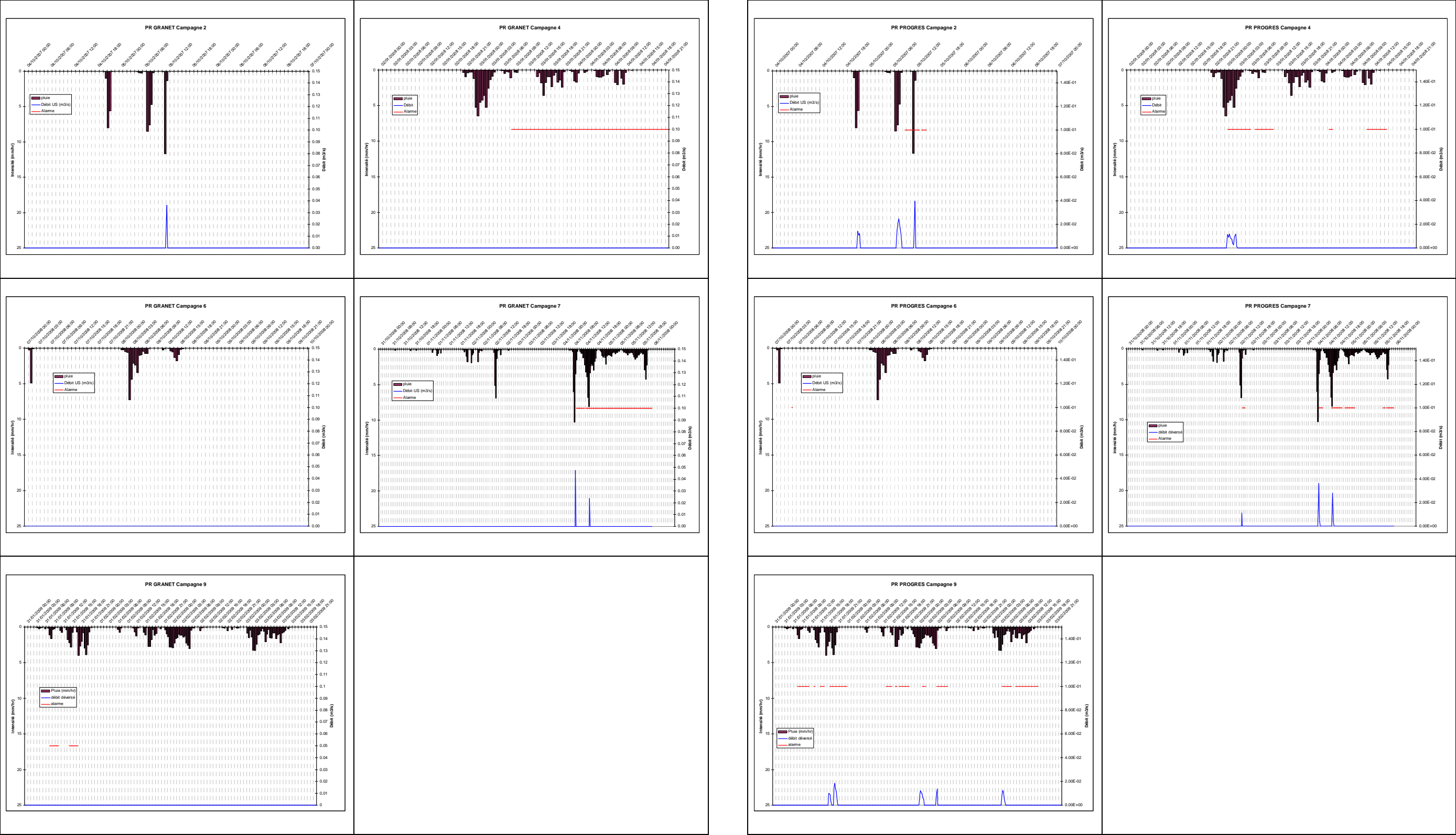
Février 2009

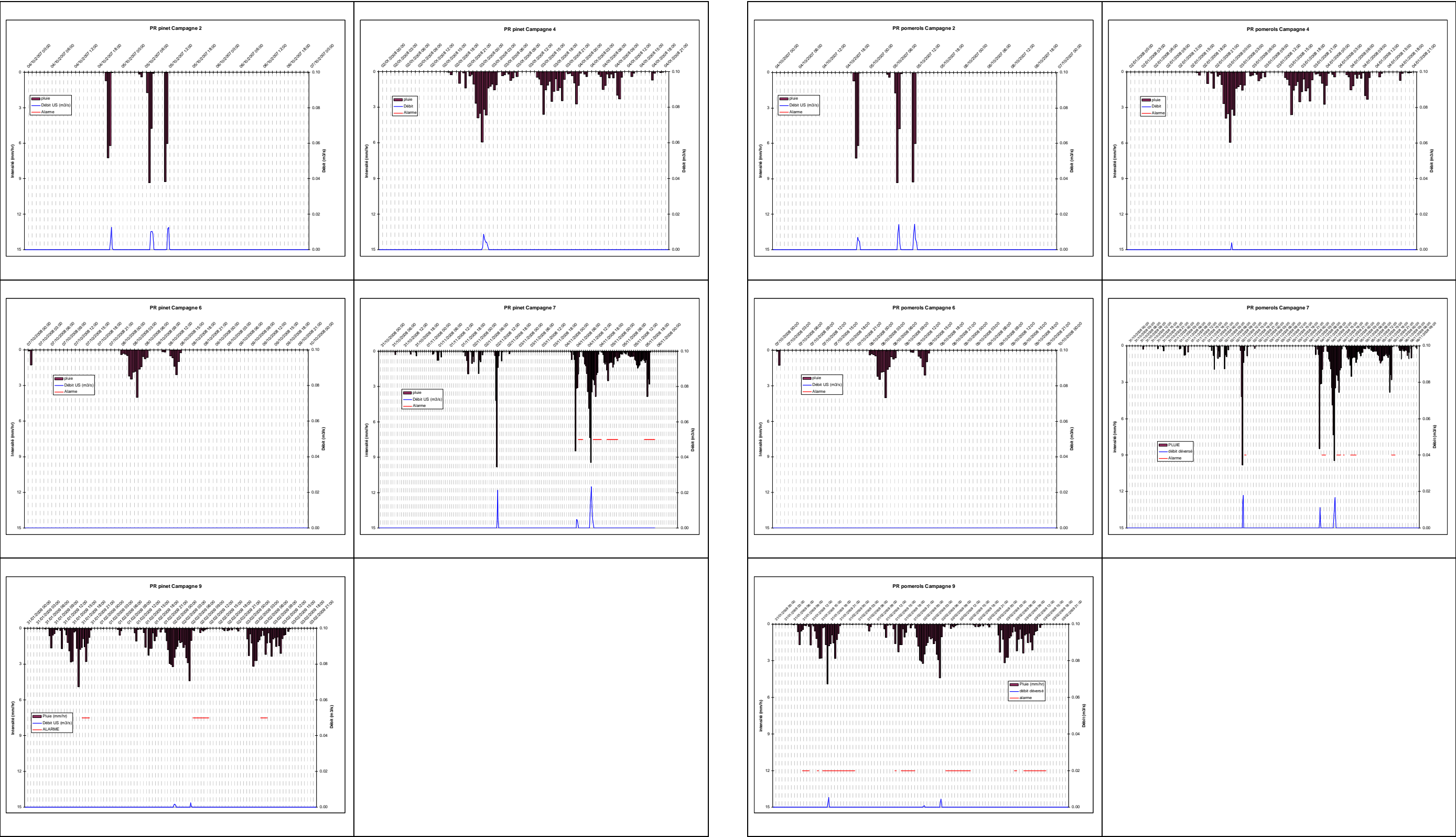


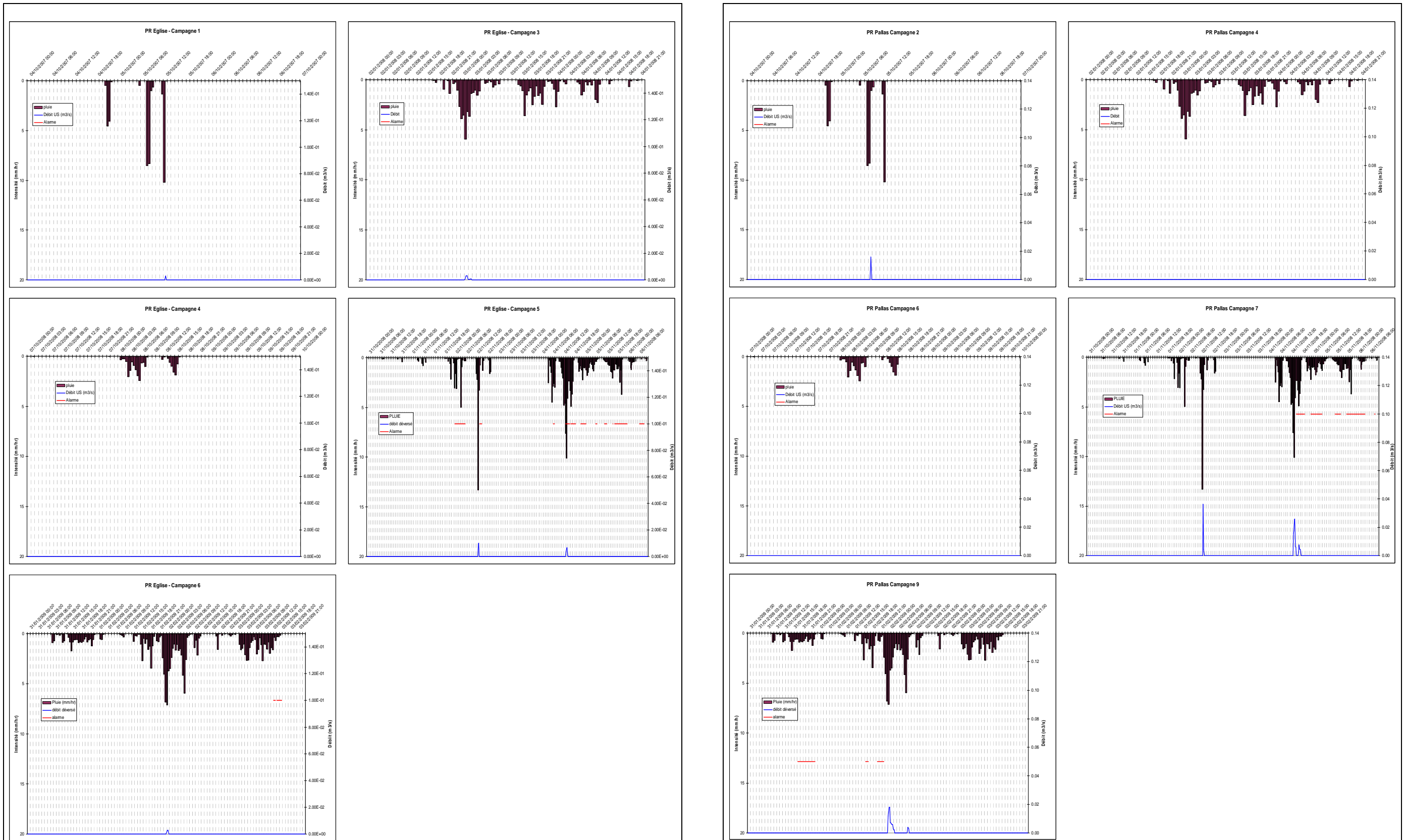
ANNEXE 3 : GRAPHIQUES DE CALAGE – POSTES DE RELEVAGE

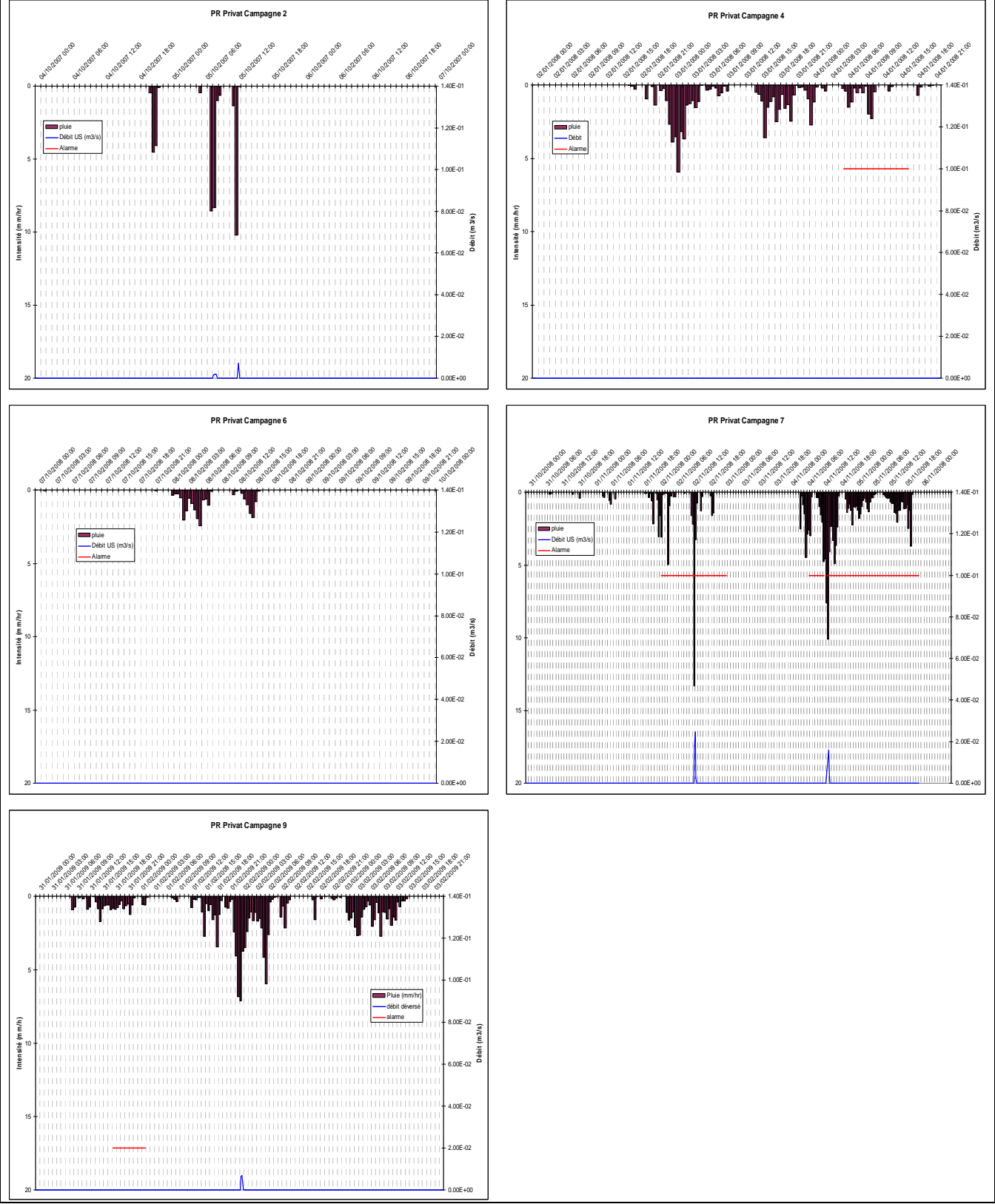
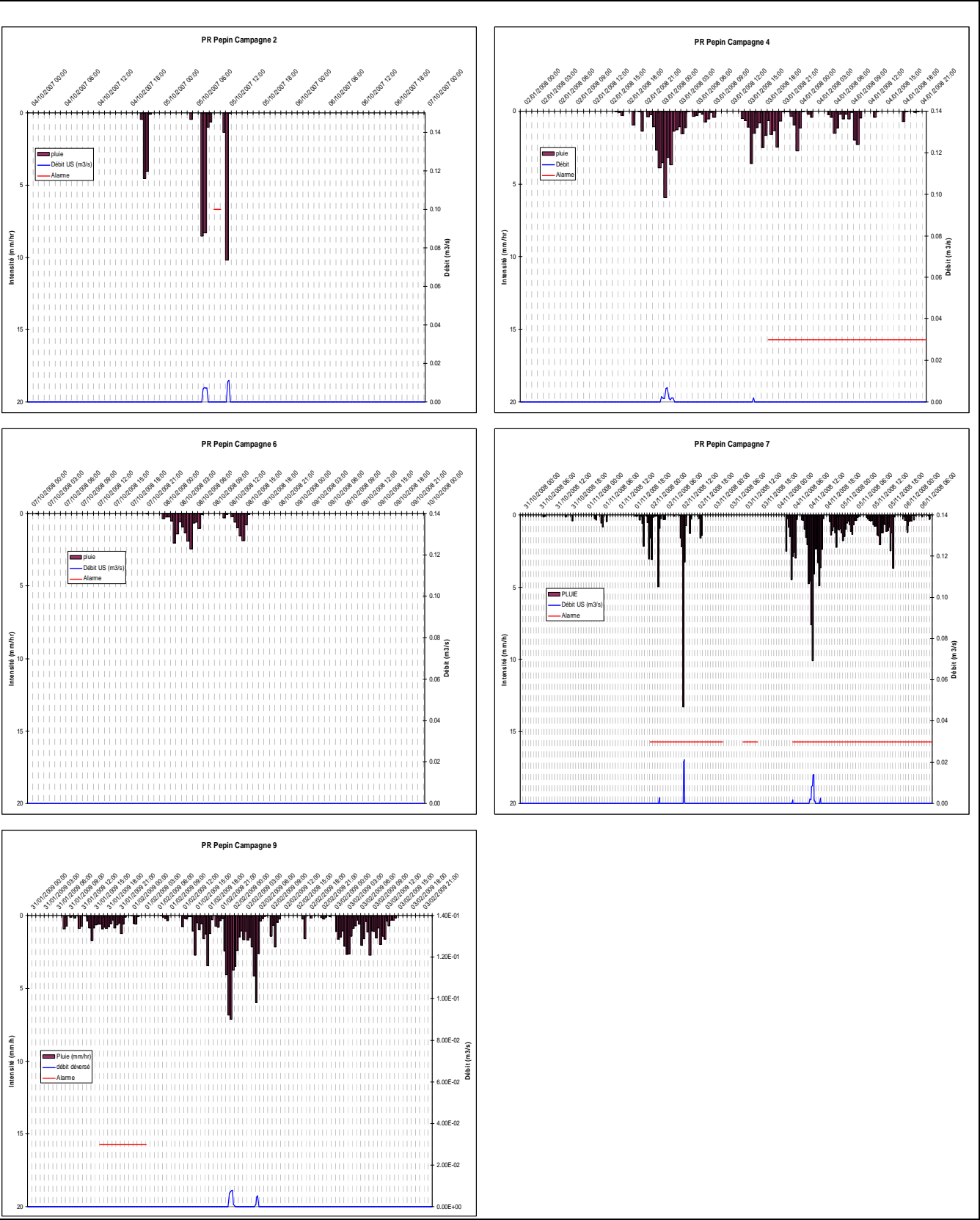


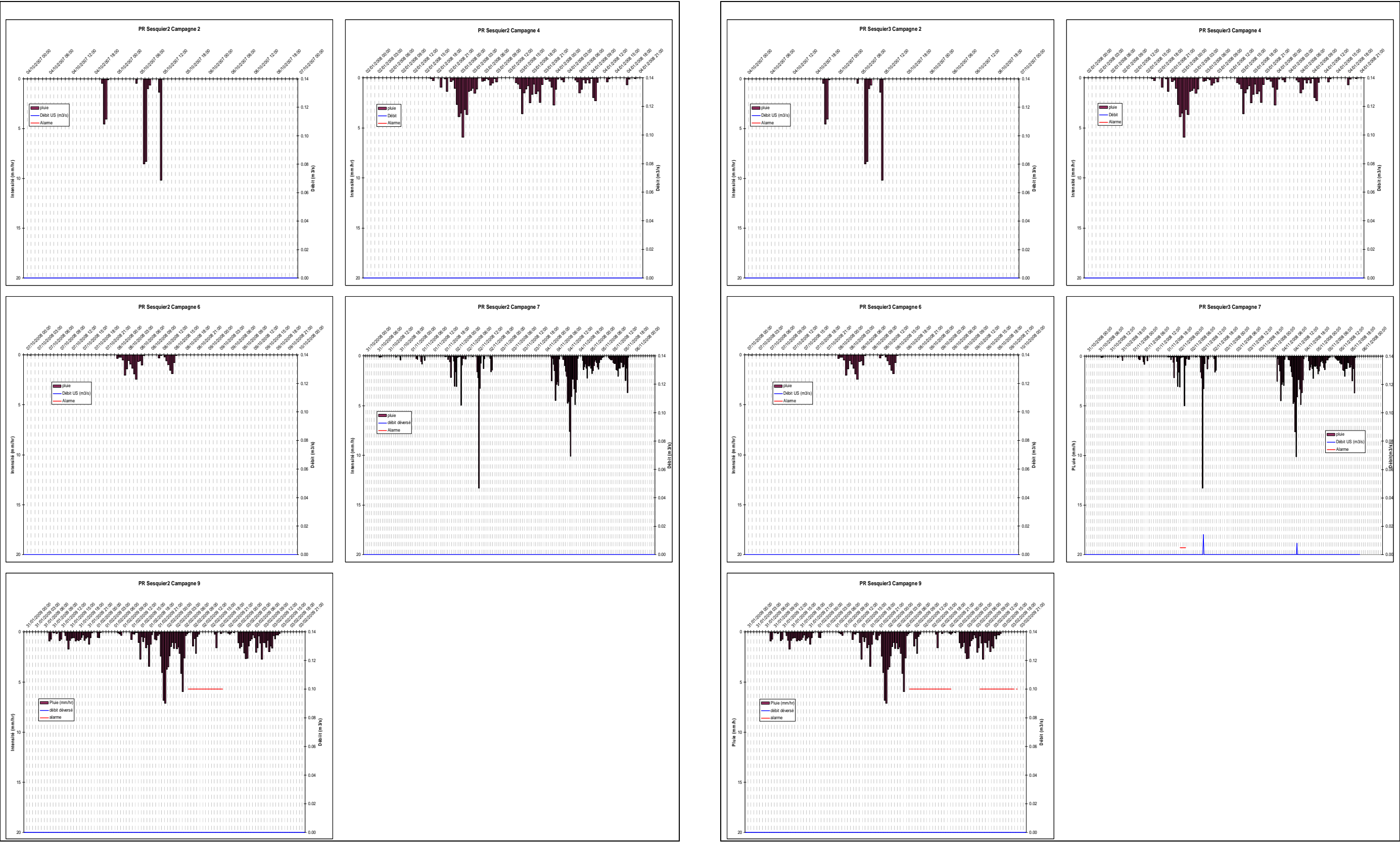


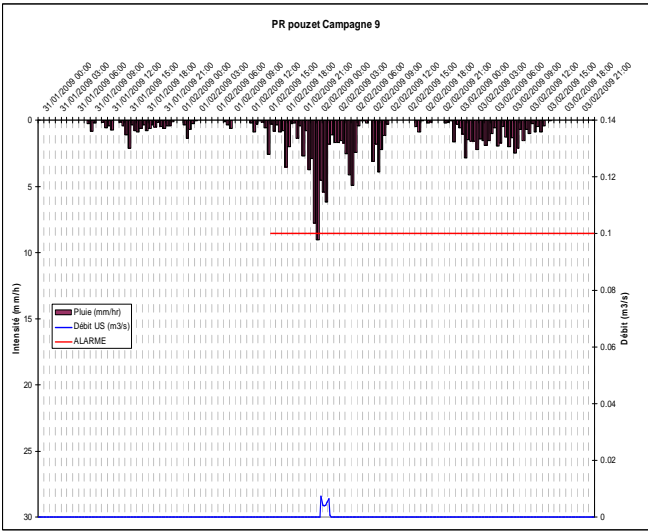
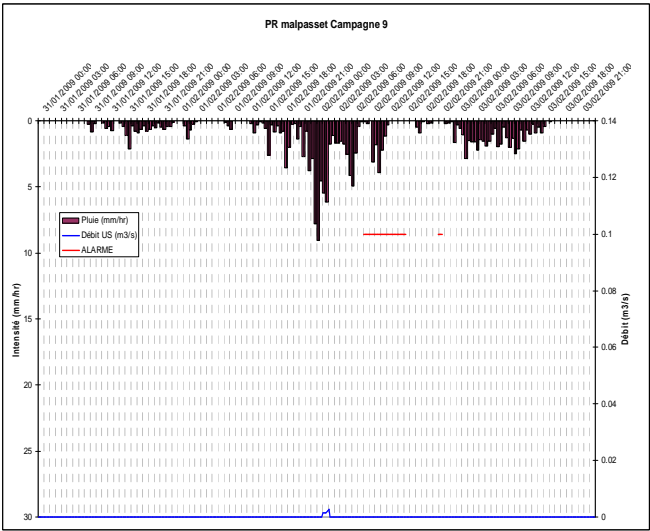
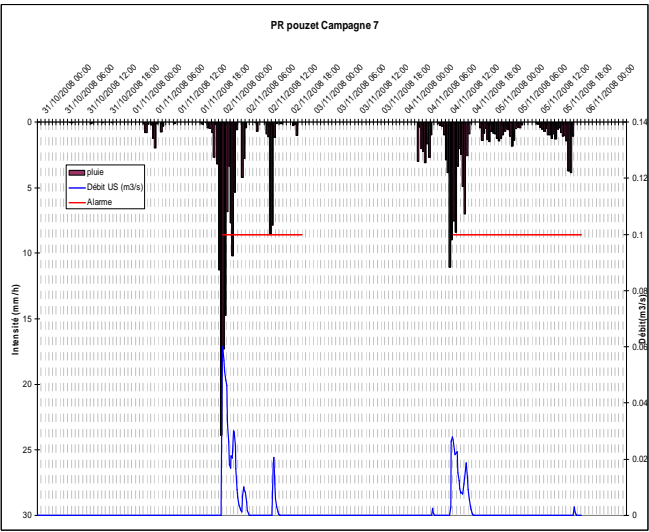
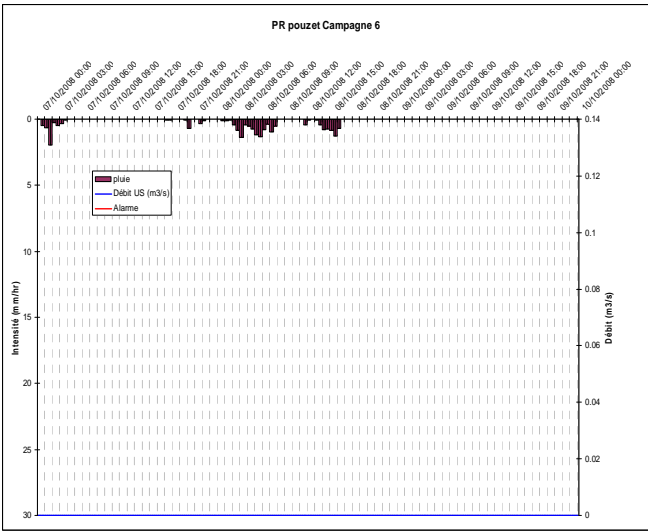
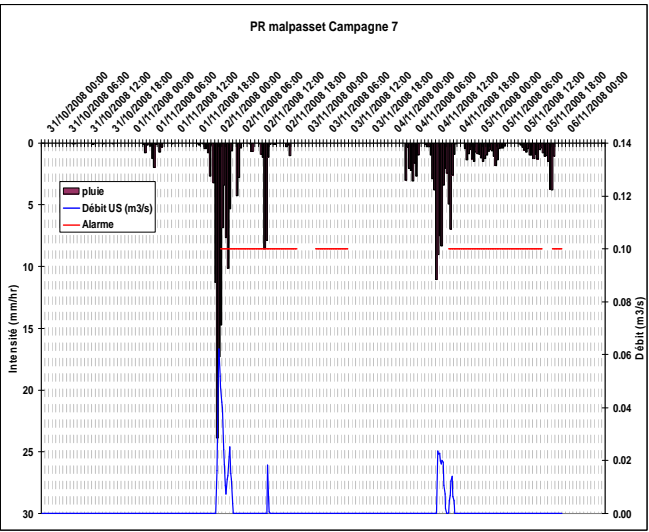
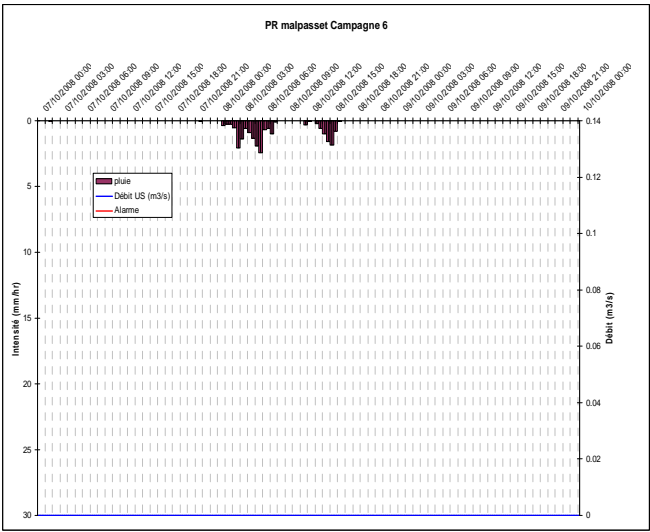
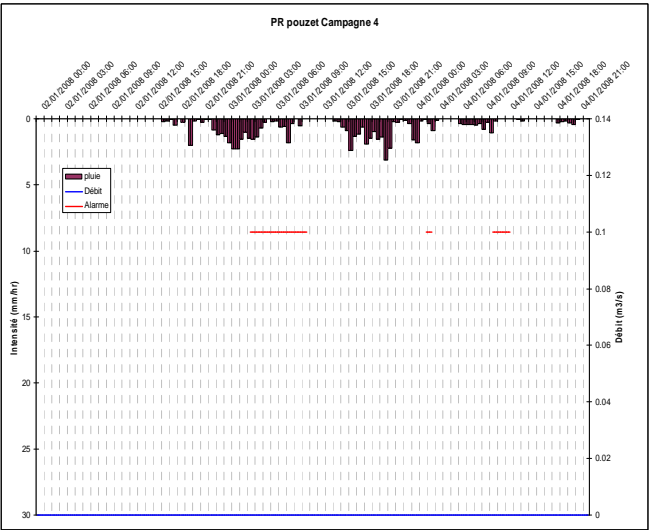
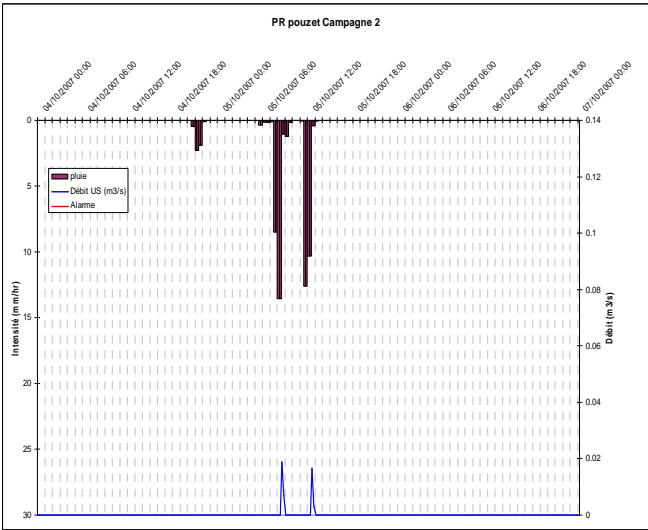
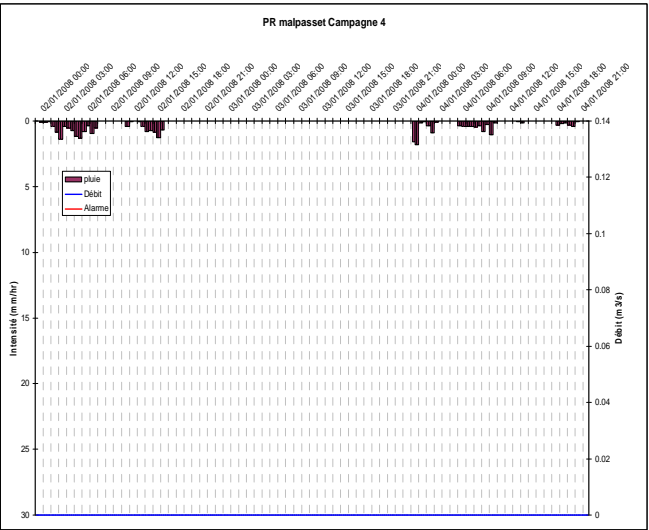
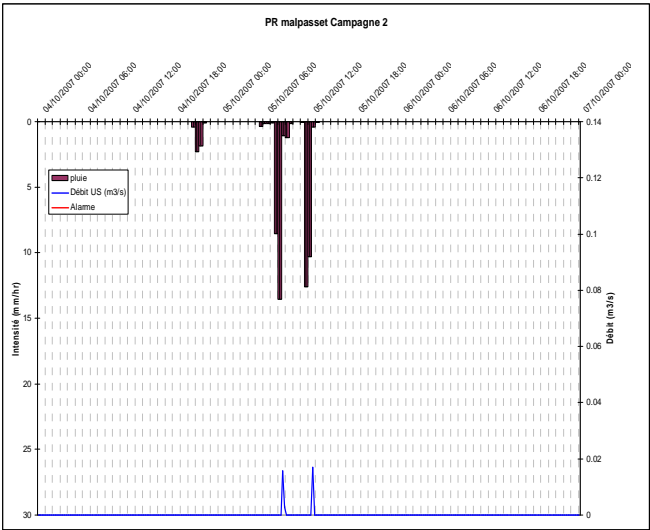


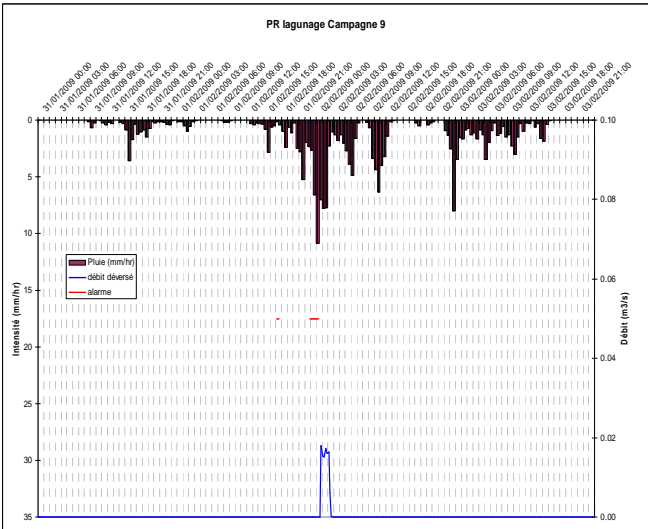
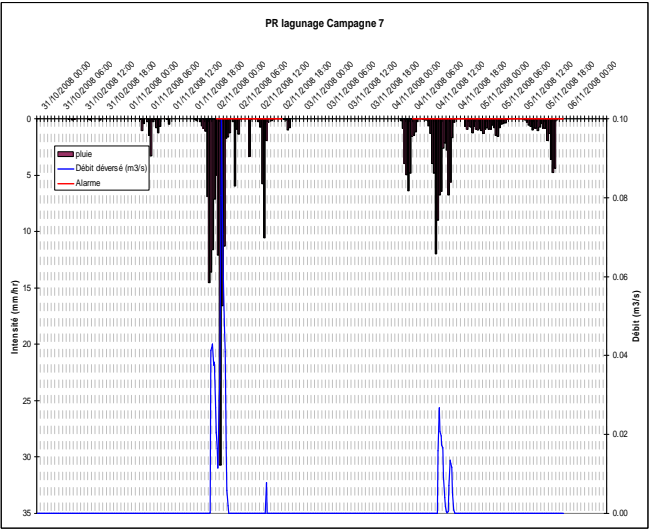
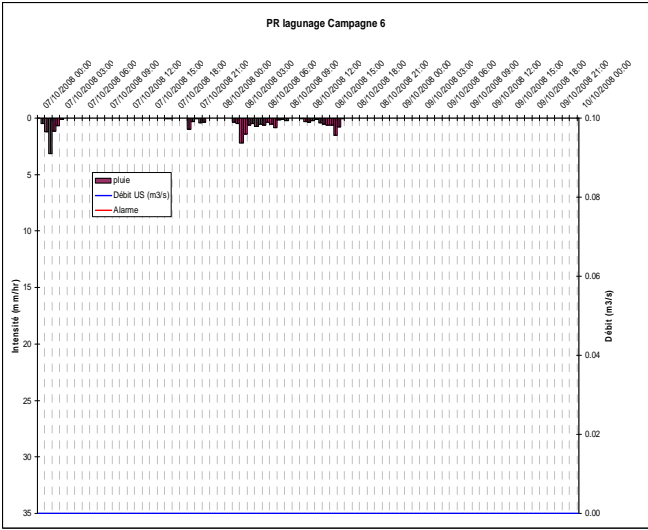
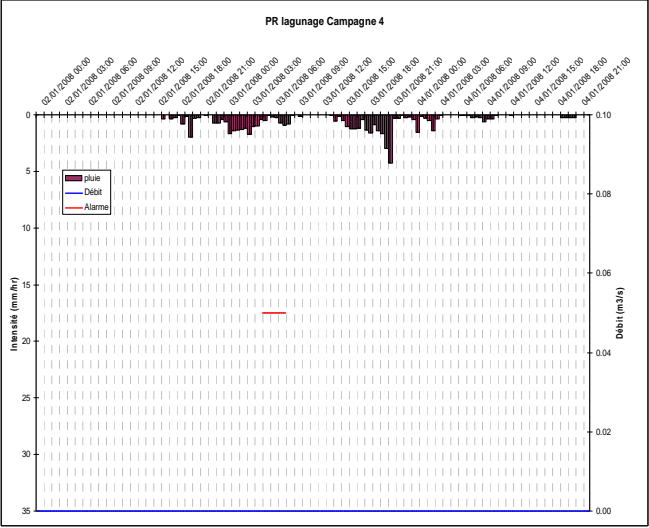
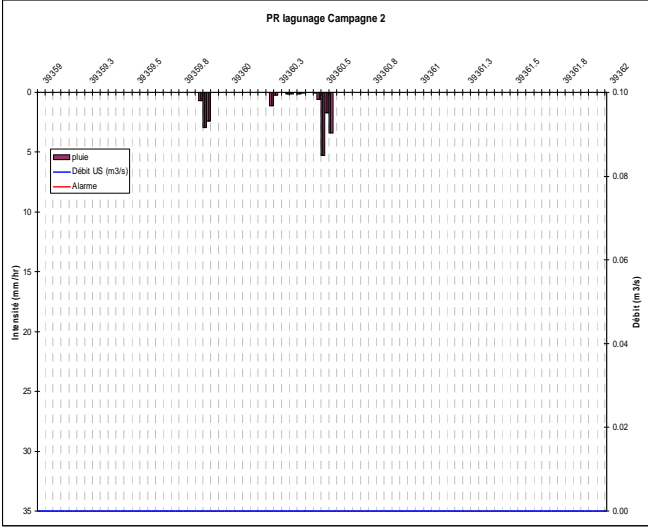
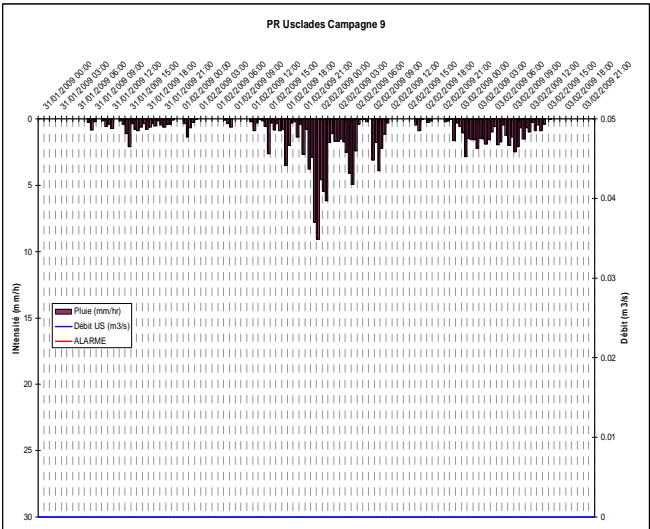
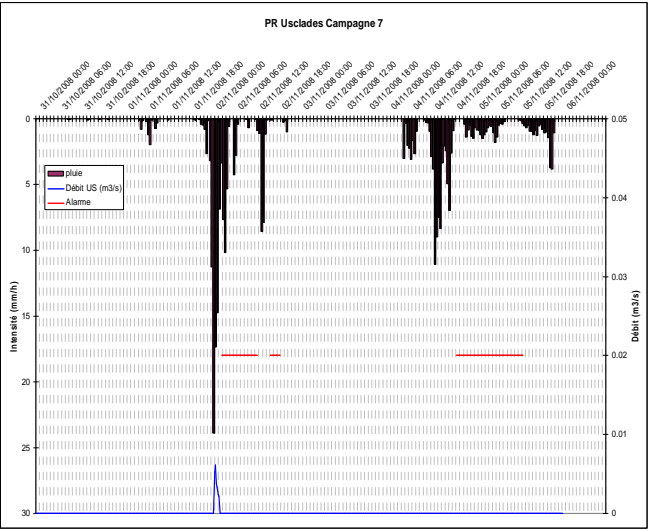
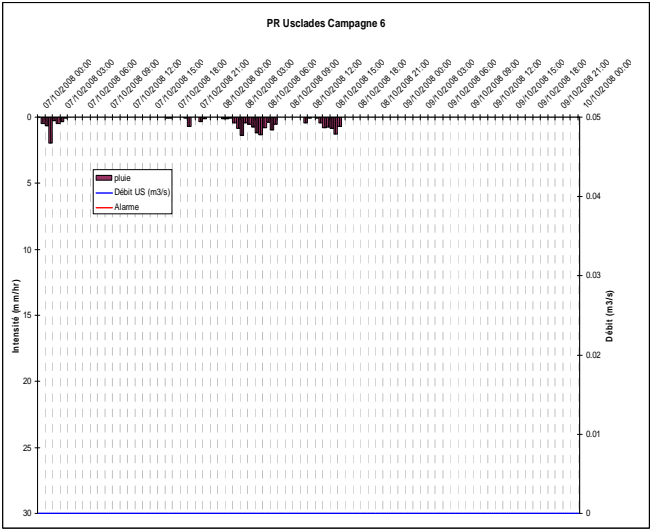
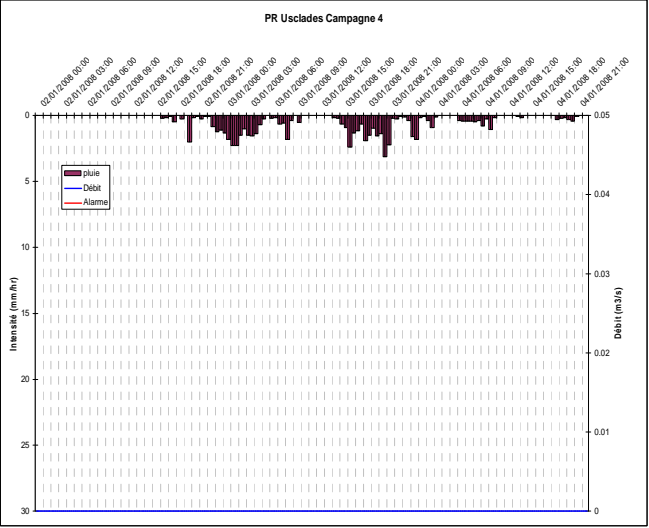
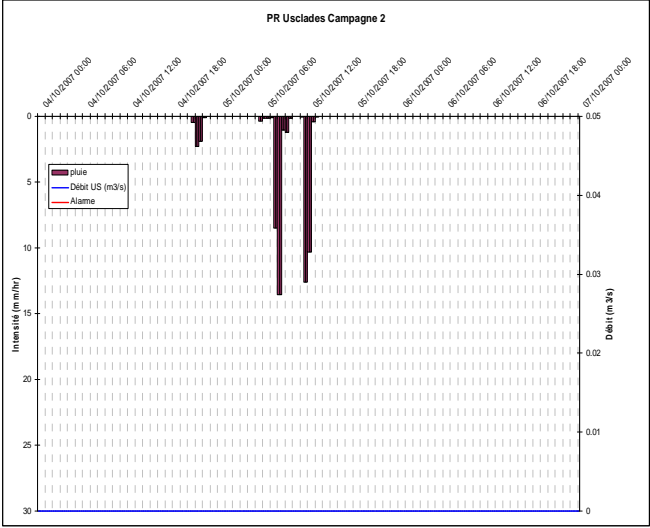


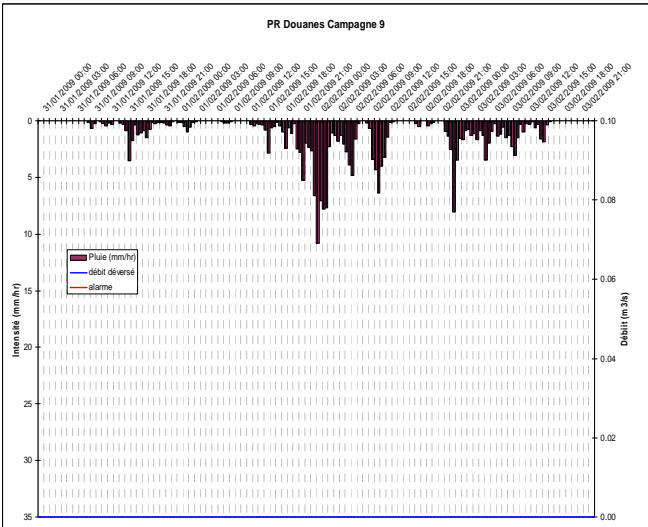
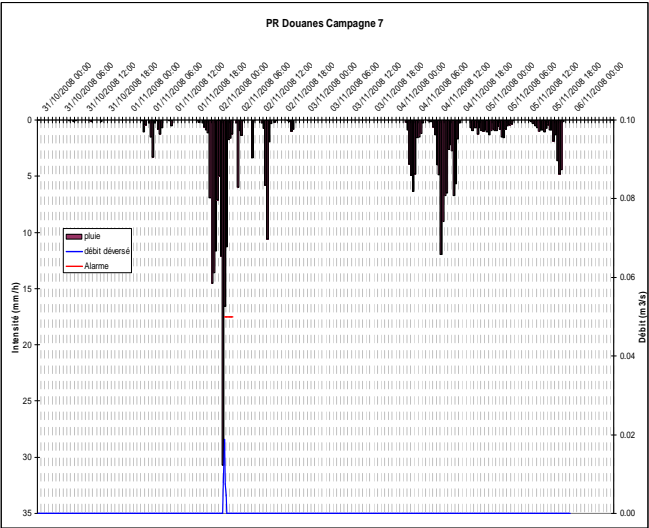
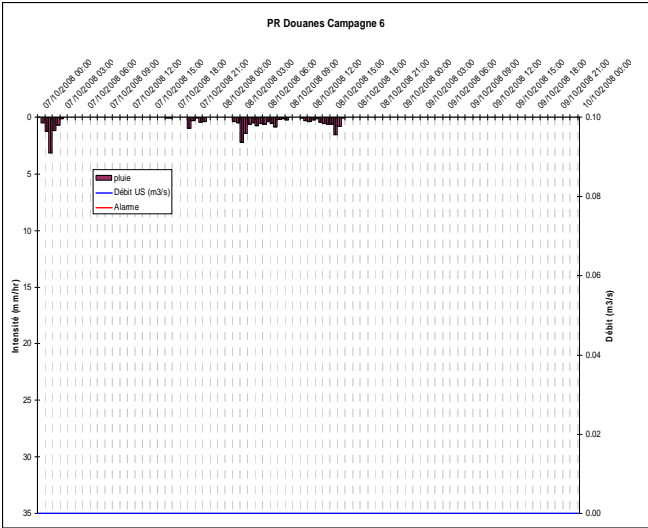
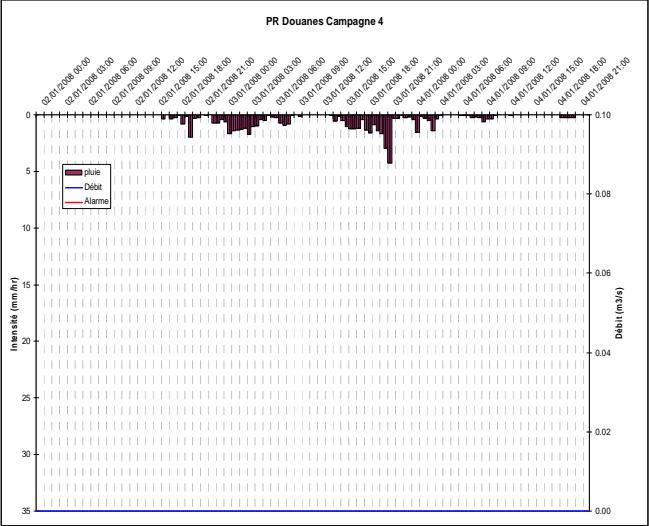
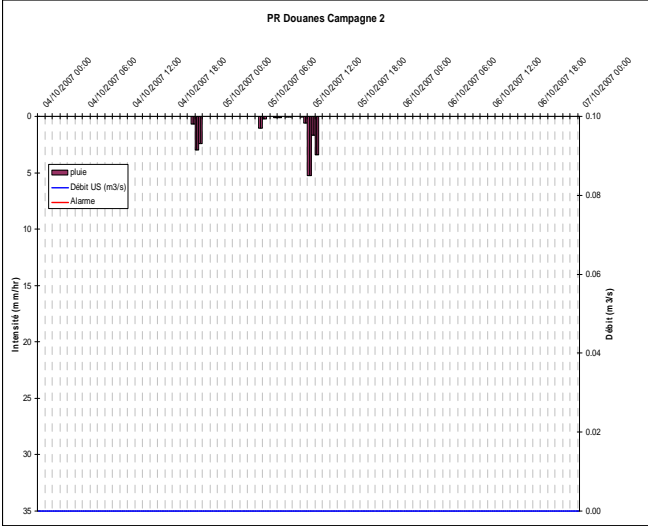
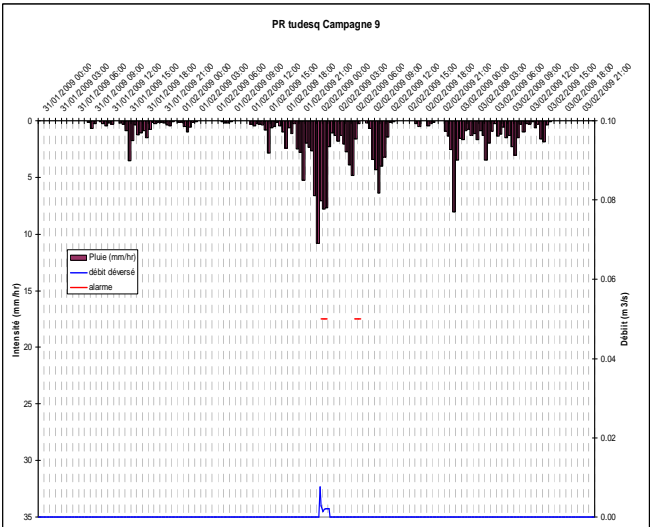
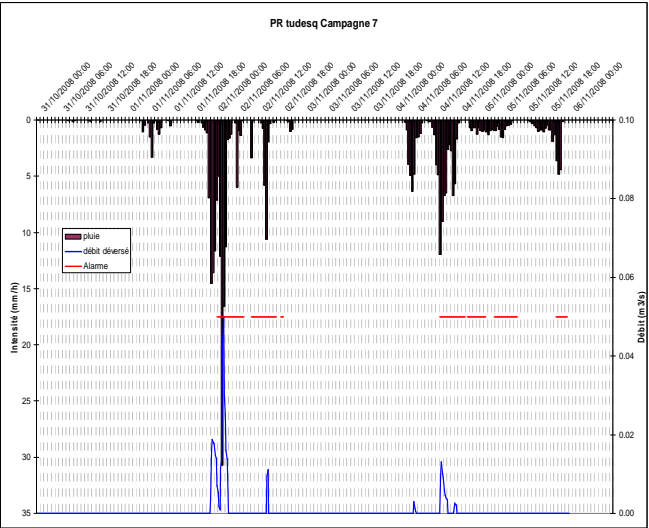
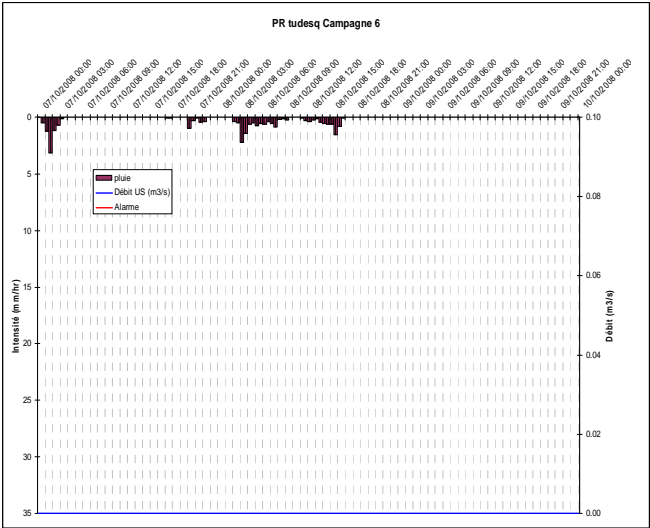
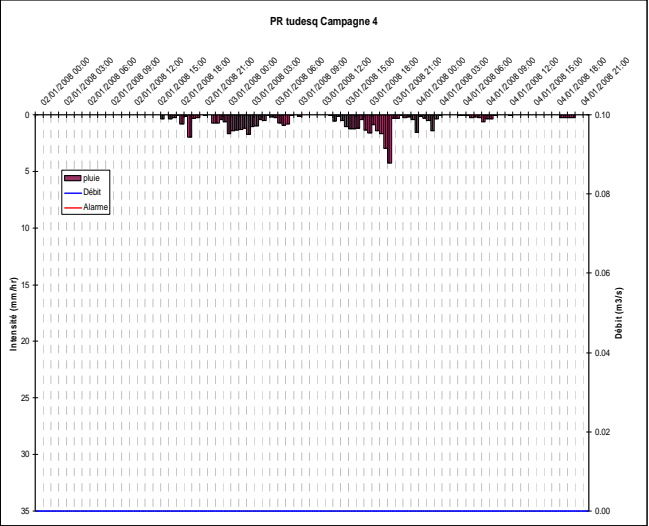
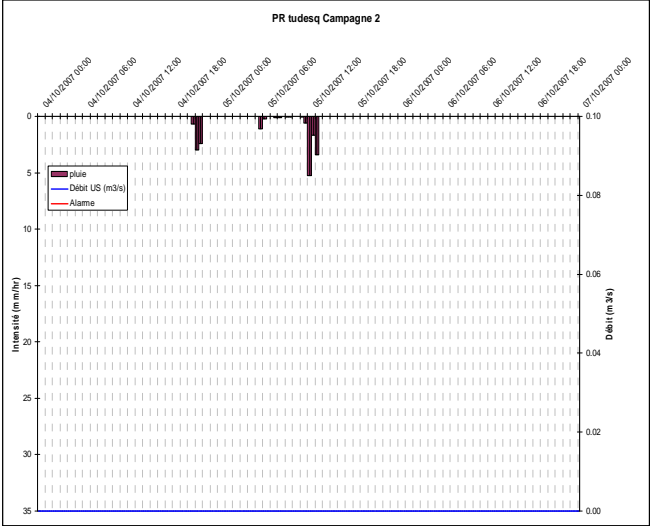


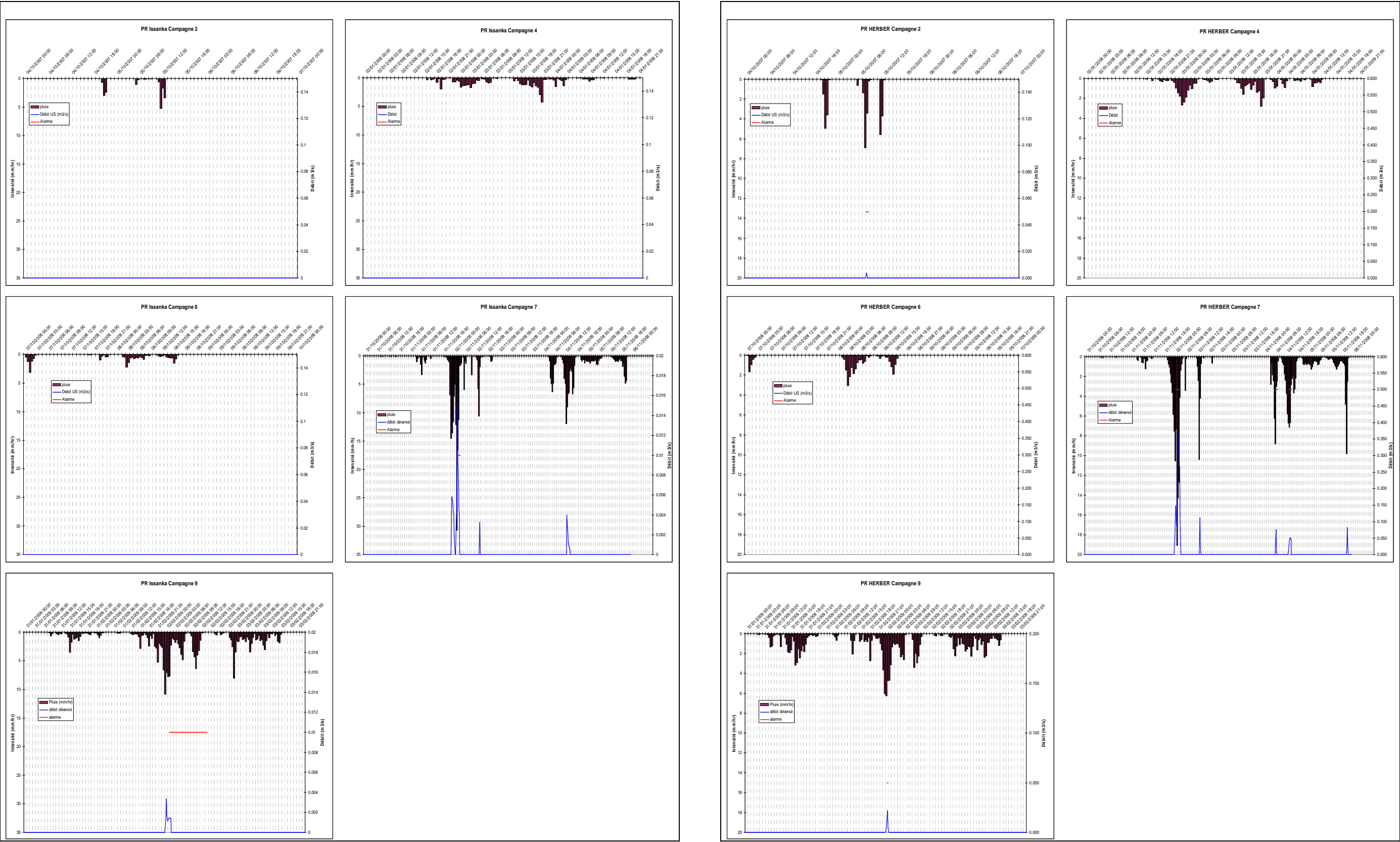


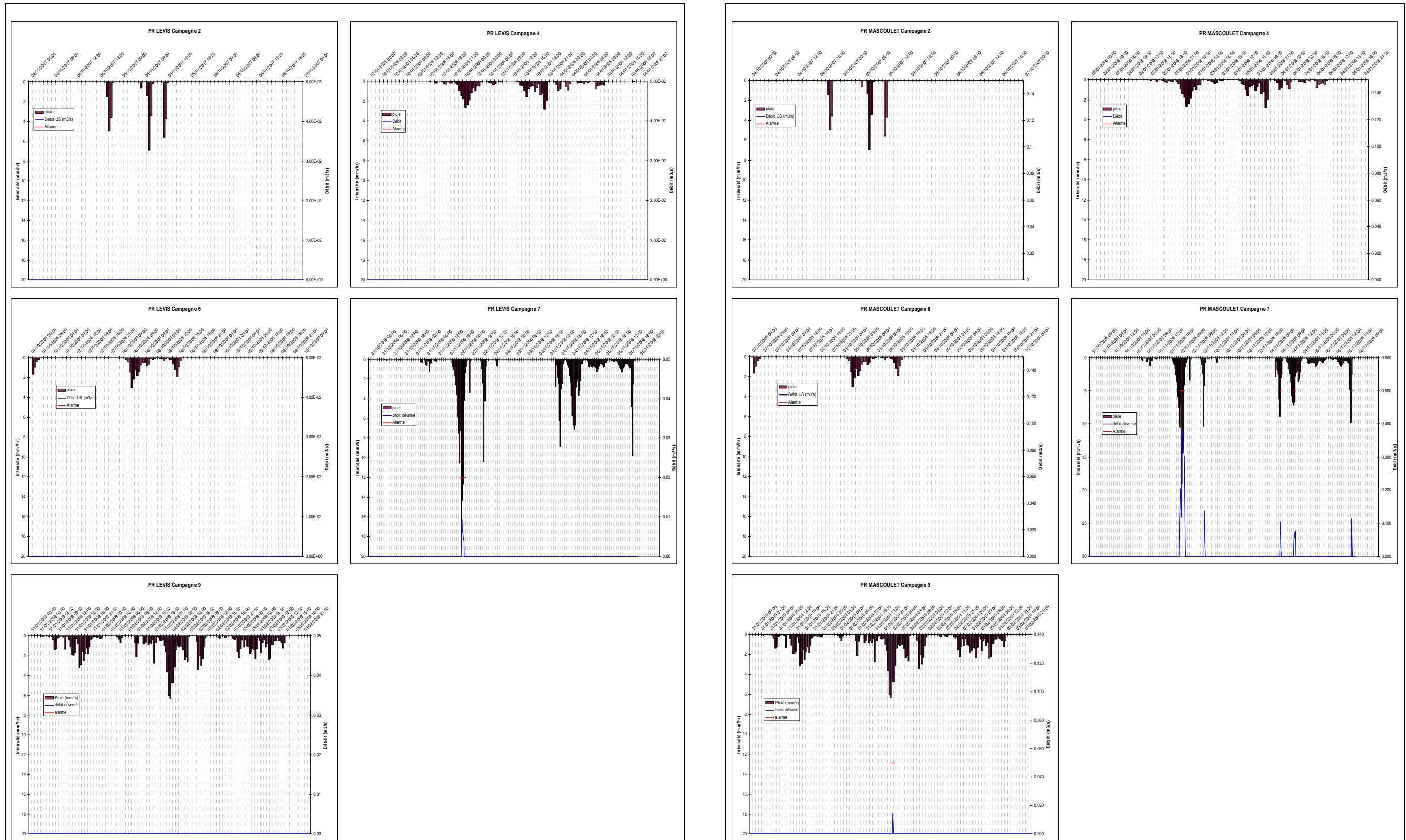


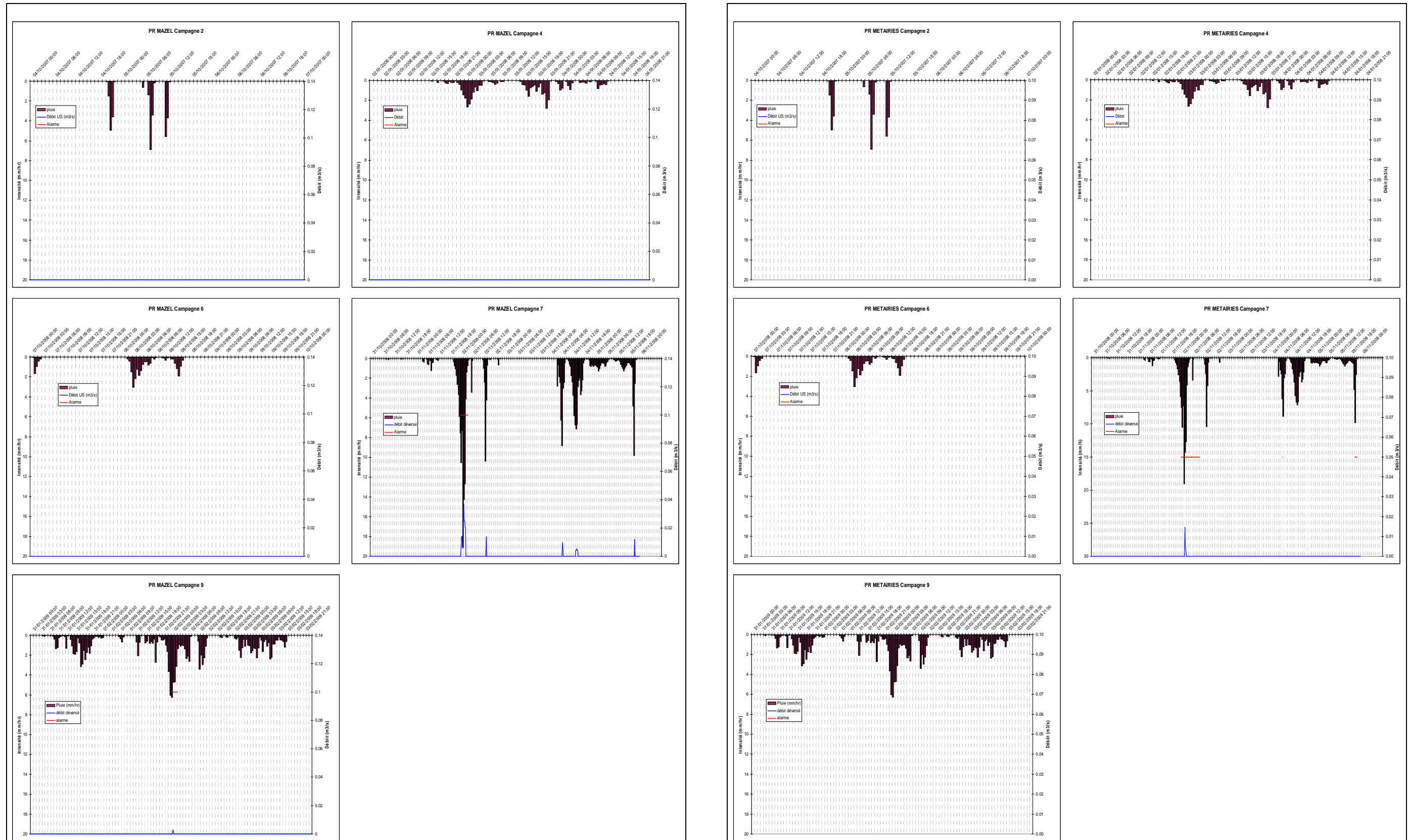


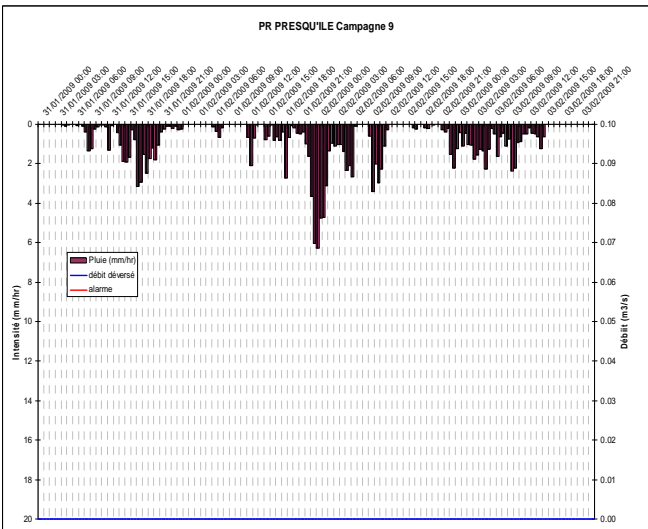
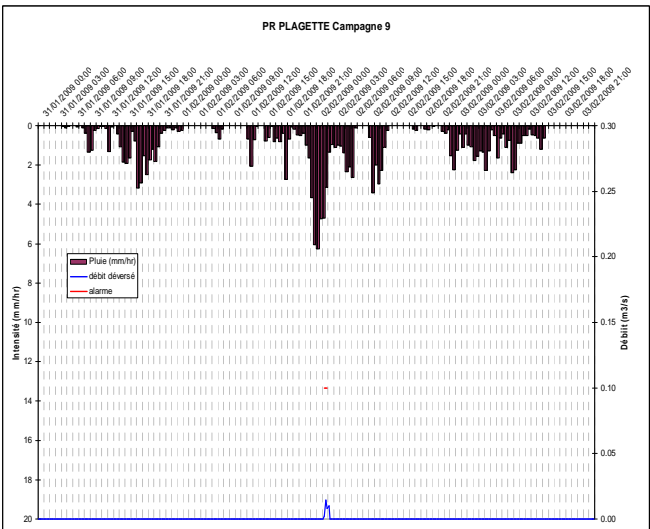
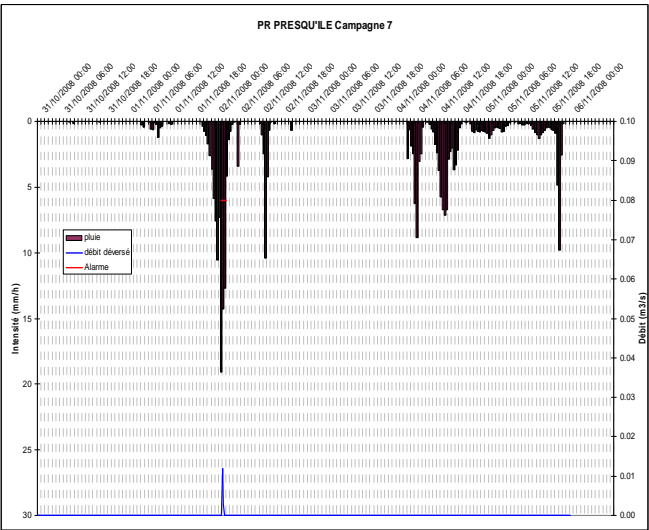
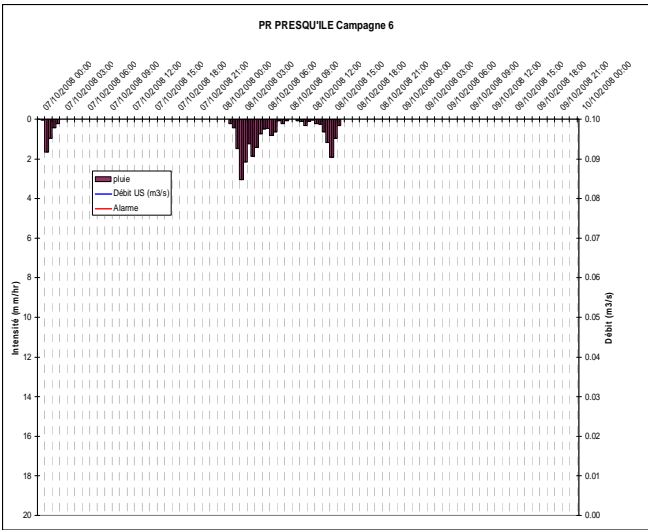
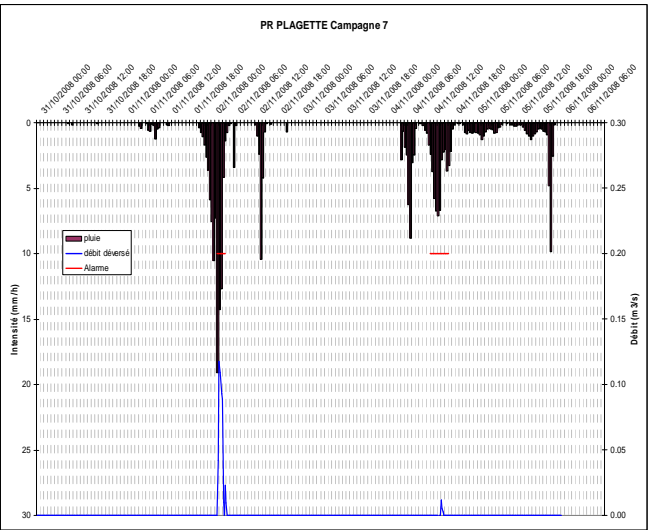
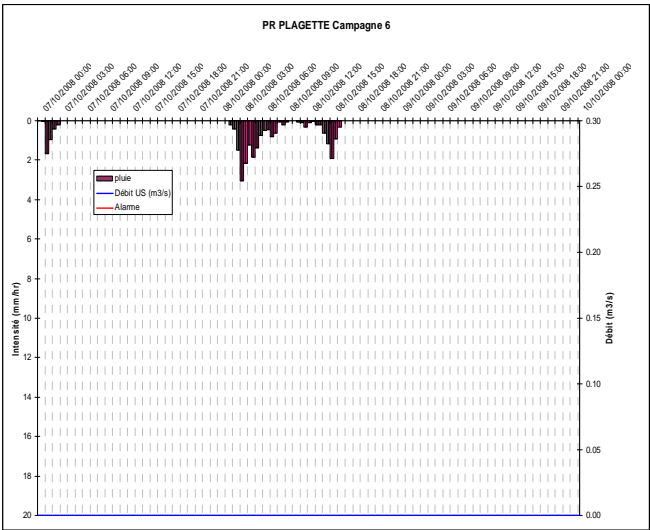
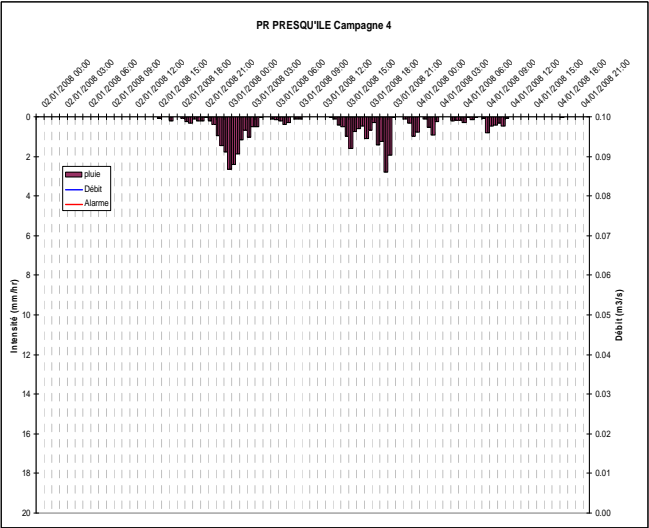
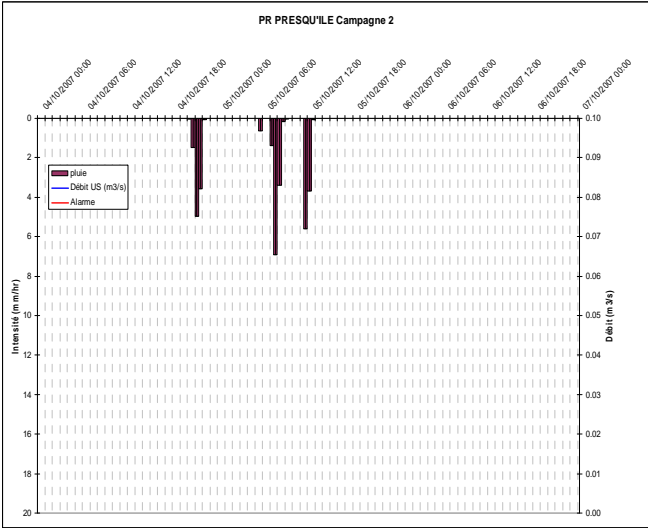
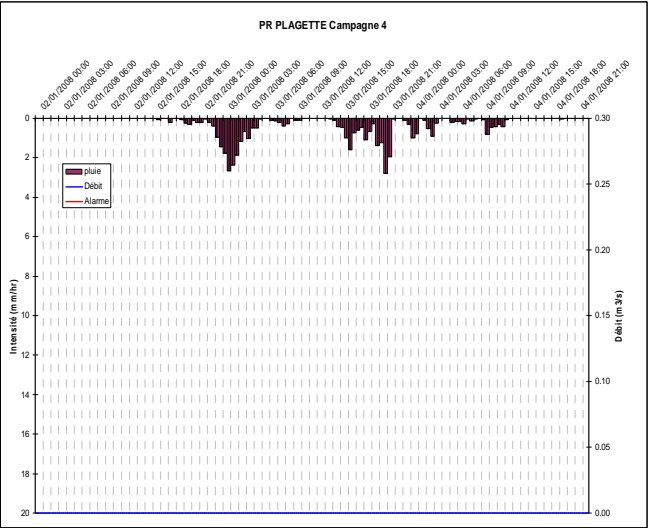
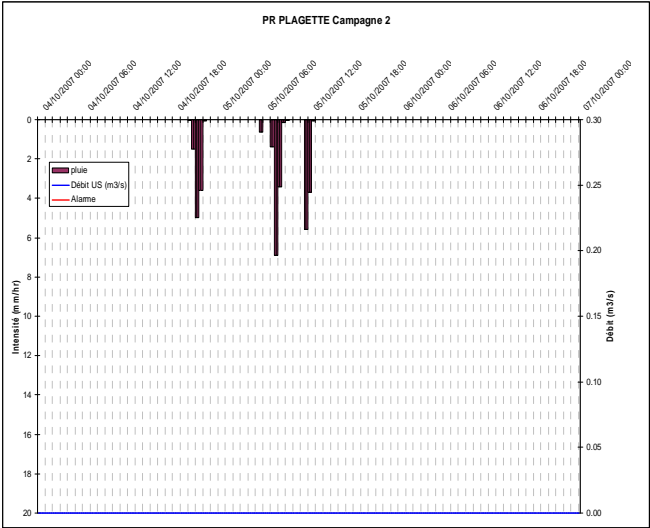


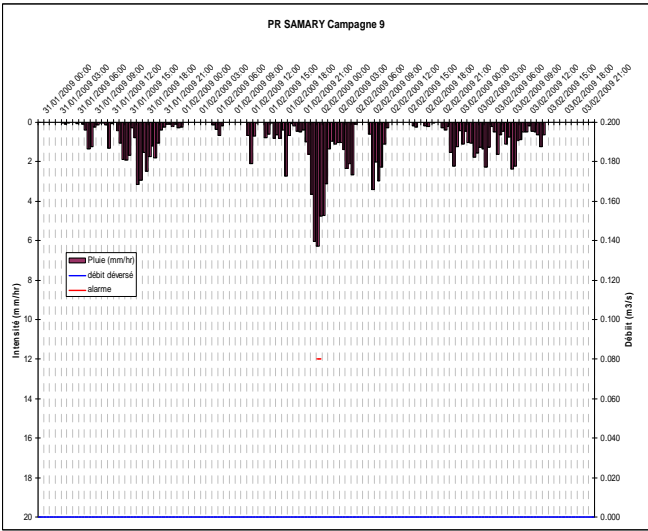
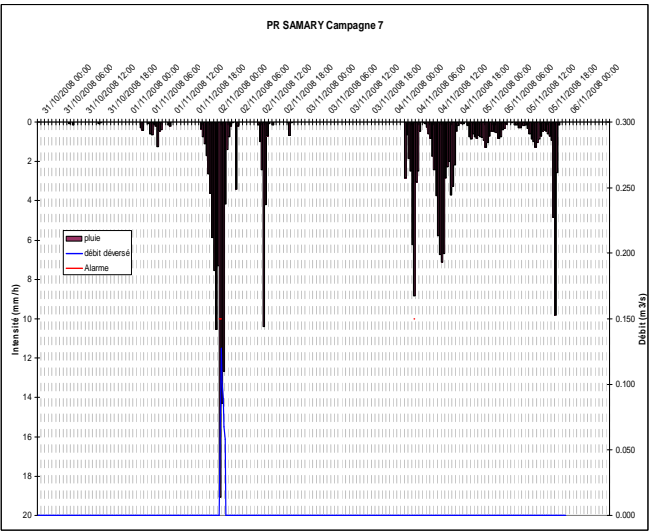
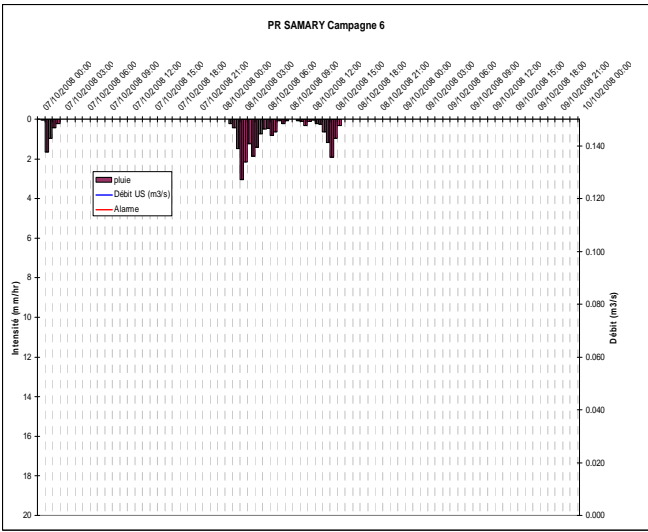
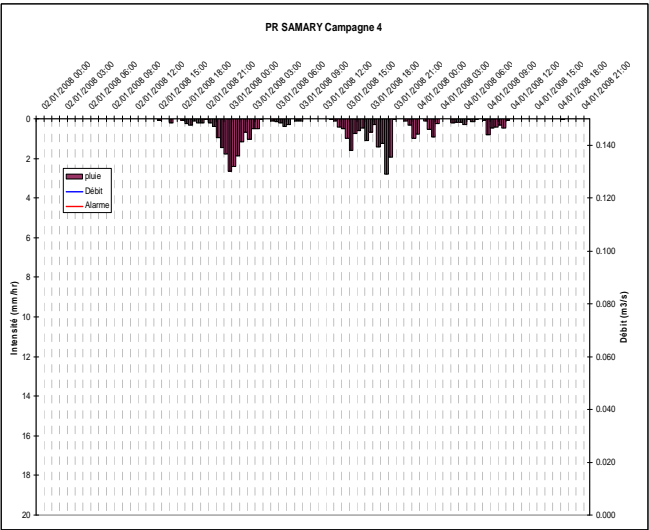
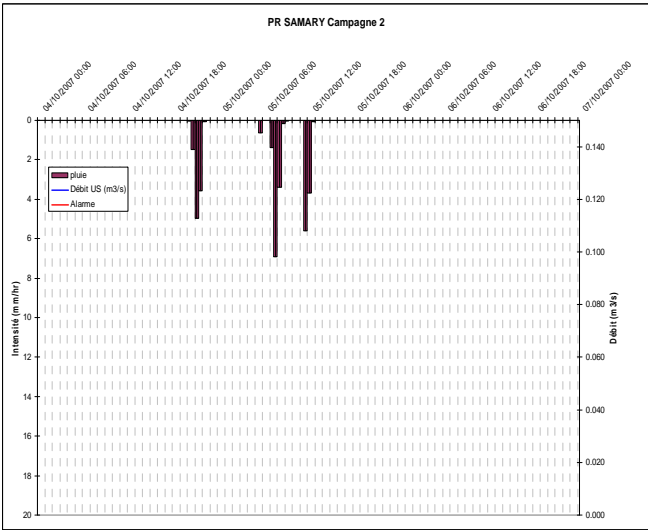
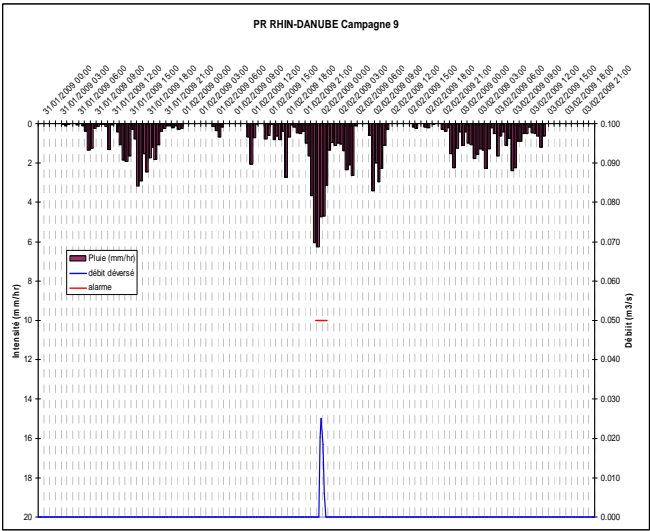
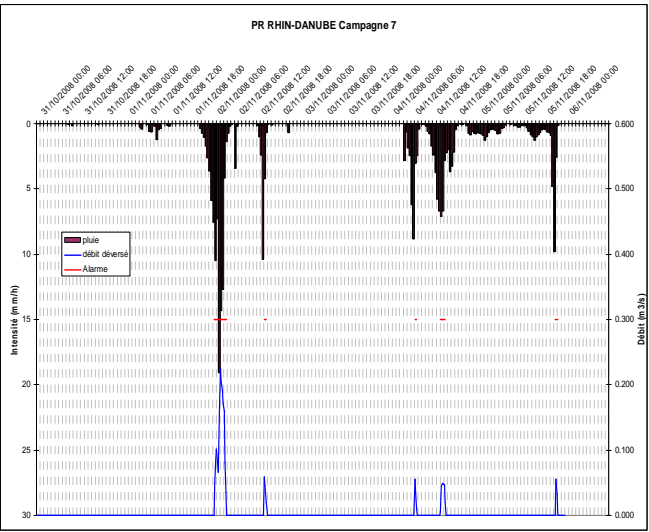
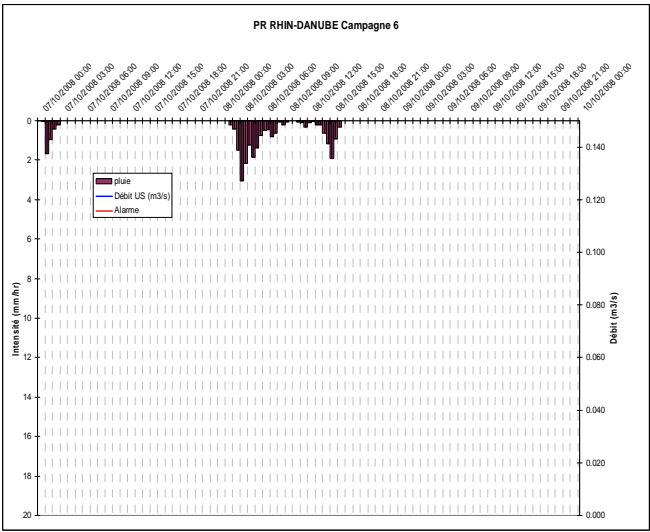
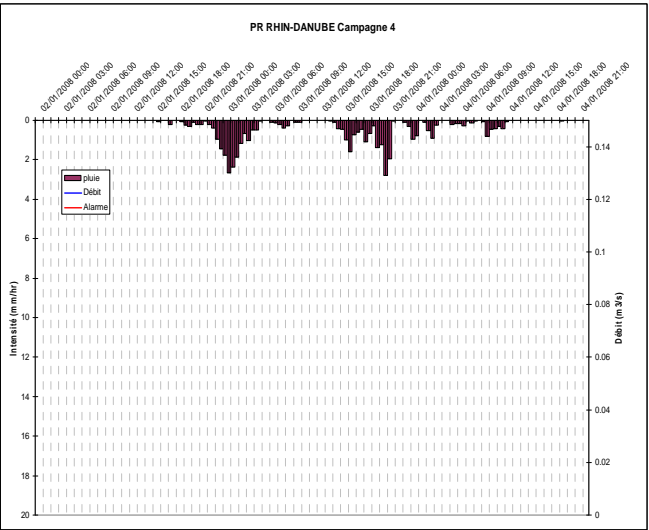
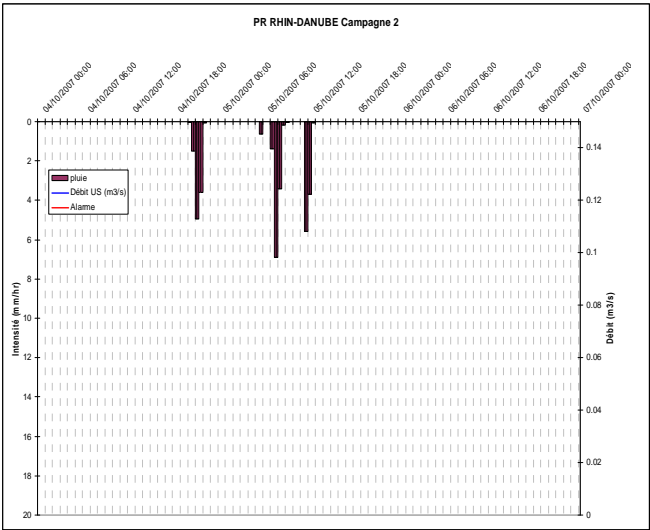


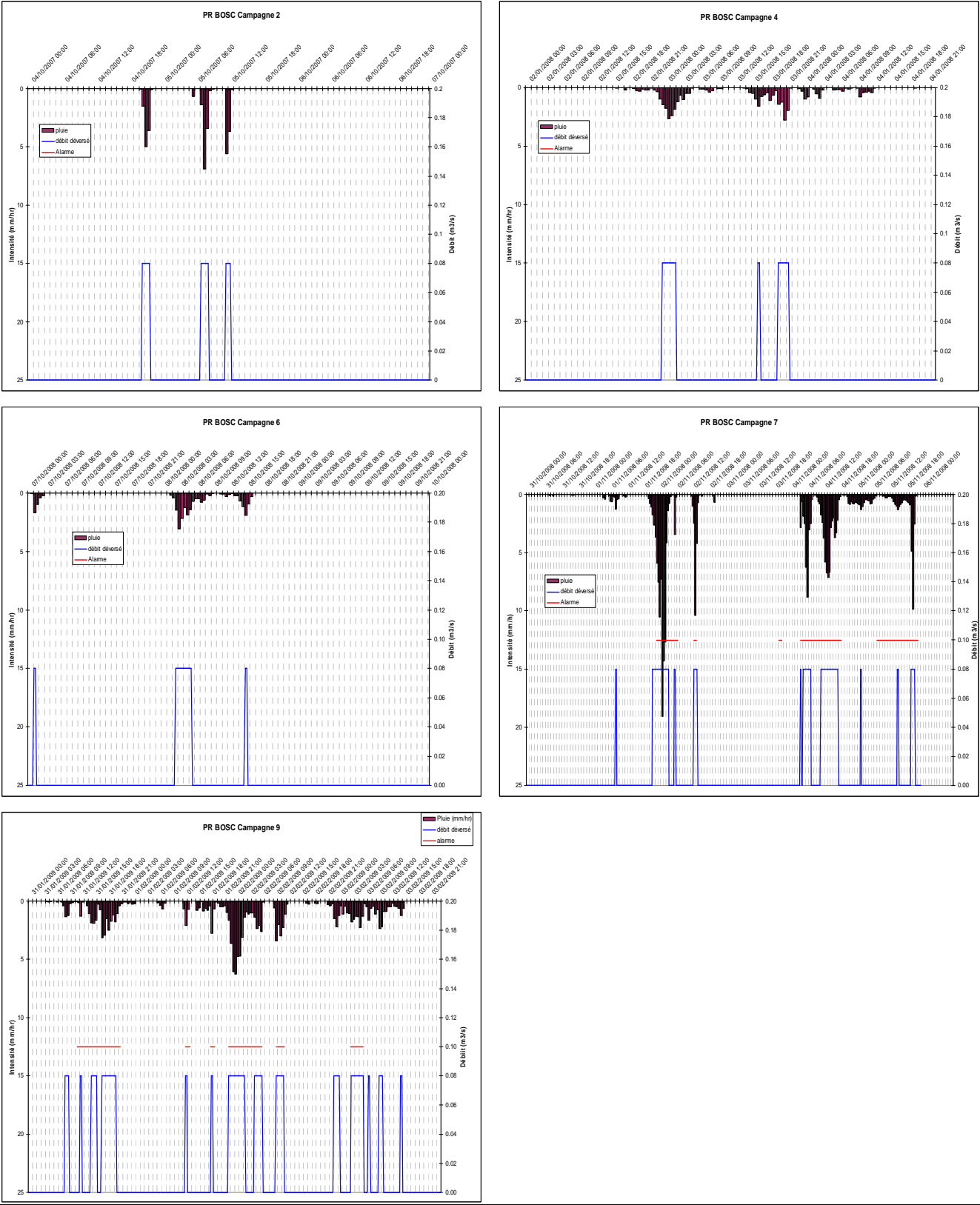








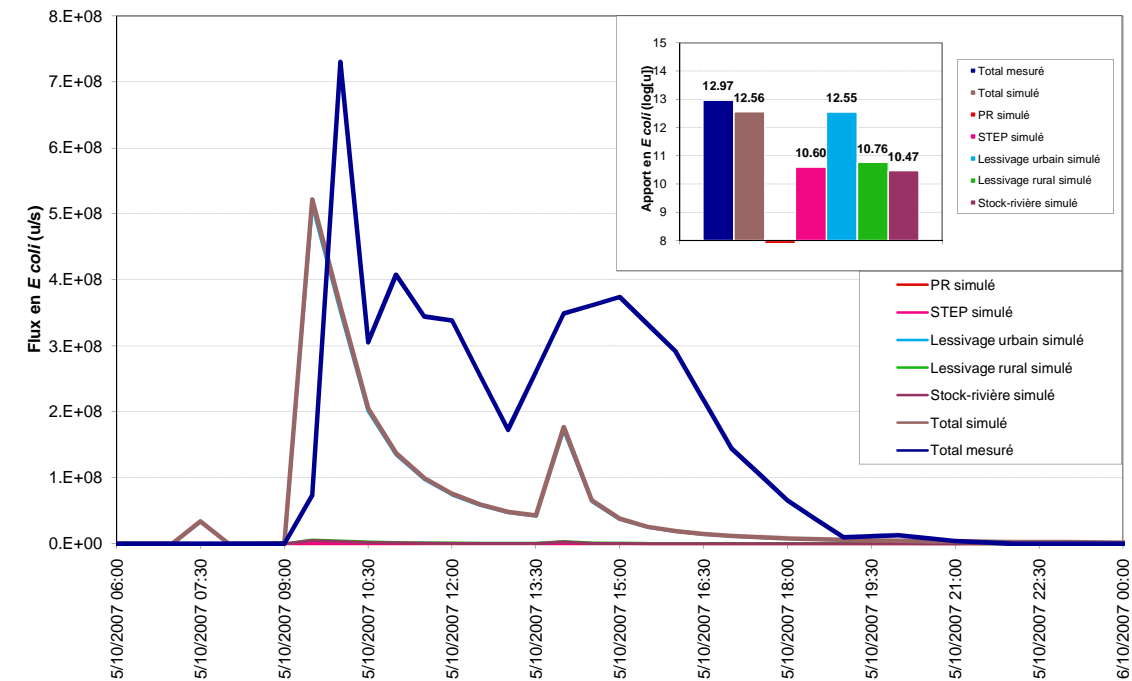




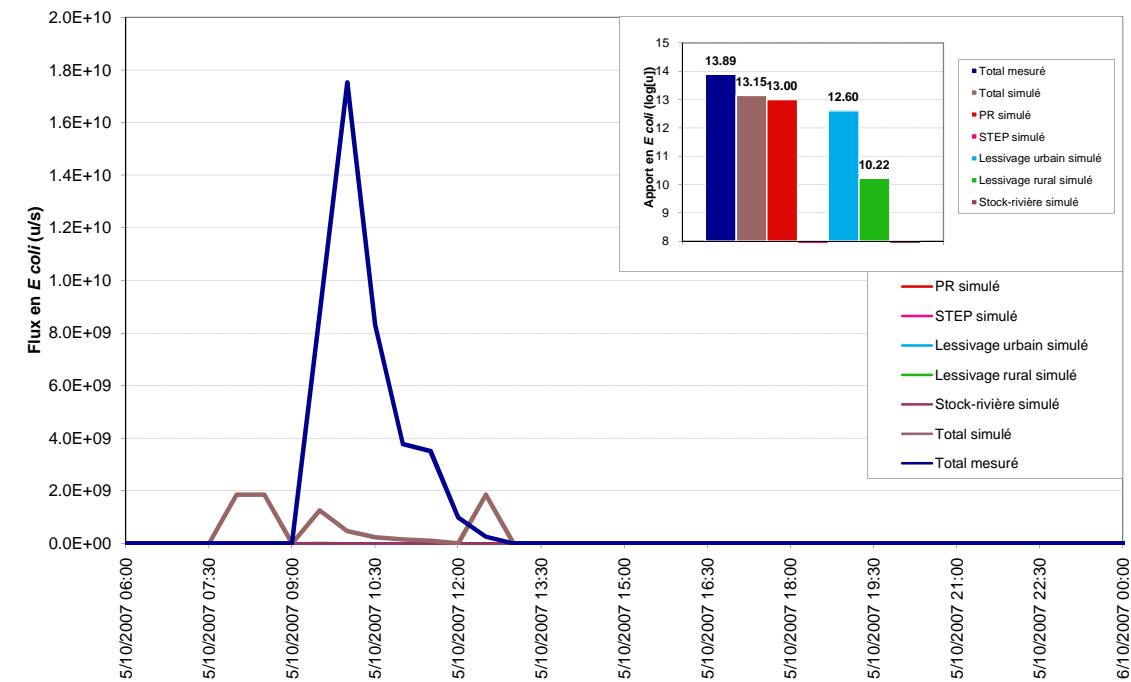
ANNEXE 4 : GRAPHIQUES DE CALAGE – POLLUTOGRAMMES

OCTOBRE 2007

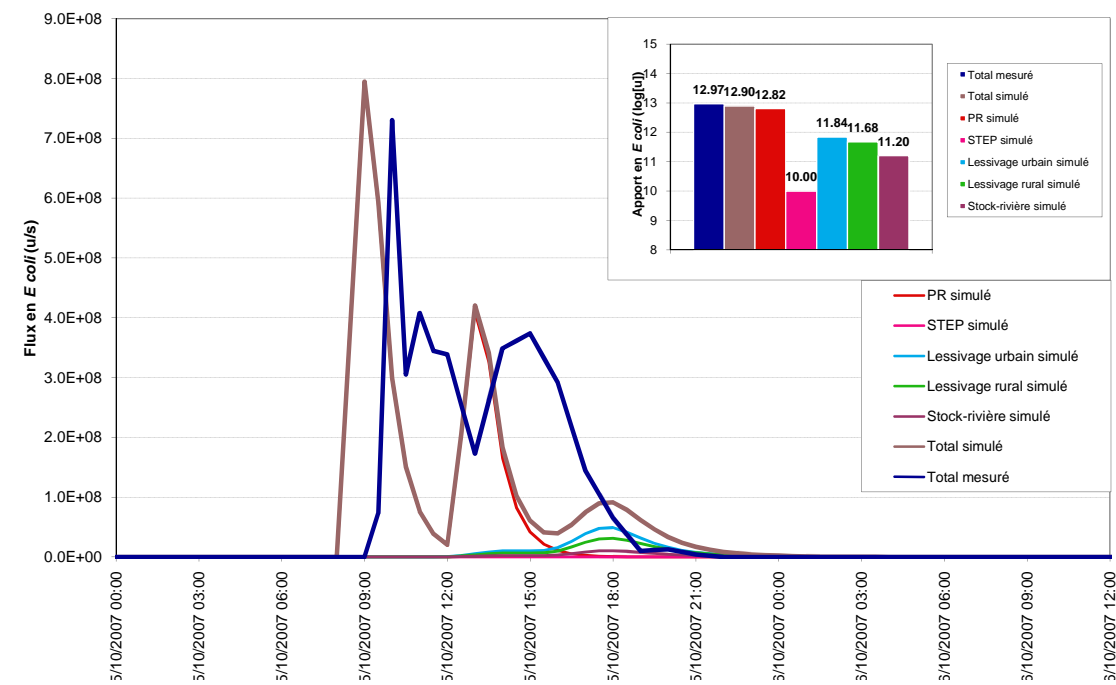
P5 – Aygues-Vacques



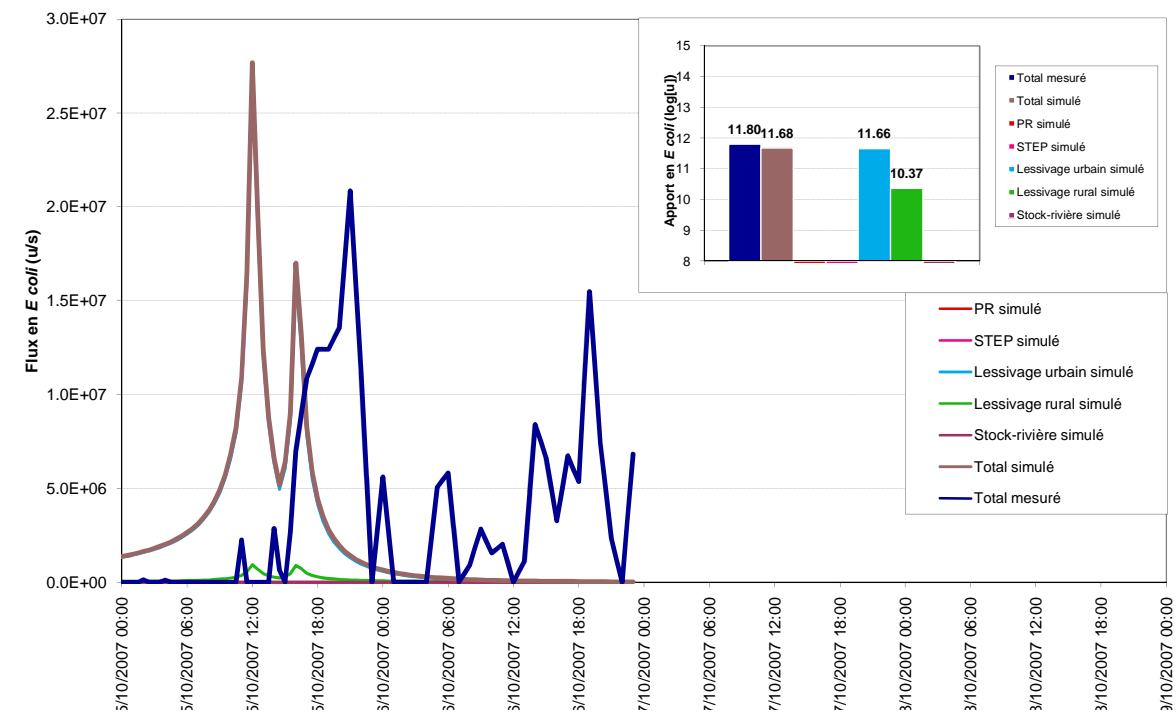
P30 – Sesquier-Escouladou



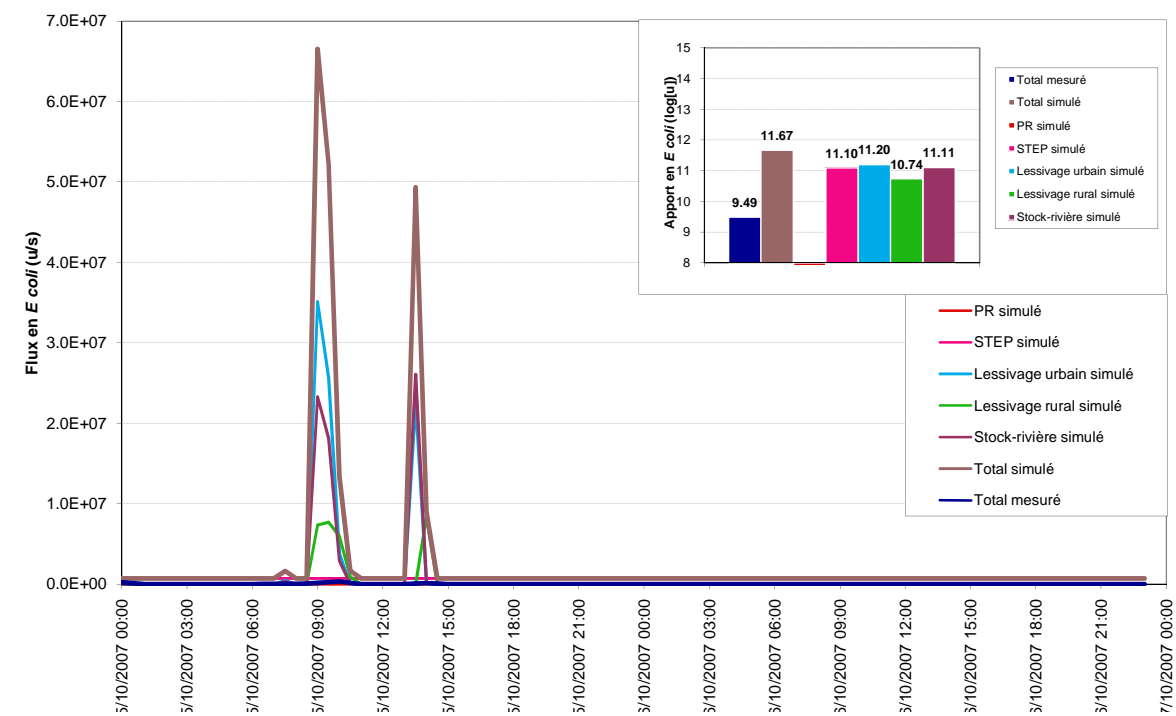
P30bis – Pallas



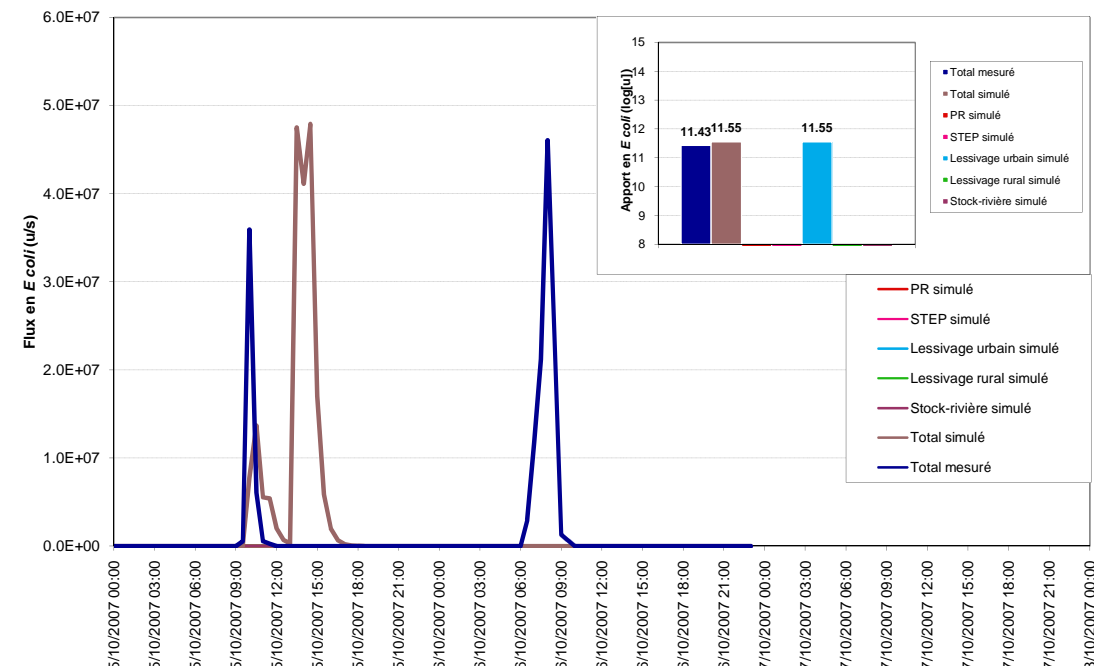
P157 - Fontanilles



P158 - Soupié

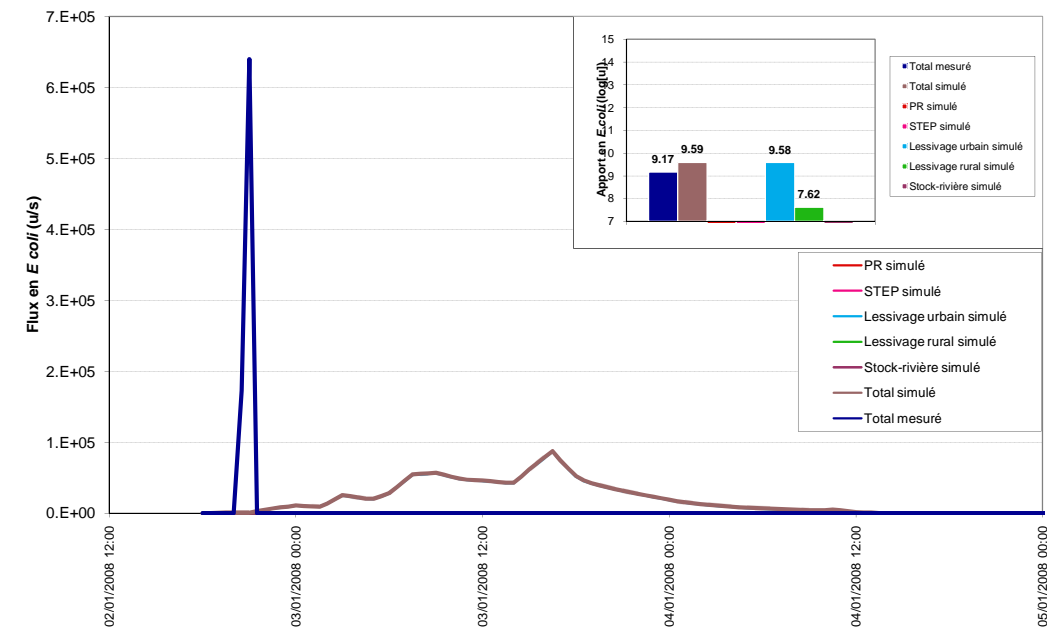


P31bis – Bourbou-Loupian

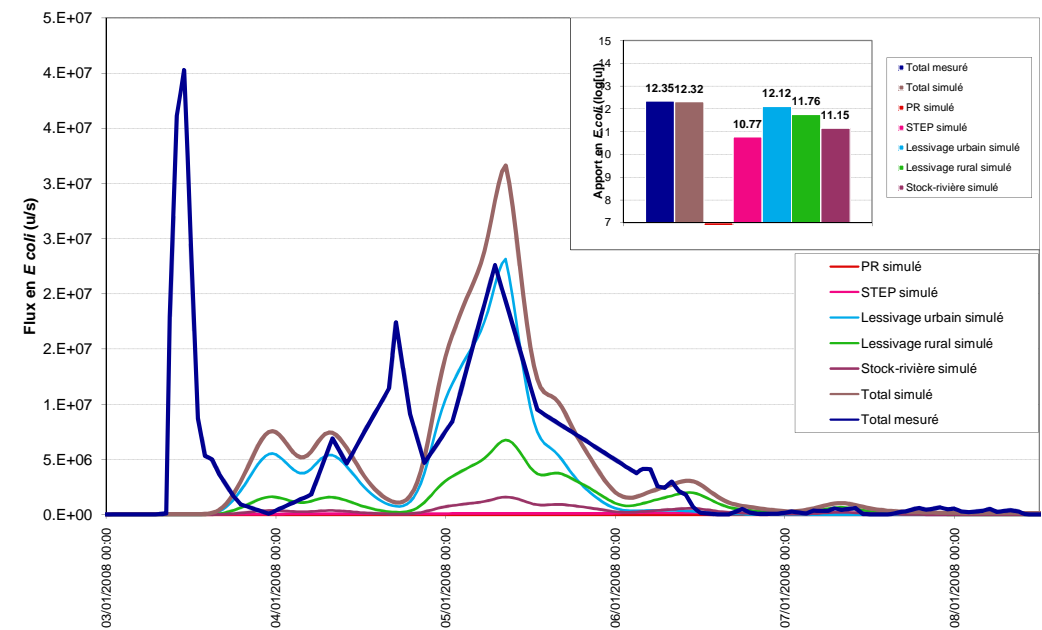


JANVIER 2008

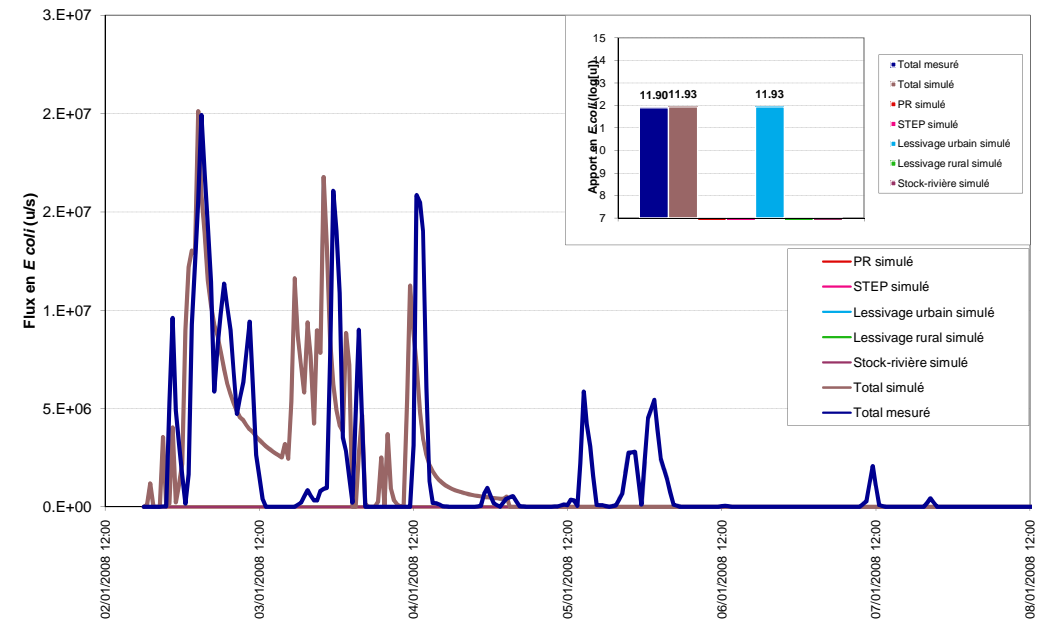
P30 – Sesquier-Escouladou



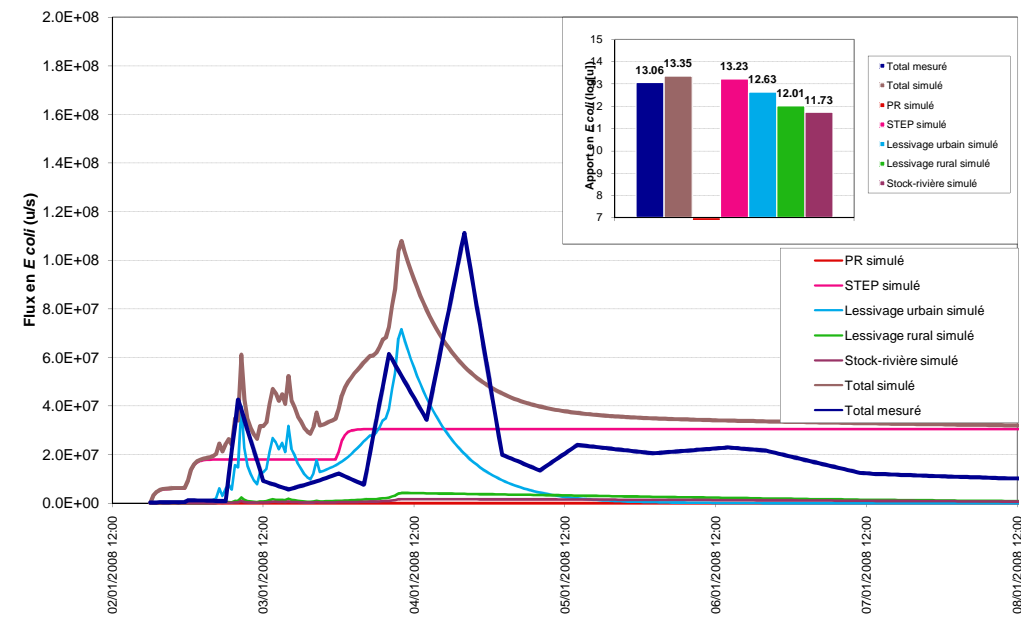
P30bis – Pallas



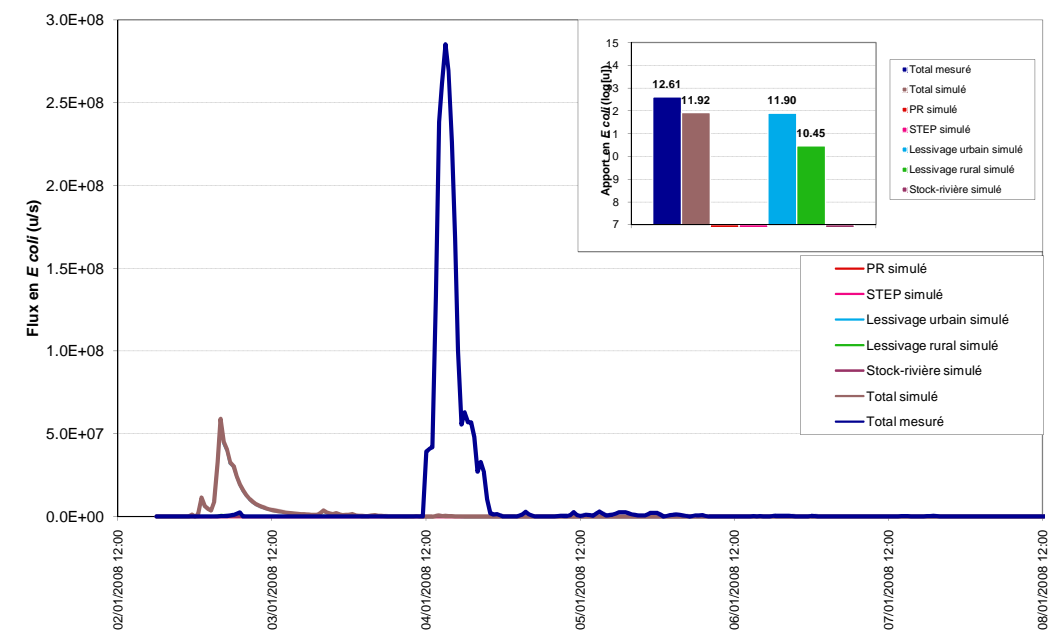
P31bis – Bourbou-Loupian



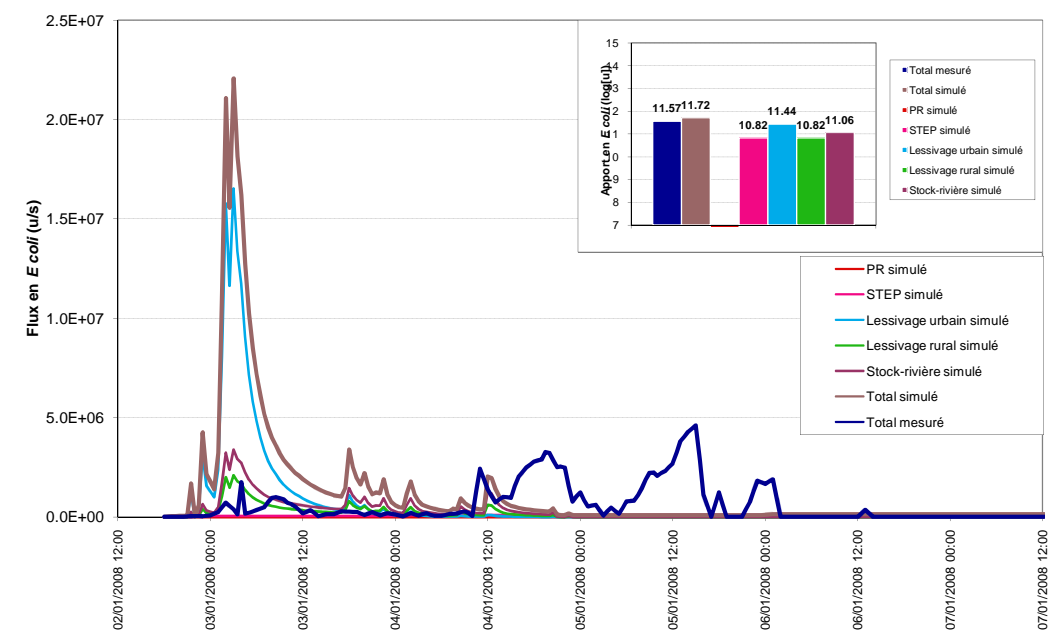
P57triA – Vène



P157 – Fontanilles

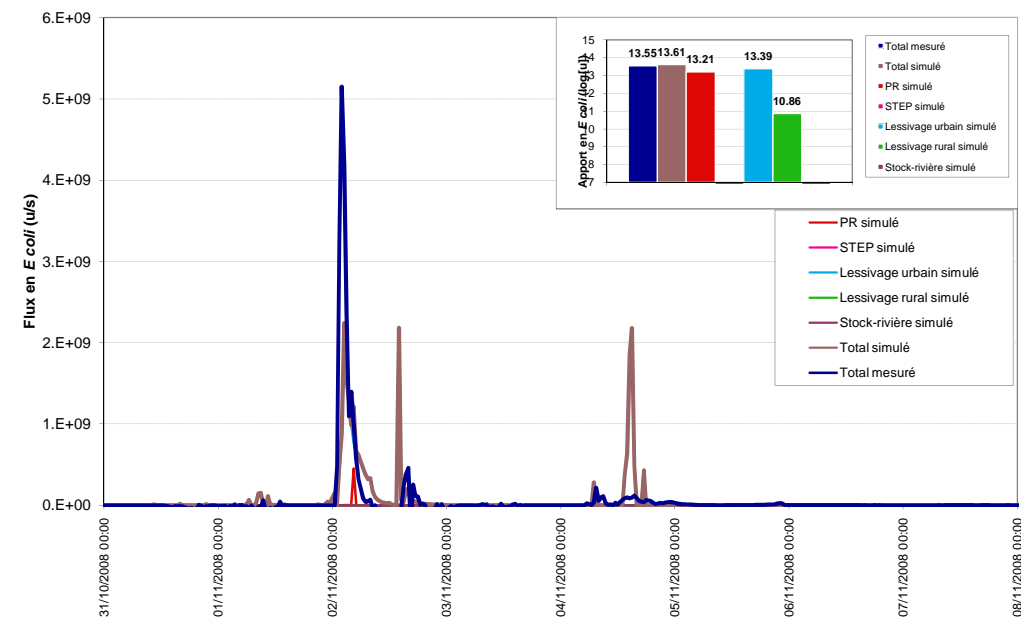


P159 – Soupié

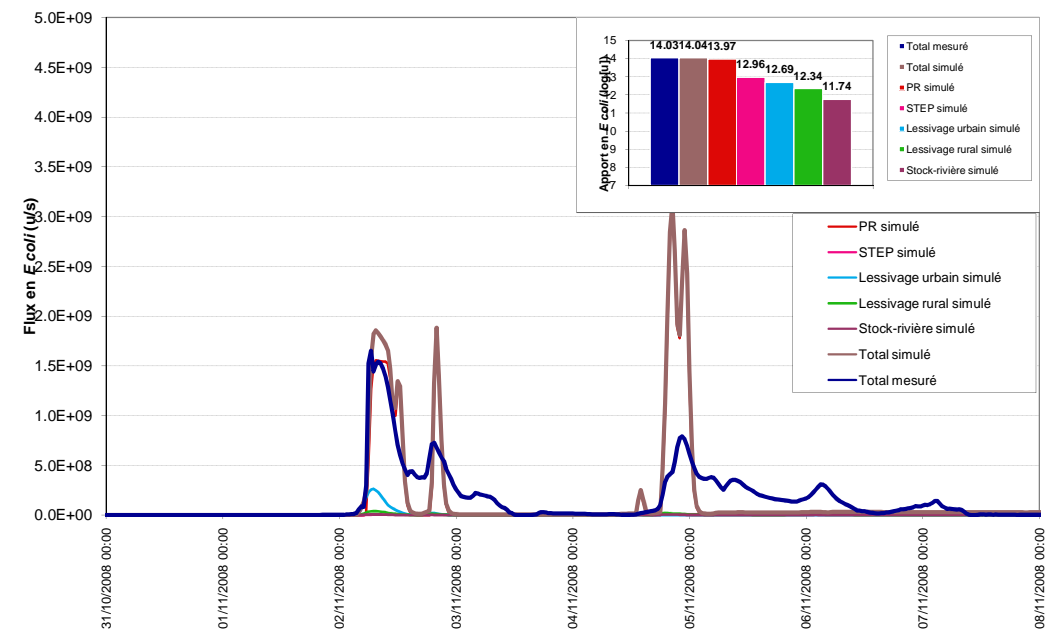


NOVEMBRE 2008

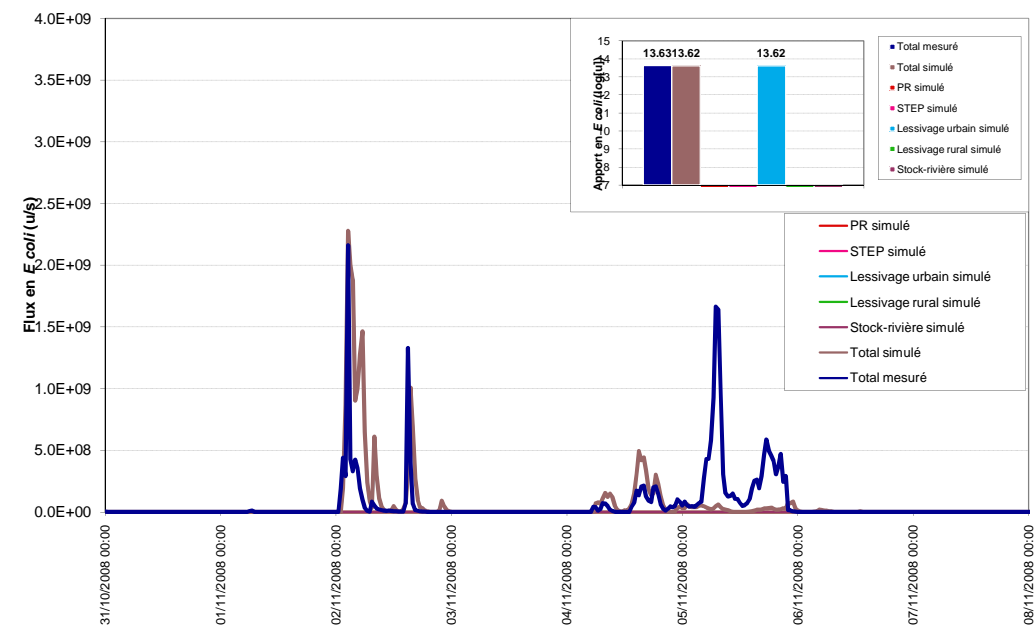
P30 – Sesquier-Escouladou



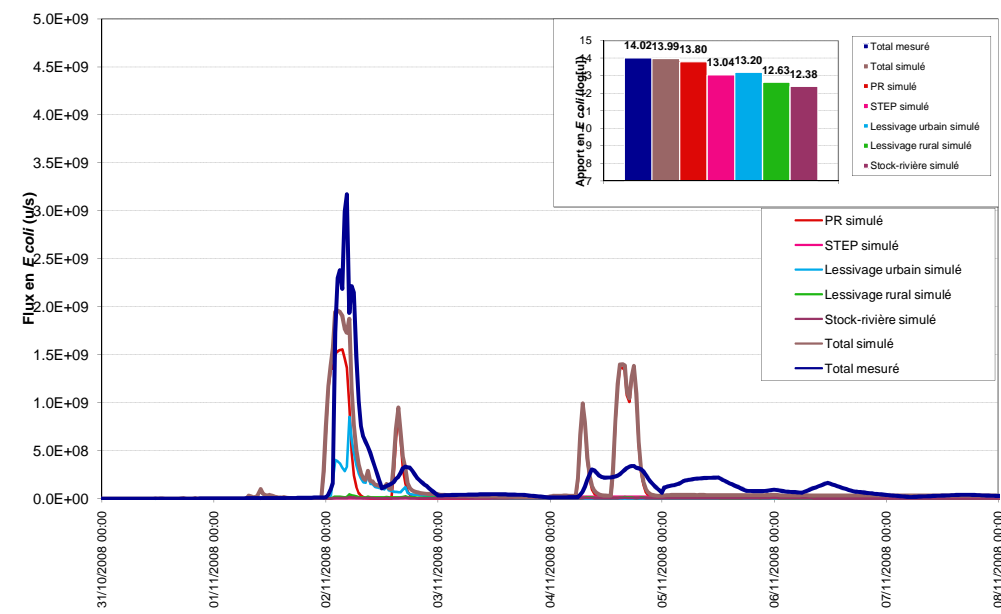
P30bis – Pallas



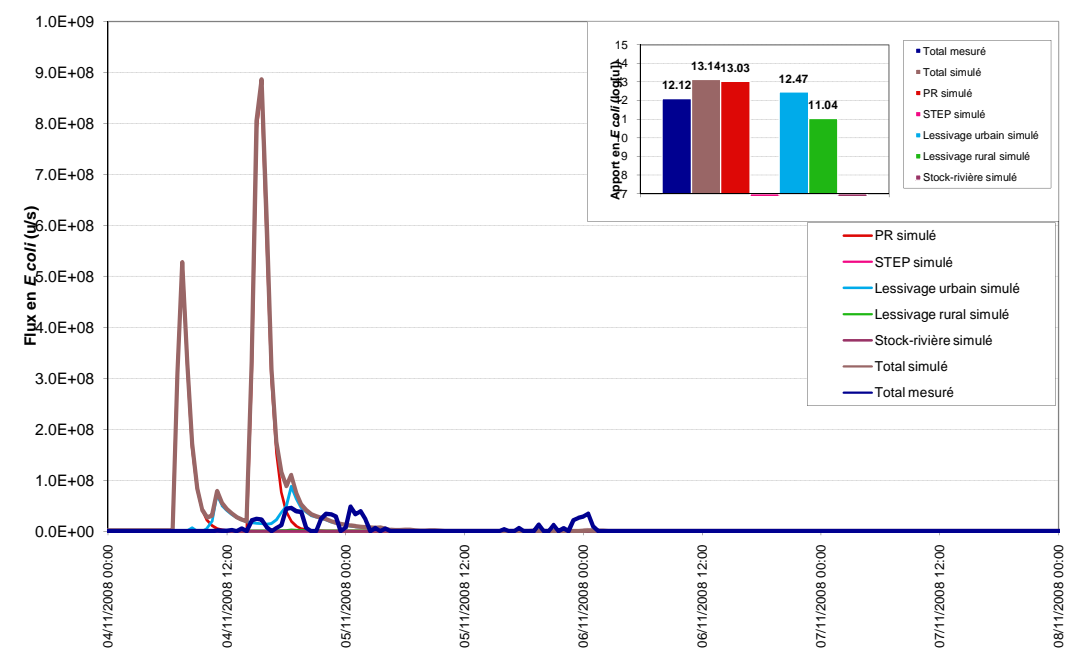
P31bis – Bourbou-Loupian



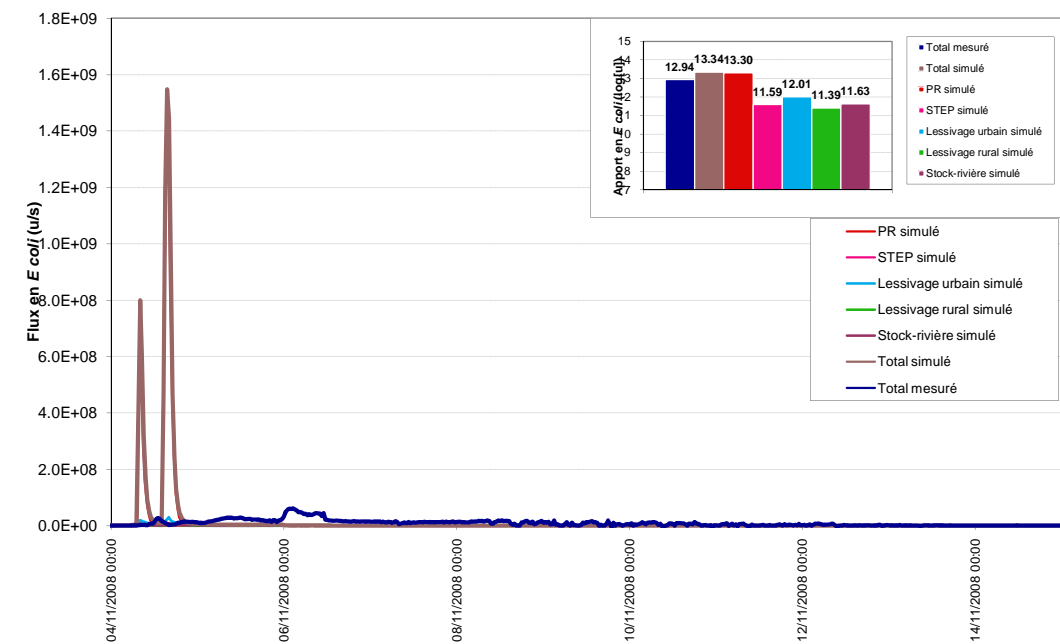
P57triA – Vène



P157 – Fontanilles

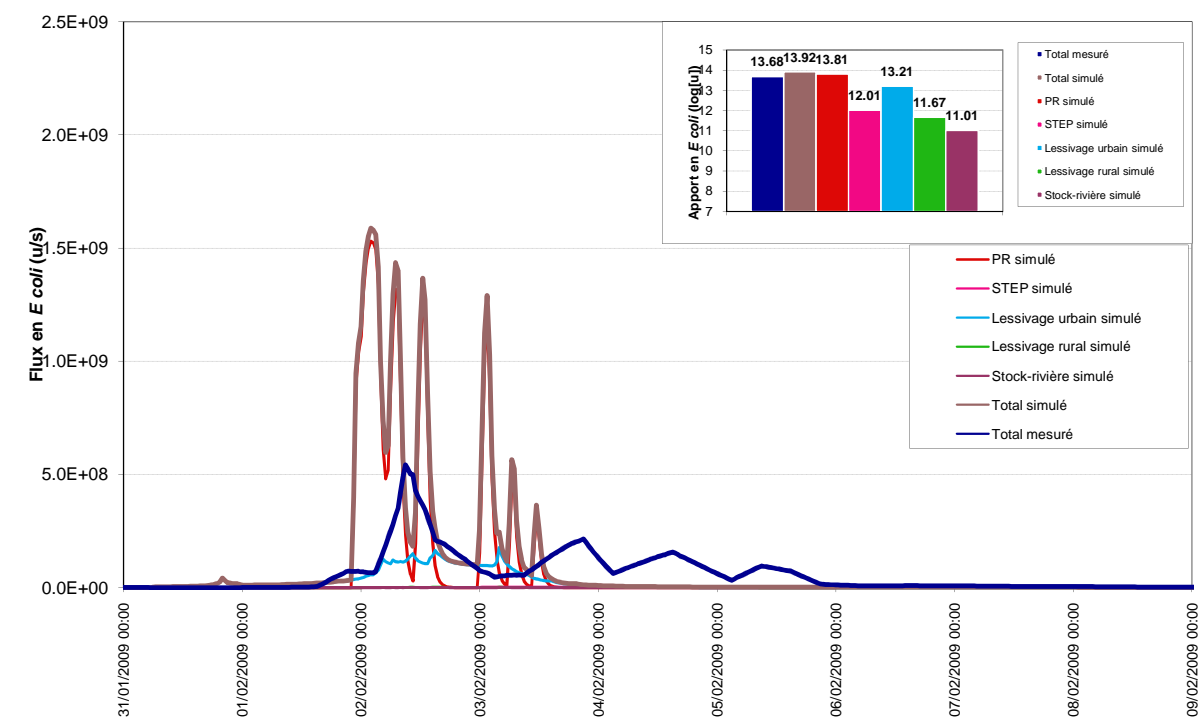


P159 – Soupié

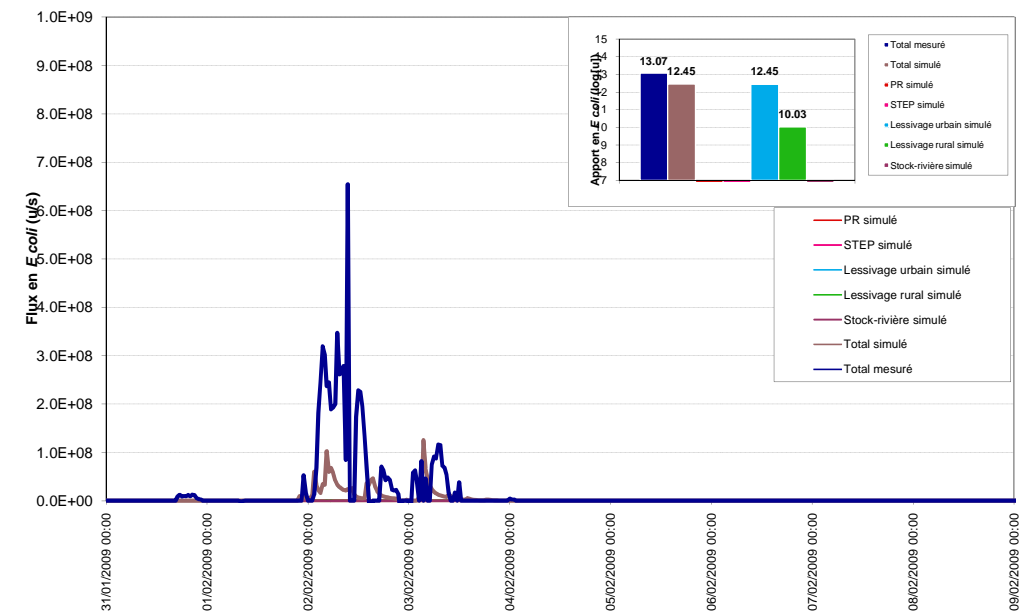


FEVRIER 2009

P57triA – Vène



P58 – Agau



P41 – Joncas

