

Coordonnatrice : Hélène JEANNERET (1)

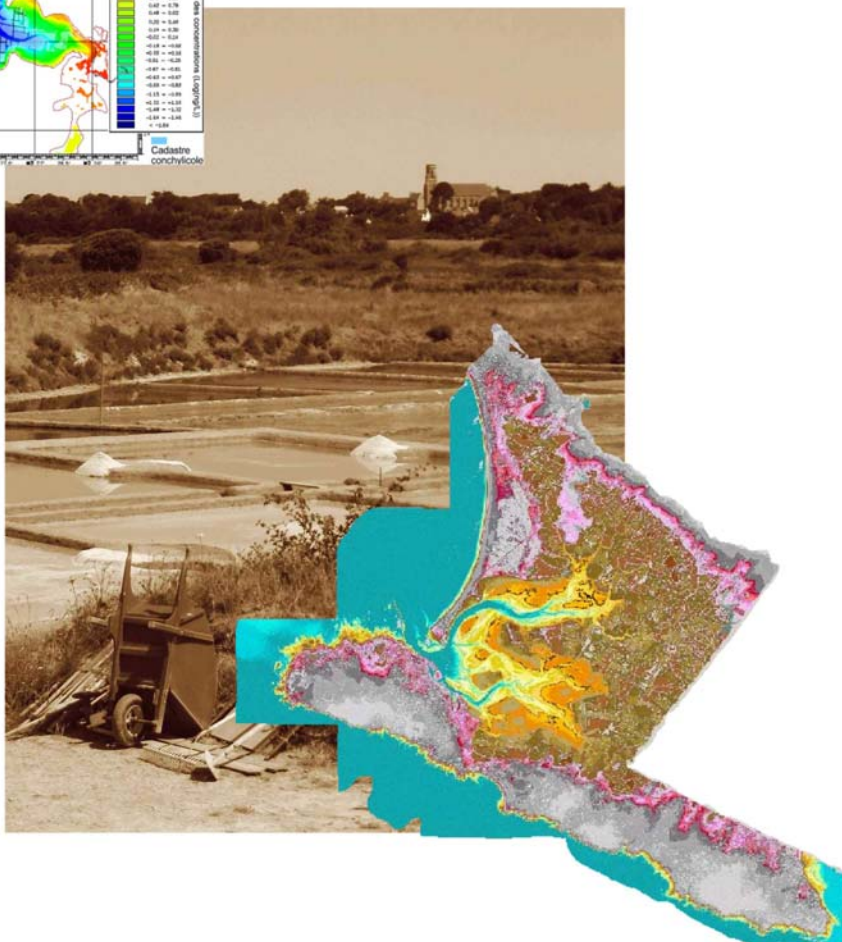
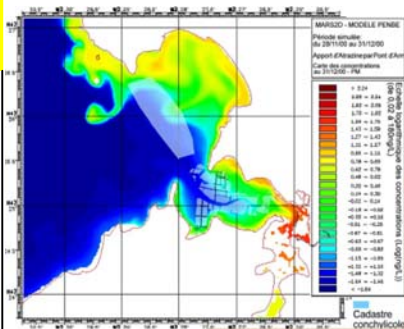
Auteurs : Maud GENDRONNEAU (3)
Joël HAURE (2)
Hélène JEANNERET (1)
Yoann LE MERRER (1)
Camille LEQUETTE (1)
Cédric LOMAKINE (4)
Jean Louis MARTIN (2)
Mathias PAPIN (2)
Catherine PONTHEOREAU (3)
Marc ROBIN (4)

RST/LER/MPL/06.01

(1) Ifremer Nantes (2) Ifremer Bouin (3) CAP Atlantique (4) Géolittomer

Annexes

 tude des secteurs du Croisic et de Pen-B e : estimation des apports continentaux et évaluation des stocks conchylicoles



LETG UMR 6554 - CNRS
Littoral, Environnement,
Télédétection, Géomatique



Annexe 1	Cartes courantologiques des secteurs du Croisic et de Pen-Bé
Annexe 2	Circulations côtières particulières
Annexe 3	Bathymétries utilisées
Annexe 4	Surcotes dues au Vent – La Turballe
Annexe 5	Estimation des flux moyens
Annexe 6	Comparaison des bases de données hydrologiques de la Vilaine
Annexe 7	Impact hydrodynamique de la Vilaine en périodes de crue et d'étiage
Annexe 8	Protocole de mesure de débit d'un cours d'eau
Annexe 9	Optimisation du protocole de mesure des débits
Annexe 10	Caractéristiques de la sonde multiparamètres YSI
Annexe 11	Liste des phytosanitaires recherchés
Annexe 12	Devenir des bactéries en zone littorale
Annexe 13	Validation des modèles courantologiques secteur de Pen-Bé
Annexe 14	Validation des modèles courantologiques secteur du Croisic
Annexe 15	Validation des modèles ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)
Annexe 16	Évaluation des modèles courantologiques
Annexe 17	Résultats du suivi des étiers
Annexe 18	Liste des phytosanitaires détectés
Annexe 19	Résultats du suivi des phytosanitaires par station de prélèvement
Annexe 20	Réponse du modèle Croisic aux différents forçages
Annexe 21	Calage du modèle SWAT : relation simulations-observations

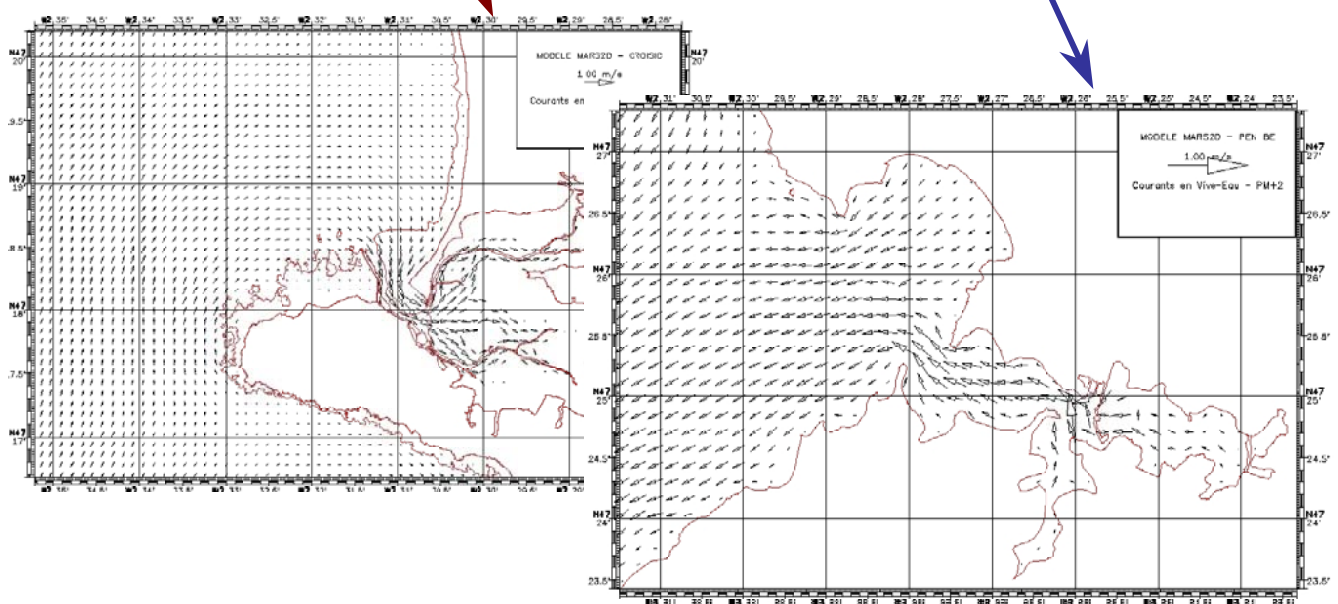
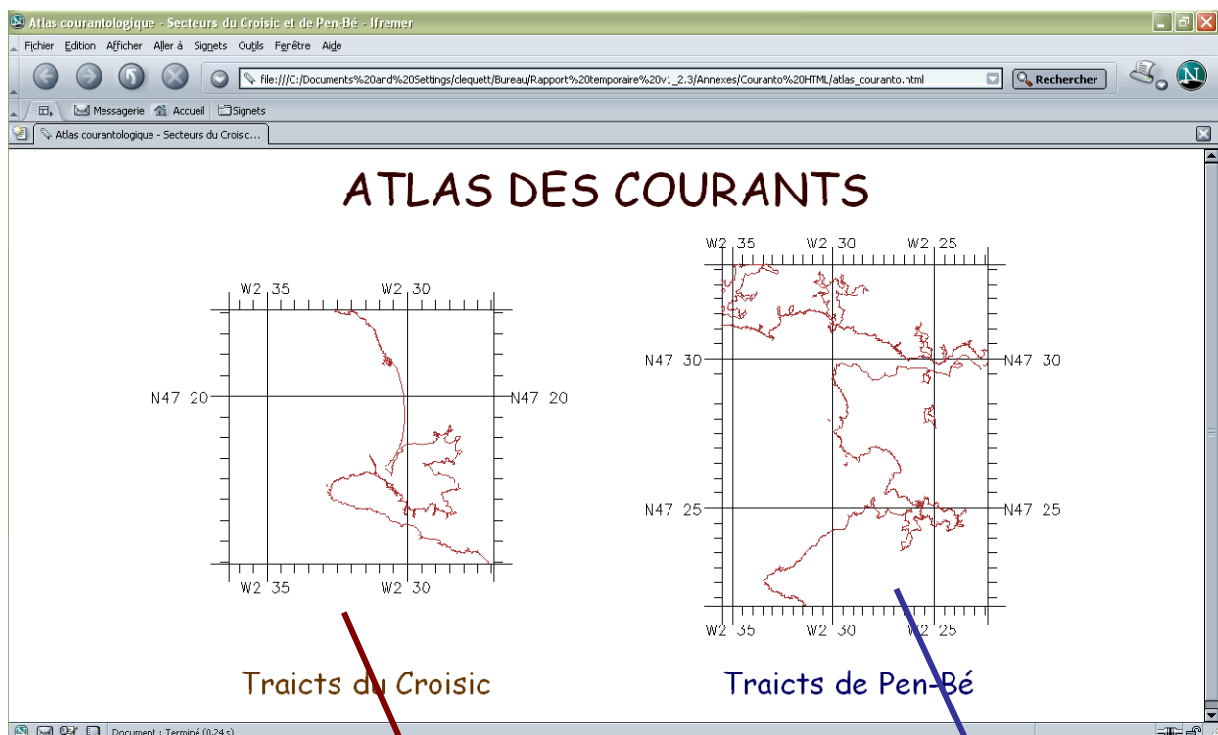
Annexe 1

Cartes courantologiques des secteurs du Croisic et de Pen-Bé

Les cartes sont disponibles sur le [support CD](#) accompagnant le présent rapport. Les courants sont donnés heure par heure, de PM-6 à PM+6 pour chaque secteur, en marées de vive et morte-eau (horaire des marées de St Nazaire).

Atlas des courants : mode d'emploi (cf. CD ci-joint)

- Insérer le disque dans le lecteur
- Ouvrir le fichier *atlas_courants.html*
- Cliquer sur la carte correspondante au secteur choisi : *Traits du Croisic* ou *Traict de Pen-Bé*
- Choisir *la Marée de Morte Eau* ou *la Marée de Vive Eau*
- Les flèches situées en haut de page permettent de naviguer de pleine mer - 6 heures à pleine mer + 6 heures



Annexe 2

Circulations côtières particulières

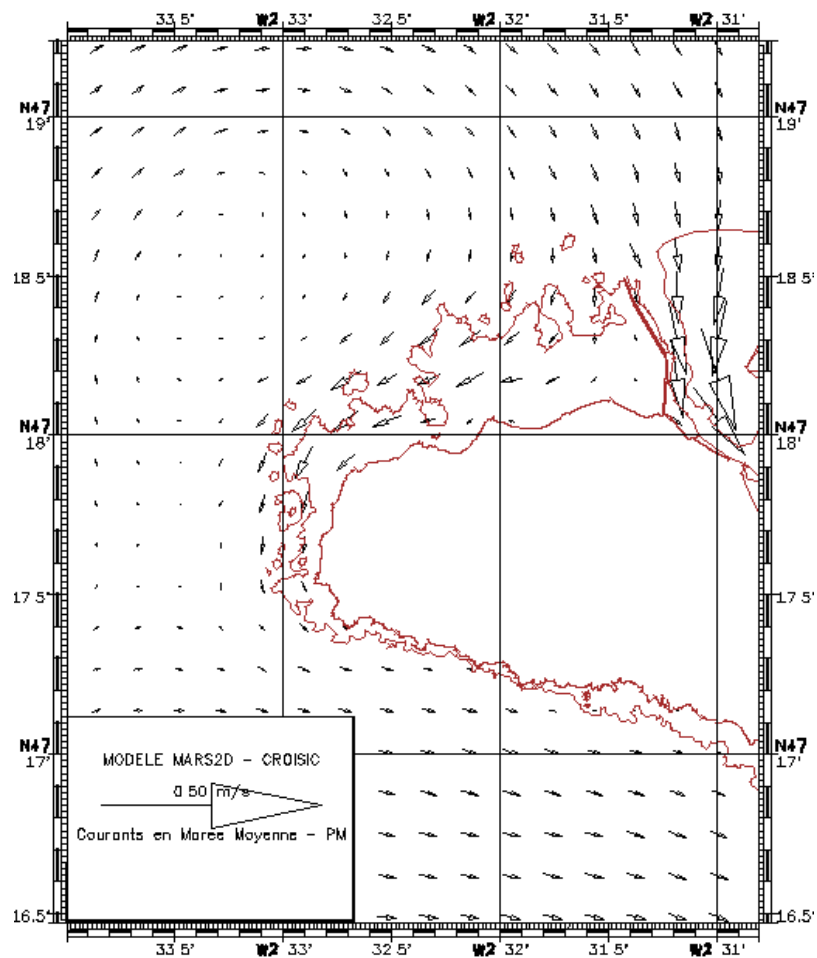


Fig.1 - Courants de marée à la renverse flot/jusant

Secteur du Croisic

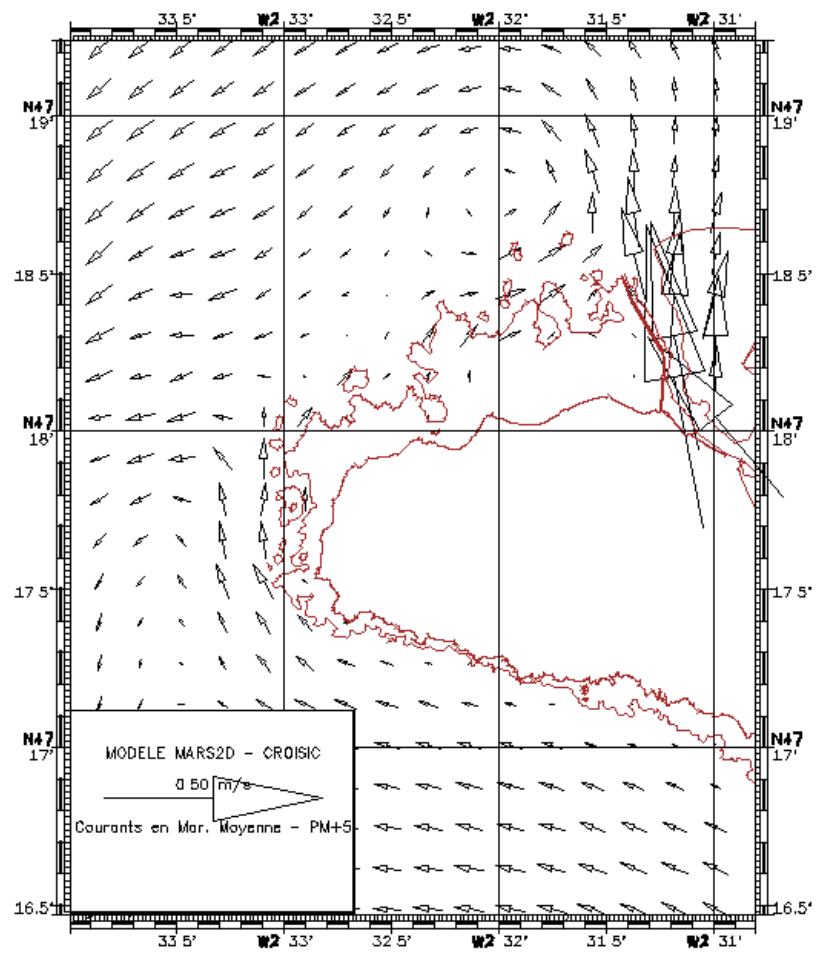


Fig.2 - Courants de marée à la renverse jusant/flot

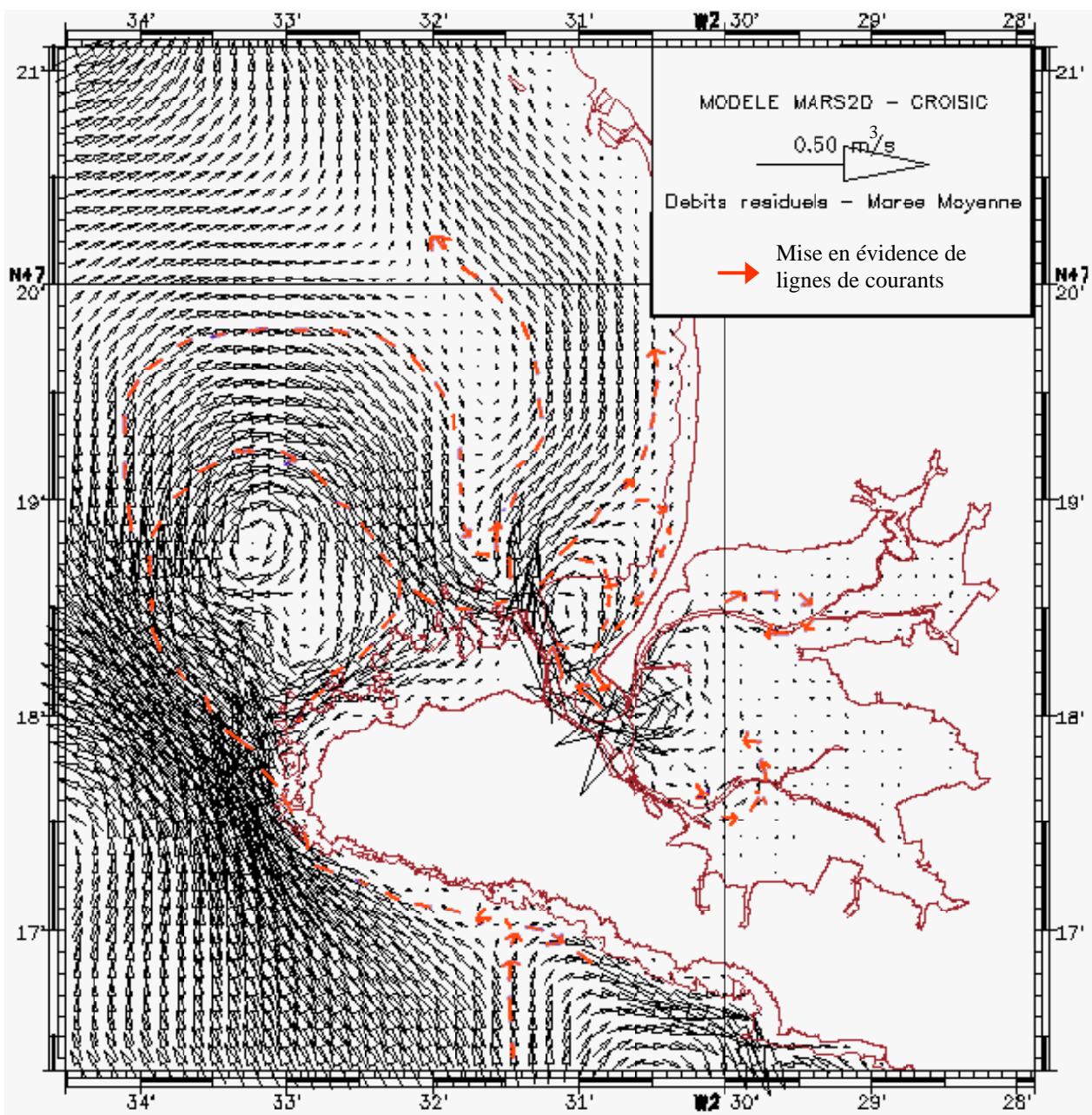


Fig.3 - Débits résiduels – Secteur du Croisic
Marée Moyenne

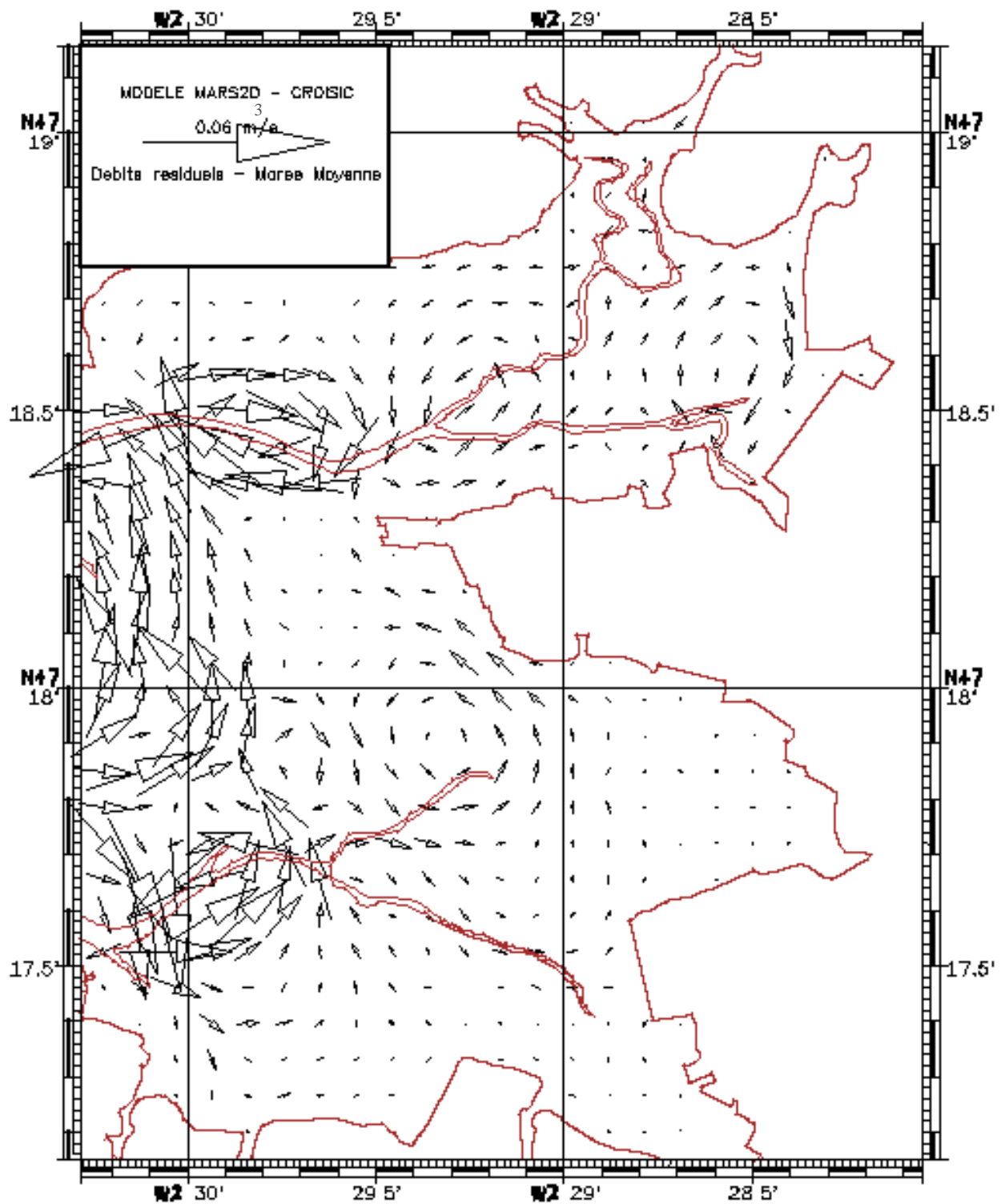


Fig.4 - Débits résiduels – Traicts du Croisic
 Marée Moyenne

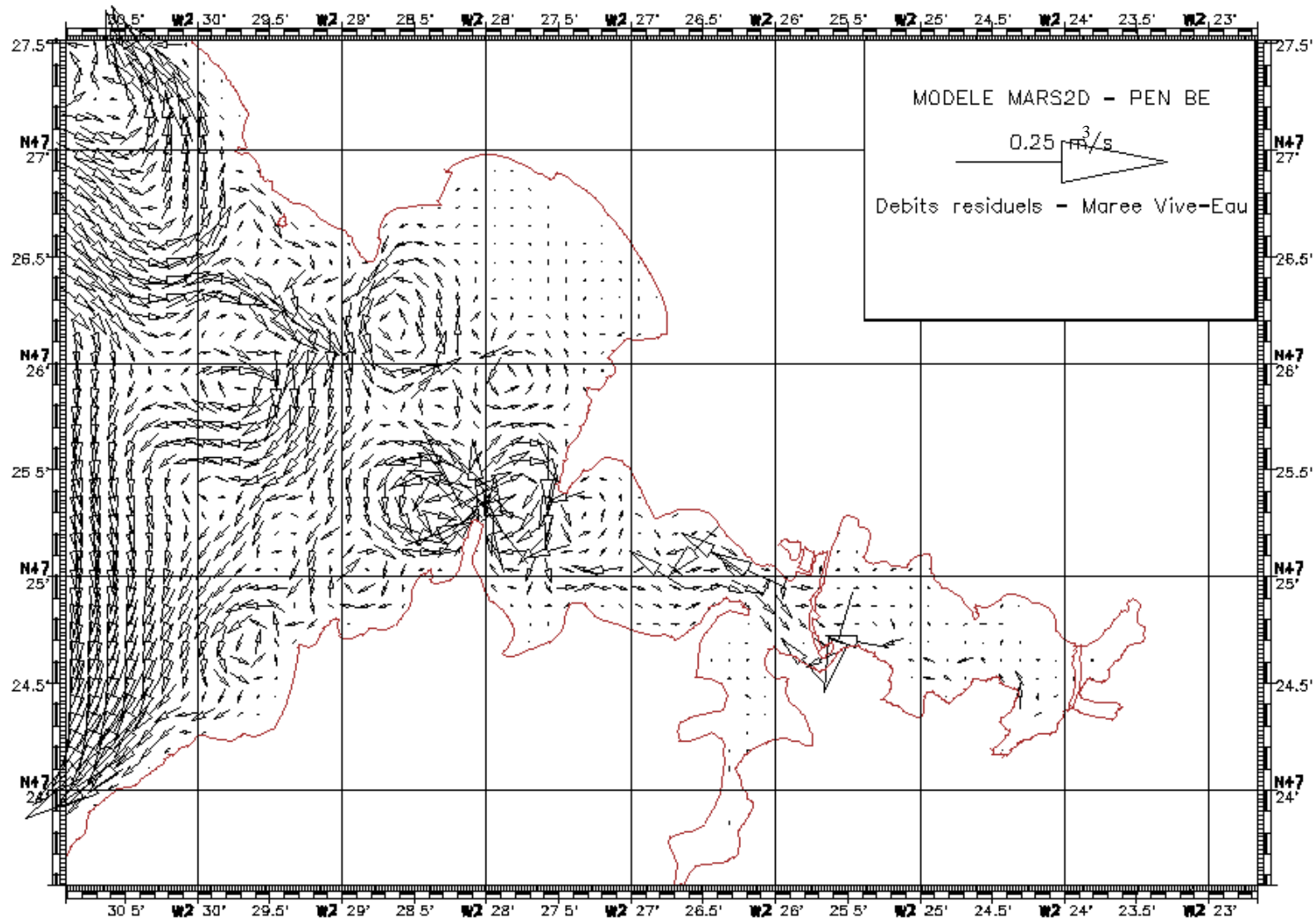


Fig.5 - Débits résiduels – Secteur de Pen-Bé
Marée de Vive-Eau

Annexe 3

Bathymétries utilisées

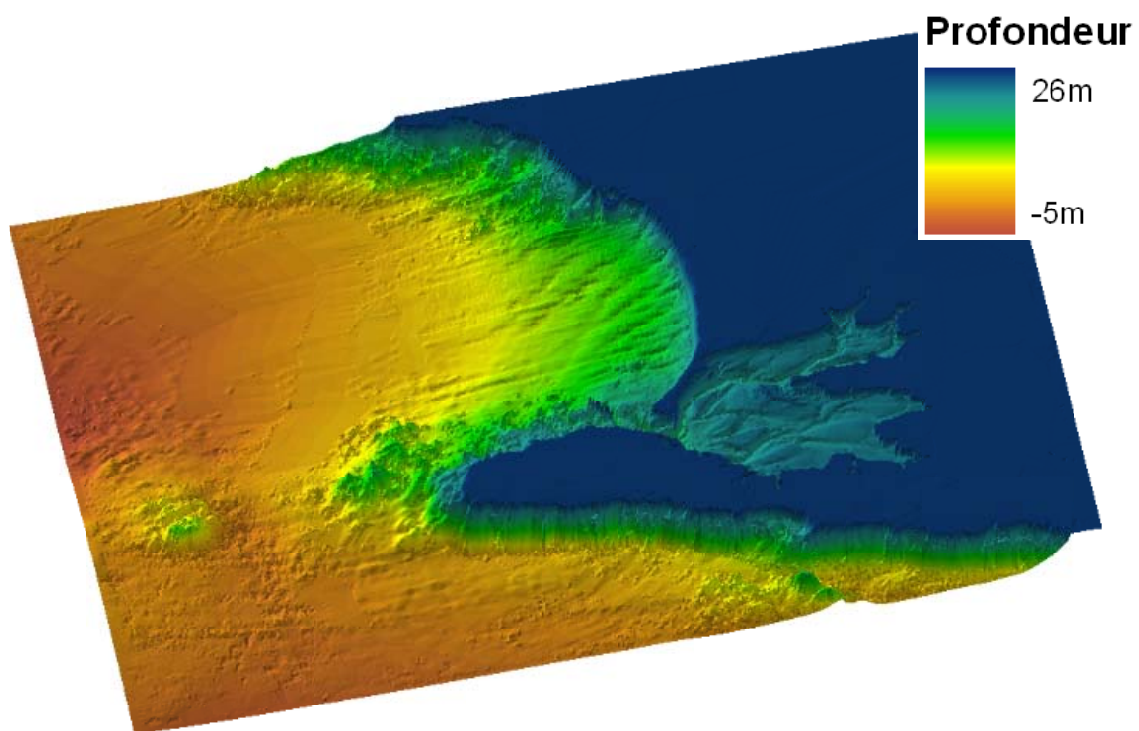


Fig.1 - Bathymétrie du modèle MARS-2D du Croisic

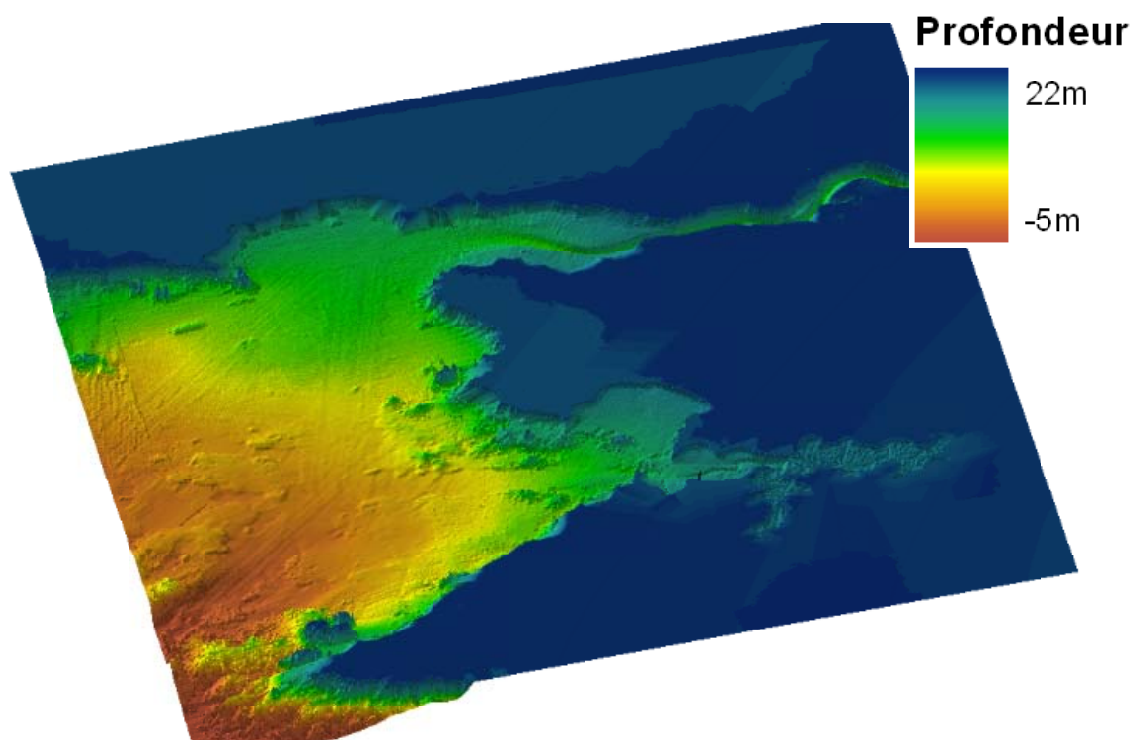
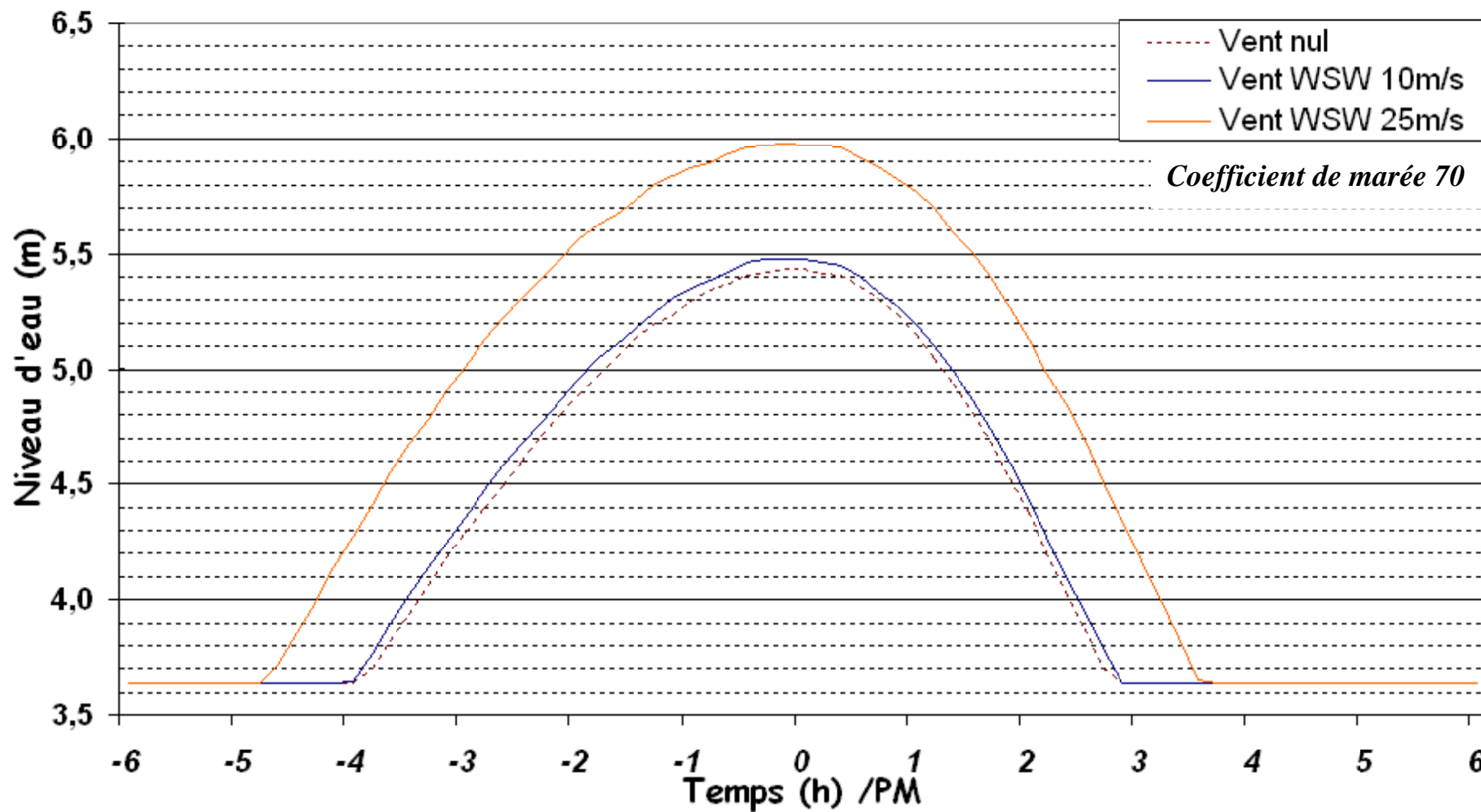


Fig.2 - Bathymétrie du modèle MARS-2D de Pen-Bé

Annexe 4

Surcotes dues au Vent – La Turballe

Surcote due au vent - La Turballe



Annexe 5

Estimation des flux moyens

Généralités

Le flux (φ) correspond à une quantité s'écoulant à travers une section donnée par unité de temps. Il s'exprime, par exemple, en nanogrammes par seconde, pour un flux instantané, ou encore en tonnes par an pour un flux annuel en polluants chimiques. Cette notion traduit donc la notion d'apport (instantané ou annuel) par un fleuve ou un bassin versant dans le milieu récepteur.

La distribution des flux est entièrement conditionnée par celle des débits et la configuration hydrique du cours d'eau. Aussi, la connaissance du flux total nécessite un échantillonnage très serré des variations de débits ; c'est donc une procédure coûteuse.

Enfin, la majorité des polluants va transiter pendant les crues. C'est pourquoi, il est possible d'évaluer les apports globaux sur des petits cours d'eau à partir d'un suivi des périodes à pluviométrie élevée (Morin, 2002).

Flux moyens

Le débit fluvial peut être enregistré en continu, alors que le dosage de contaminants dissous ou associés aux MES peut être effectué seulement de façon discontinue. Il en ressort que la détermination des charges polluantes fluviales en zones côtières est un problème d'optimisation de la stratégie d'échantillonnage et d'estimation statistique. Ainsi, de nombreuses méthodes d'estimation de flux fluviales ont été formulées du fait de la grande variabilité des relations existantes entre les flux des constituants étudiés et les régimes hydrologiques dominants. Une comparaison a été réalisée pour des apports en herbicides du Rhône à la Méditerranée. Les résultats, obtenus par neuf méthodes différentes de calculs des flux, sont comparables à $\pm 20\%$. (Tronczynski et Moisan, 1999).

Le calcul pondéré est préconisé par de nombreuses études pour les estimations des apports fluviales en constituants dissous. Il est réalisé à partir des flux instantanés selon la formule :

$$\varphi = \frac{\sum Q_i C_i}{\sum Q_i} \times Q_{moy} \quad \text{où } Q_i C_i \text{ correspond au flux instantané et } Q_{moy} \text{ au débit moyen sur la}$$

période suivie. Cette méthode est fortement conseillée lorsque de fortes variations sur les débits sont observées sur l'année ; elle a été utilisée ici avec les données de la Vilaine.

Si le débit est régulier et si les variations des concentrations semblent indépendantes de celle des débits, une simple moyenne des concentrations, multipliée par le débit moyen annuel, donnera des résultats satisfaisants. Une troisième méthode consiste simplement à moyenner les flux instantanés. Ce calcul va, cependant, avoir tendance à lisser les pics de pollution, mieux mis en valeur par la première méthode, ou au contraire à surestimer les apports si l'échantillonnage du suivi est resserré en période de crue. Enfin, d'autres calculs vont nécessiter de connaître les flux journaliers et ne seront donc que rarement utilisables (Mortreux , 1999).

Annexe 6

Comparaison des bases de données hydrologiques de la Vilaine

La période de comparaison s'étale de 1999 à 2003. Elle a été séparée en une première période allant de janvier 1999 à décembre 2000 (données accessibles sur le site du RNDE) et une seconde allant de janvier 2001 à décembre 2003, dont les données ont été recueillies auprès du département DYNECO de l'Ifremer à Brest. Les données de l'année 2000 sont considérées comme étant provisoires par le RNDE. Ce sont effectivement les données présentant le plus fort décalage avec celles de l'IAV. Les comparaisons effectuées concernent les amplitudes des volumes annuels et journaliers, ainsi que l'évolution quotidienne des valeurs.

Les méthodes d'estimation du débit de la Vilaine, par chaque organisme, sont rappelées ci-dessous.

1. Estimation du débit de la Vilaine par l'Institution d'Aménagement de la Vilaine (IAV) et la DIREN

1.2. Institution d'Aménagement de la Vilaine (V. Véron, comm. pers.)

Créée en 1961 par les trois départements de l'Ille-et-Vilaine, de la Loire-Atlantique et du Morbihan, le but initial de l'IAV est une mission d'aménagement intégré du bassin versant pour une meilleure maîtrise de l'eau. Son approche par gestion intégrée lui vaut en 1997 de se voir confier les études du SAGE Vilaine et de devenir le "chef de file" sur le bassin versant par modification de ses statuts.

Les débits de la Vilaine sont mesurés quotidiennement (<http://www.lavilaine.com>)

Deux calculs sont effectués et associés par cet organisme :

- le premier est relatif au volume évacué au niveau du barrage d'Arzal. Il correspond à un calcul hydraulique, du type $Q = C_d L_c H^{3/2} \sqrt{2g}$, avec C_d un coefficient de débit, L_c la largeur caractéristique de la crête du déversoir, H la différence de hauteur d'eau entre le bassin et le niveau de la crête, et g la gravité ($9,81 \text{ m/s}^2$).
- le second permet de connaître le débit à la station J 93006 Aval de Redon (dont la superficie du Bassin Versant est de $10\,129 \text{ km}^2$) (Carte 1). Il s'agit là d'un débit reconstitué, c'est-à-dire déduit d'un assemblage des débits connus des affluents. La formule utilisée est alors empirique (fondée sur un retour d'expérience), dont les coefficients vont dépendre entre autres des conditions hydrologiques du moment (étiage ou crue, par exemple).

Le débit Q s'écrit alors, si l'on se place en période normale ou de crue :

$Q \text{ Redon aval} = 1,2064 Q \text{ Malon} / Q \text{ Langon} + 1,4771 Q \text{ Le Guelin} + 1,0431 Q \text{ Juzet} + Q \text{ Pierric}$

ou (selon l'état hydrologique des affluents)

$Q \text{ Redon aval} = 1,2064 Q \text{ Malon} / Q \text{ Langon} + 1,4661 Q \text{ Le Guelin} + 2,5468 Q \text{ Juzet}$

Alors qu'en période d'étiage il devient :

$Q \text{ Redon aval} = 1,5744 Q \text{ Malon} / Q \text{ Langon} + 1,4661 Q \text{ Le Guelin}$

On peut aussi se demander de quelle manière sont calculés les débits de ces affluents, mais cela dépasse le cadre de notre étude. On notera donc uniquement le fait que les débits fournis par l'IAV sont basés sur la confrontation de deux calculs différents.

1.2. Banque HYDRO (DIREN Bretagne Y. Hery, D. Danet ; Ifremer DYNECO A-M. Jegou, comm. Pers.)

Depuis 1992, le RNDE rassemble autour d'un protocole commun le Ministère de l'Environnement, le Ministère de la Santé, les Agences de l'Eau, le Conseil Supérieur de la Pêche, l'IFEN, l'IFREMER (pour la base de données QUADRIGE), EDF, Météo-France, le BRGM. Il est appelé à s'élargir progressivement à de nouveaux partenaires, publics ou privés.

Le RNDE, pour atteindre ses objectifs, met en place un système permanent de collecte, de conservation et de mise à disposition des données classées par thèmes. L'hydrométrie en constitue un et est rassemblé au sein de la banque HYDRO (<http://hydro.rnde.tm.fr>).

Il s'agit ici uniquement de débits reconstitués, mais cette fois au niveau de la station de Rieux (superficie du BV : 10 100km²) (Fig. 1).

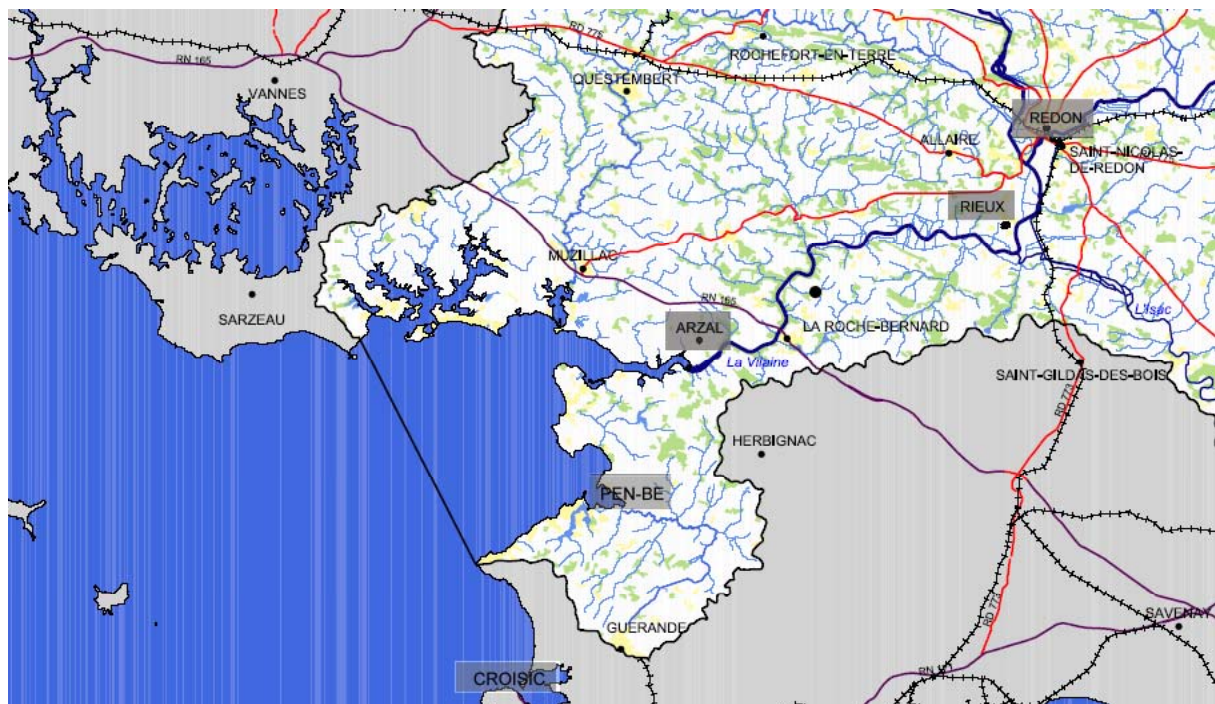


Figure 1. Bassin Versant de la Vilaine

1.3. Qualité des données disponibles

Sur le site Internet national de la base HYDRO, il est proposé à l'utilisateur une visualisation de la validité des résultats (Fig.2) en fonction de codes couleurs.

Une grande majorité est qualifiée de "validés douteux" et seule l'année 1999 est représentée en bleu, signifiant "validés bons".

La qualification de "validé bons" est attribuée la première fois lorsque les formules ont été calées et les données vérifiées. Les années qui suivent cette validation seront donc correctes après traitement des données (ce qui n'est visiblement pas encore le cas de

l'année 2000). En revanche, les données qualifiées de "validés douteux" n'ont donc, a priori, de caractère validé que le nom.

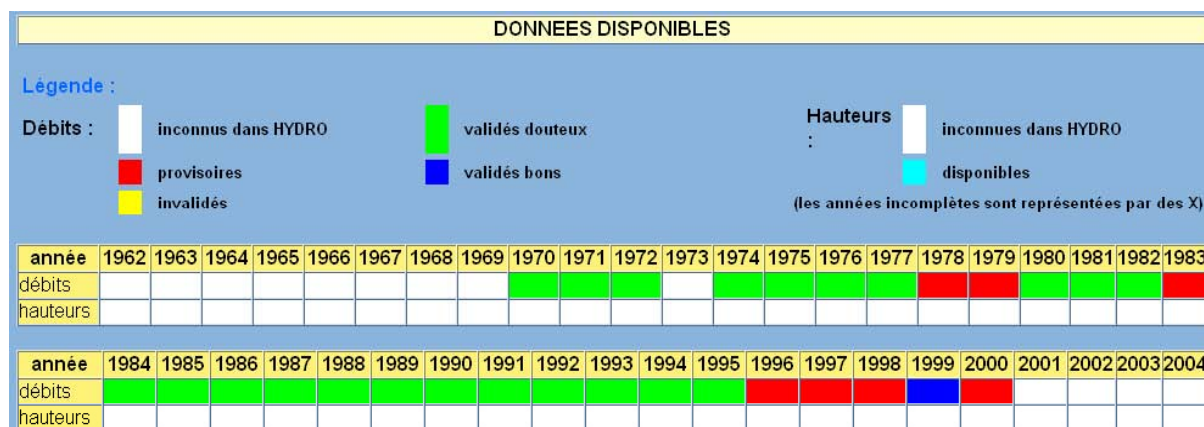


Figure 2. Représentation chronologique de la qualité des données accessibles

Aucune auto-estimation qualitative n'est en revanche disponible sur le site de l'IAV. Et si la station du barrage d'Arzal est bien référencée dans la base HYDRO (code J9320620), aucune donnée n'y est disponible.

La période couverte par la base HYDRO s'étend de 1970 à 2004, ce qui constitue une série statistique importante et donc des données synthétiques intéressantes bien que l'on puisse se demander quelle valeur attribuer à une série de données dont le traitement a évolué au cours du temps (en passant de validés douteux à validés bons).

La série de l'IAV est plus courte (1998 à 2004) ; en revanche, ce sont les seules valeurs de débits à être accompagnées de données sur la qualité de l'eau (avec des concentrations en pesticides, matières organiques, nitrates, etc.) permettant le calcul des apports grâce aux flux.

2. Amplitude des débits

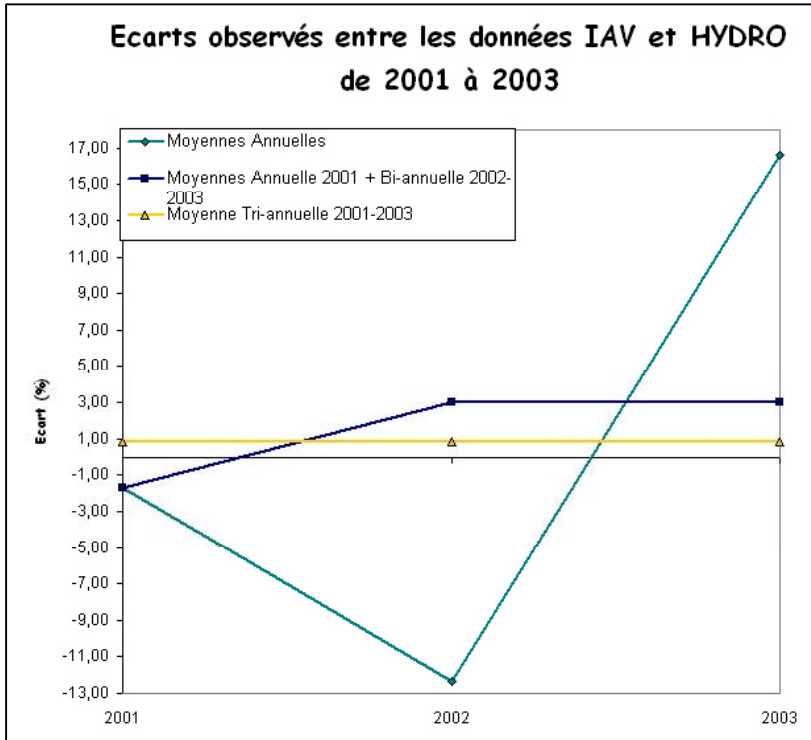
2.1. Volumes globaux

2.1.1. Années 1999-2000

L'écart moyen sur l'ensemble de cette période s'élève à 26,5% sans application – sur les données HYDRO - du coefficient correcteur utilisé par l'Ifremer à Brest. Il grimpe à 29,7% s'il est utilisé. L'erreur provient essentiellement des données 1999 pour lesquelles on calcule un écart égal à 31,7%, contre 28,2% en 2000 (avec application du coefficient). Ce sont des écarts importants, qui tombent cependant à 18,2% si l'on ignore la période de crue s'étalant du 15 décembre 1999 au 15 janvier 2000.

2.1.2. Années 2001-2003

L'écart moyen est minime pour cette période. Il est de 2,3% sans modification et tombe à 0,8% avec. Cette valeur, très faible, en cache cependant d'autres plus importantes (Fig.3).



L'année 2001, se révèle ainsi être celle qui présente l'écart le plus faible entre les données de l'IAV et celles de la DIREN.

On peut considérer, pour la période 1999-2003, que les données sont, dans l'ensemble, en bon accord au niveau des volumes transités annuellement (les données 2000, ne sont pas, on le rappelle, considérées comme étant fiables).

Figure 3. Détail des écarts moyens sur les apports volumiques de la Vilaine entre les données de l'IAV et de la DIREN entre 2001 et 2003

2.2. Débits journaliers

Note : Lorsque cela n'est pas mentionné, le coefficient correcteur égal à 1,032 a été appliqué.

2.2.1. Années 1999-2000

Si l'on compare les données de l'année 1999, on se rend compte que les débits de crue (1300 m³/s – HYDRO) sont absents des données fournies par l'IAV (~ 300 m³/s au même moment !!). Néanmoins, en dehors des périodes de crue, les débits sont assez comparables (Fig.4), ce qui tend à valider les données de l'IAV pour des débits n'excédant pas 400 m³/s. Le pic de l'année 2000 est, en revanche, bien présent dans les deux sources de données.

Cette absence de pics des données de l'IAV reste à expliquer, mais on peut déjà considérer le fait que les données de l'IAV correspondent à des débits évacués au barrage d'Arzal. Autrement dit, un gros volume peut être temporairement stocké avant d'être "relargué" progressivement. Ceci sous-entend alors un déphasage en temps entre nos deux sources de données. Cette partie est développée plus loin.

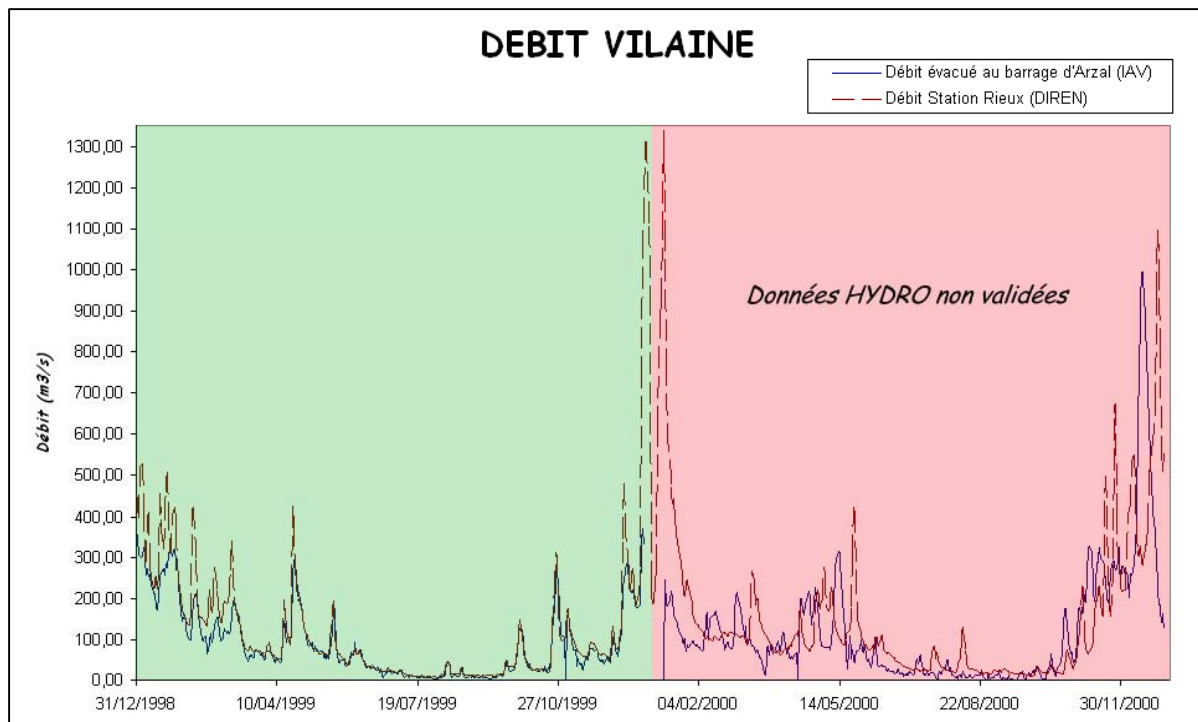


Figure 4. Débits journaliers enregistrés en 1999/2000 par la DIREN et l'IAV

Si l'on cherche à établir une corrélation entre les résultats de l'IAV et de la banque HYDRO, on observe une bien plus forte dispersion des résultats selon que l'on prend ou non en compte l'année 2000 (Fig.5 & 6). La dispersion des résultats en périodes de fortes crues est ici clairement mise en évidence. On remarque également que les données HYDRO affichent des valeurs plus importantes que celles de l'IAV sur les forts débits (points situés sous la droite médiane).

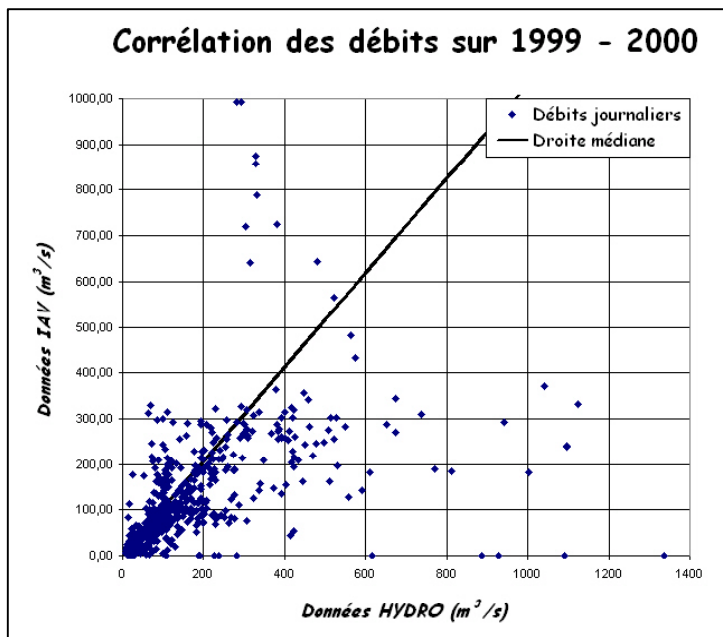


Figure 5. Corrélation des valeurs de débit sur la période 1999-2000

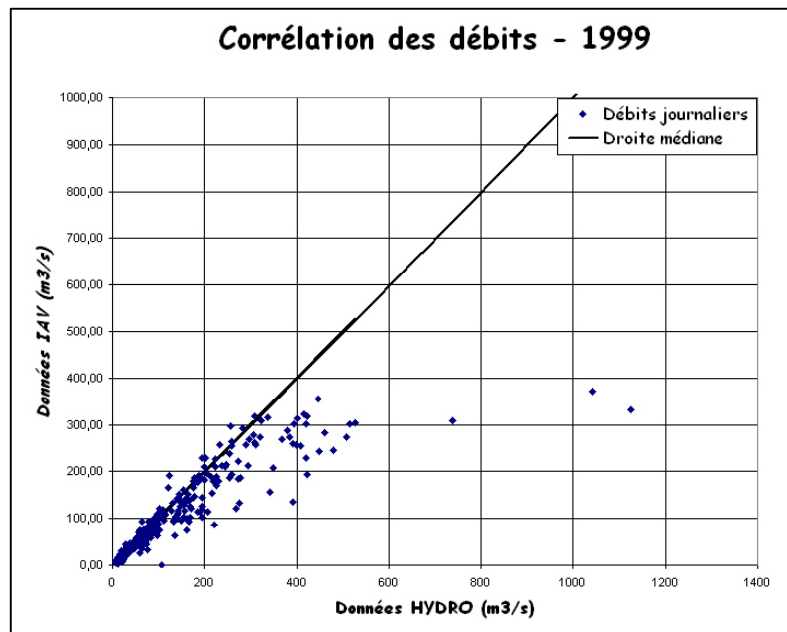


Figure 6. Corrélation des valeurs de débit sur l'année 1999.

2.2.2. Années 2001-2003

Pour 2002 et 2003, les périodes de crues (pour lesquelles on observait les plus gros écarts en 1999) sont bien moins spectaculaires qu'en 1999-2001 (de l'ordre de 500 m³/s contre 1200 m³/s). Les débits semblent, de visu, assez comparables sur l'ensemble de la période 2001-2003, mis à part un décalage semblable à celui des données de l'année 2000, qui apparaît pour l'année 2001 (Fig.7).

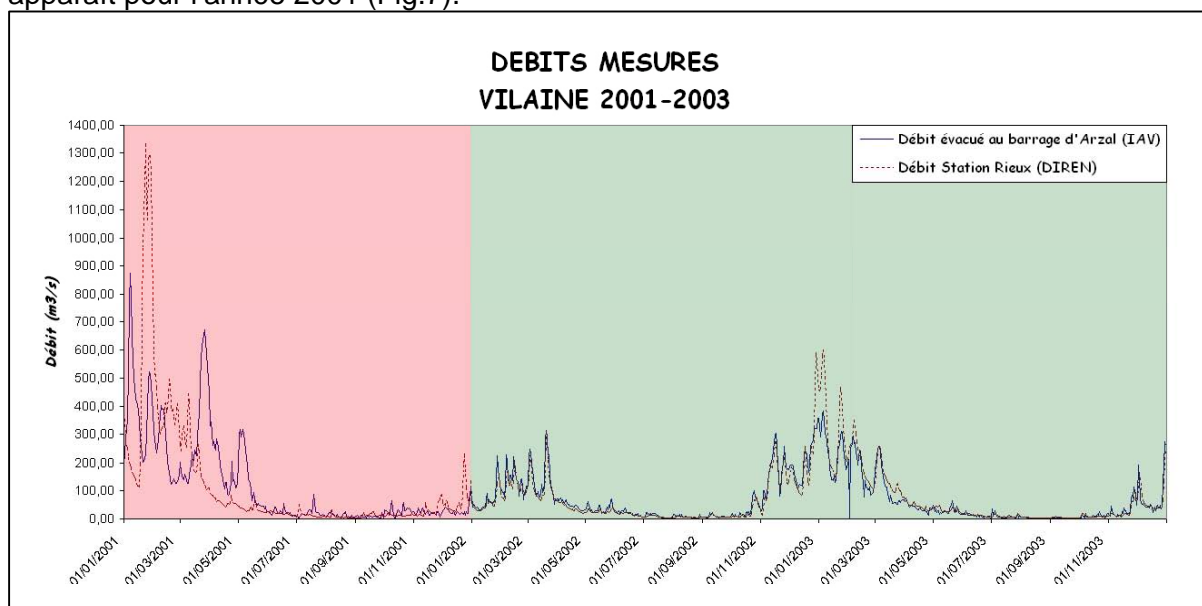


Figure 7. Débits journaliers enregistrés entre 2001 et 2003 par la DIREN et l'IAV

L'étude d'une possible corrélation des valeurs de débits journalières entre elles nous mène à des conclusions similaires à celles formulées pour la période 1999-2000. On observe, d'une part, une forte dispersion des résultats en période de crue, d'autre part que les données de la DIREN, aux forts débits, sont régulièrement supérieures à celles de l'IAV (Fig.8). Enfin, le décalage des données pour l'année 2001, fait que les débits présentent une meilleure correspondance sur la période 2002-2003, étudiée séparément (Fig.9).

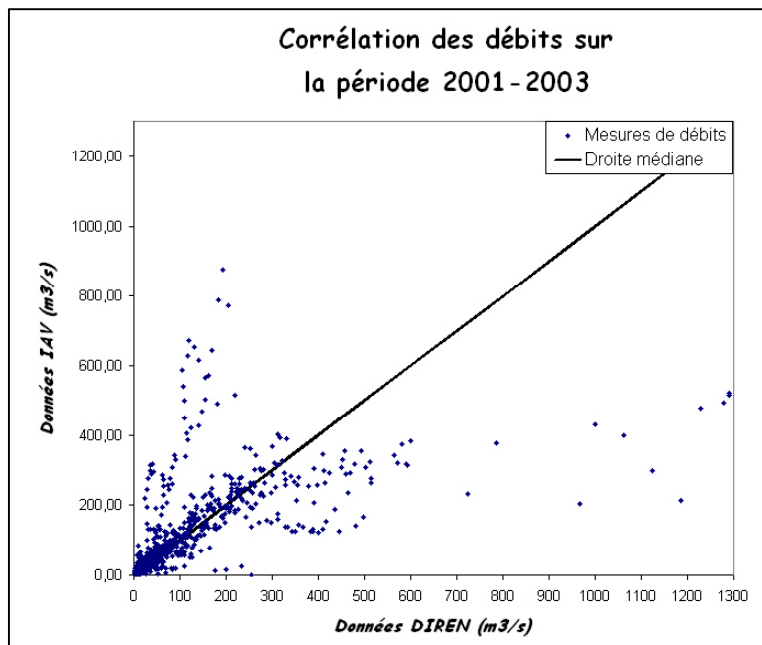


Figure 8. Corrélation des valeurs de débit sur la période 2001-2003

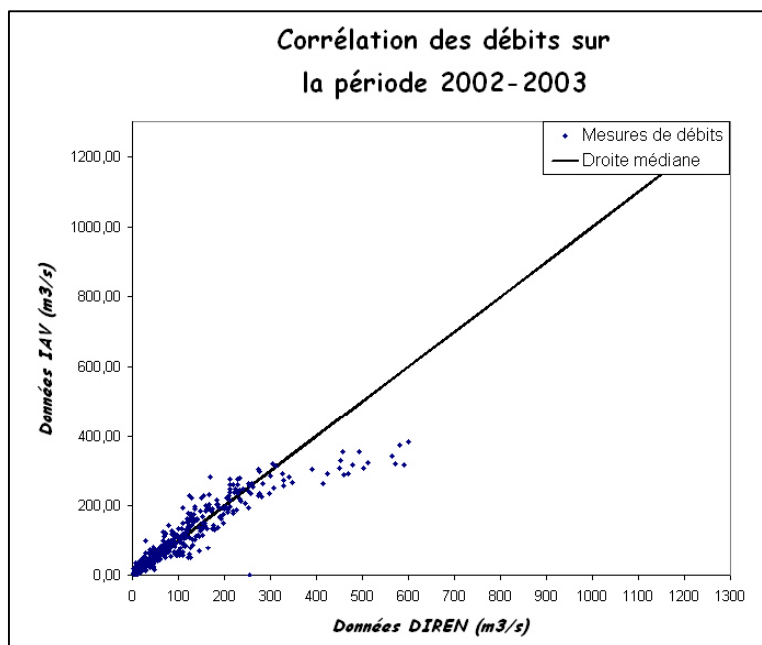


Figure 9. Corrélation des valeurs de débit sur l'année 2002-2003

3. Déphasage des données

3.1. Origine

De nombreux décalages sont visibles sur l'ensemble du jeu de données. Ces déphasages entraînent parfois des écarts relatifs très importants sur certaines valeurs journalières. On atteint ainsi plus de 1100% d'erreur en juillet 2001. Les lâchers d'eau au barrage d'Arzal sont certainement plus ponctuels à l'étiage, tandis qu'aucune régulation particulière n'est effectuée au niveau de la station de Rieux.

Une des explications plausibles est la distance de 30km linéaires séparant les deux stations. Le décalage induit par ce temps de parcours reste certainement de l'ordre de grandeur de la journée ou de la semaine (3,5 jours pour une vitesse moyenne de 0,1m/s). Mais sa variation en fonction du débit rend sa prise en compte plus difficile.

Une seconde explication est que les données de l'IAV correspondent à des débits évacués au barrage d'Arzal. Autrement dit, un gros volume peut être temporairement stocké avant d'être « relargué » progressivement en aval de l'ouvrage.

Toutefois, tout ceci devrait avoir pour conséquence une avance de phase des données de la DIREN (un pic de crue, par exemple, devrait ainsi apparaître en premier dans les données de la DIREN). Or il n'en est rien, tout du moins pas pour l'année 2000 et le premier semestre 2001.

3.2. Particularité de l'année 2000

Si l'on compare, en effet, les données 2000 disponibles de chaque côté (mais provisoires pour celles du RNDE), on remarque que les données sont déphasées d'environ 11 jours (Fig.4 & 10), le signal recueilli par la DIREN étant en retard sur celui de l'IAV. Les débits s'accordent correctement une fois ce décalage pris en compte.

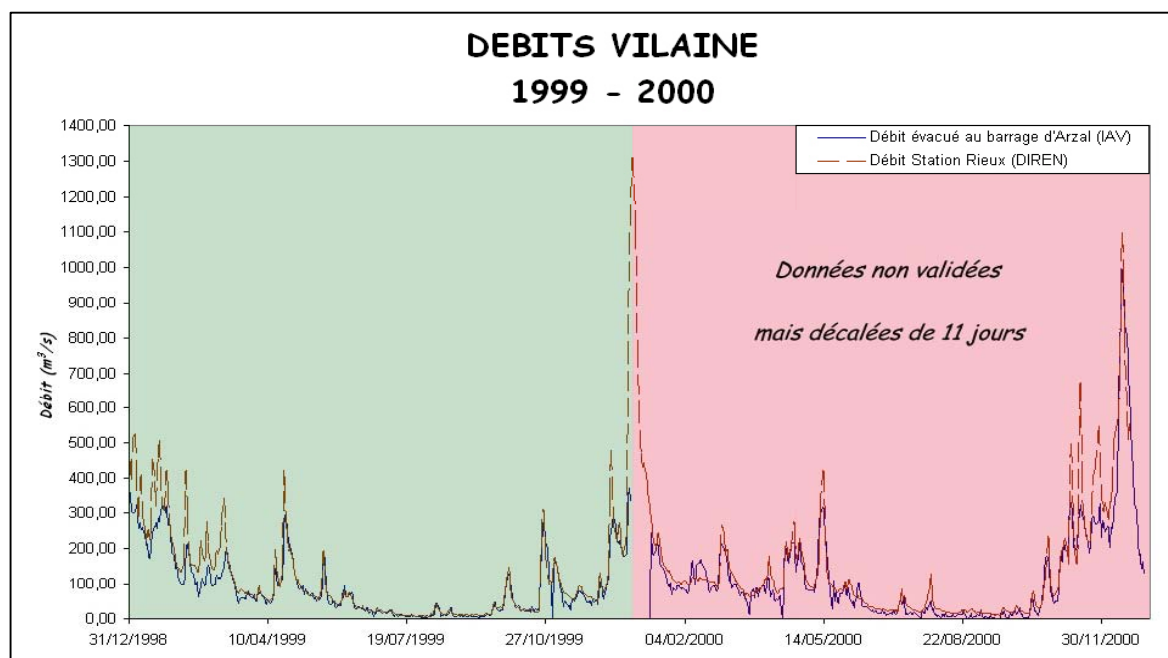


Figure 10. Déphasage de 11 jours des données 2000

3.3. Evolutions quotidiennes

Enfin, si l'on s'intéresse à la correspondance des résultats en termes de variations journalières (hausse ou baisse relative, en pourcentage), on observe une très forte dispersion sur l'ensemble de la période étudiée. Le résultat est sensiblement le même pour chaque année prise séparément.

Le fait qu'aucune tendance ne s'impose vient du fait que l'on met ici en exergue plusieurs écarts de façon simultanée. Les erreurs sur les amplitudes des débits sont alors associées à celles correspondant aux déphasages entre les deux sources. Cette dernière comparaison n'apporte donc aucune information supplémentaire pour cette étude.

Conclusion

Au terme de cette comparaison, on peut retenir les points suivants :

- les données s'accordent bien pour des débits ne dépassant pas $400\text{m}^3/\text{s}$. Les écarts (en valeur) les plus importants sont en effet observés en périodes de crues.
- de nombreux décalages sont visibles sur l'ensemble du jeu de données. Une explication plausible est la distance séparant les deux stations. Une seconde peut venir du fait que les données de l'IAV correspondent à des débits évacués au barrage d'Arzal. On observe cependant un fort décalage (environ 11 jours) pour le jeu de données de l'année 2000 qui ne peut être expliqué de la sorte. Les données HYDRO devraient alors être en avance par rapport à celles de l'IAV. Or, c'est l'inverse que l'on observe. Ces données sont toutefois considérées comme étant provisoires par la DIREN (Fig.1).
Ces déphasages entraînent parfois des écarts relatifs très importants sur certaines valeurs journalières, principalement les plus faibles. On atteint ainsi plus de 1100% d'erreur en juillet 2001. Les lâchers d'eau au barrage d'Arzal sont certainement plus ponctuels à l'étiage, tandis qu'aucune régulation particulière n'est effectuée au niveau de la station de Rieux.
- enfin, l'écart sur les volumes totaux transitant en chaque point étant remarquablement faible (moins de 1% sur la période 2001-2003), **il est plus prudent d'utiliser le jeu de données complet de l'IAV**. Ce dernier nous fournit ainsi une distribution chronologique des apports de la Vilaine dans la partie aval du barrage (celle qui nous intéresse).

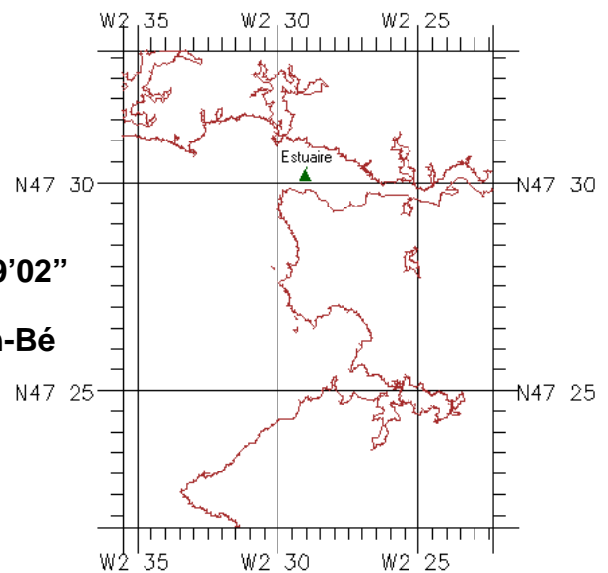
Annexe 7

**Impact hydrodynamique de la Vilaine en périodes de crue
et d'étiage**

Point de contrôle estuaire

Coordonnées : N 47°30'11" W 2°29'02"

Modèle MARS-2D correspondant : Pen-Bé



Liste des Figures

Figure 1 – Comparaison des modules de vitesses en périodes de crue et d'étiage

Figure 2 – Comparaison des directions des vitesses en périodes de crue et d'étiage

Figure 3 – Comparaison des hauteurs d'eau en périodes de crue et d'étiage

Comparaison de l'intensité du courant dans l'estuaire de la Vilaine en périodes de crue et d'étiage

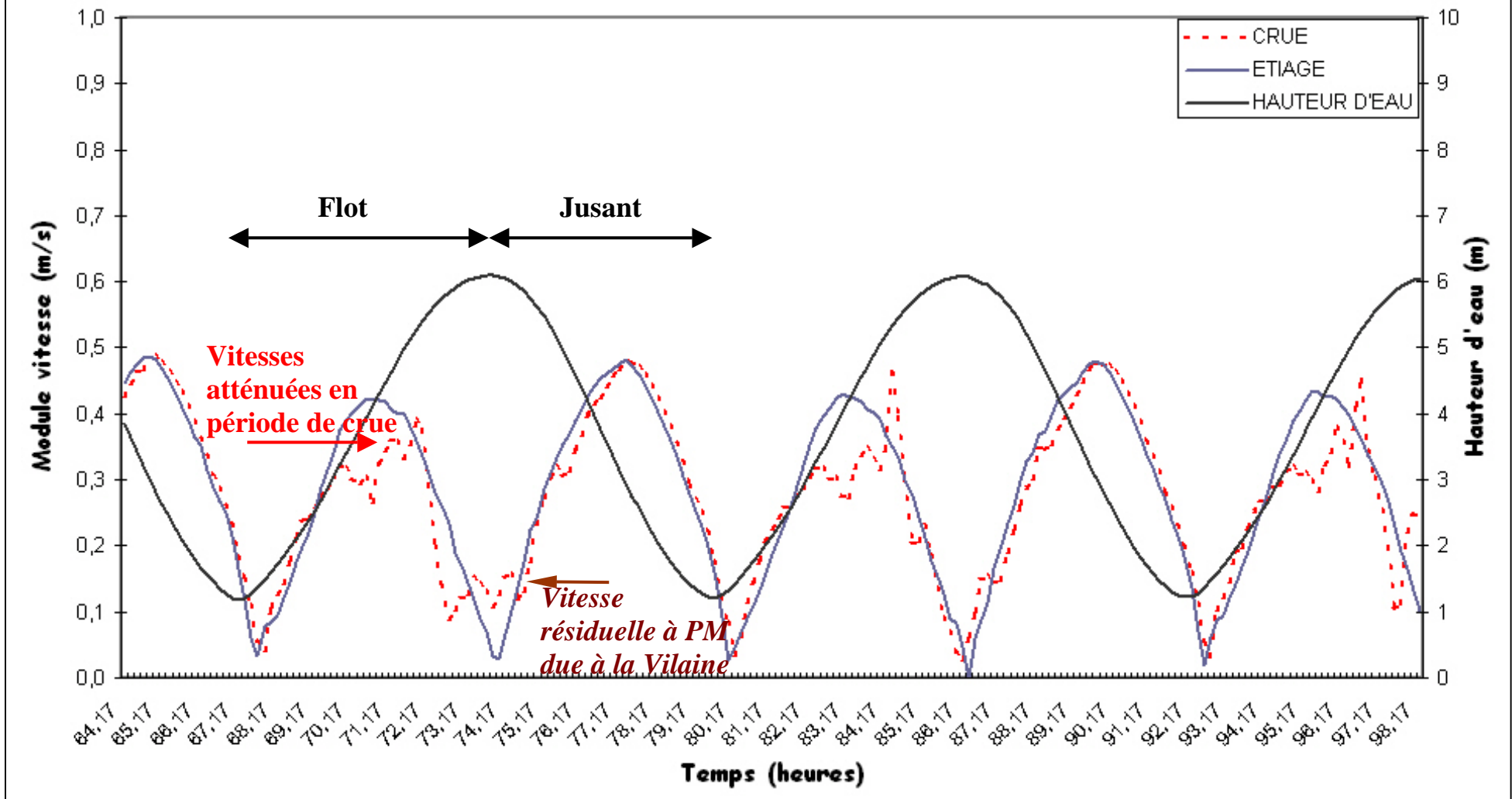


Fig.1 - Comparaison des modules de vitesses en périodes de crue et d'étiage au point "estuaire"

Comparaison de l'orientation du courant dans l'estuaire de la Vilaine en périodes de crue et d'étiage

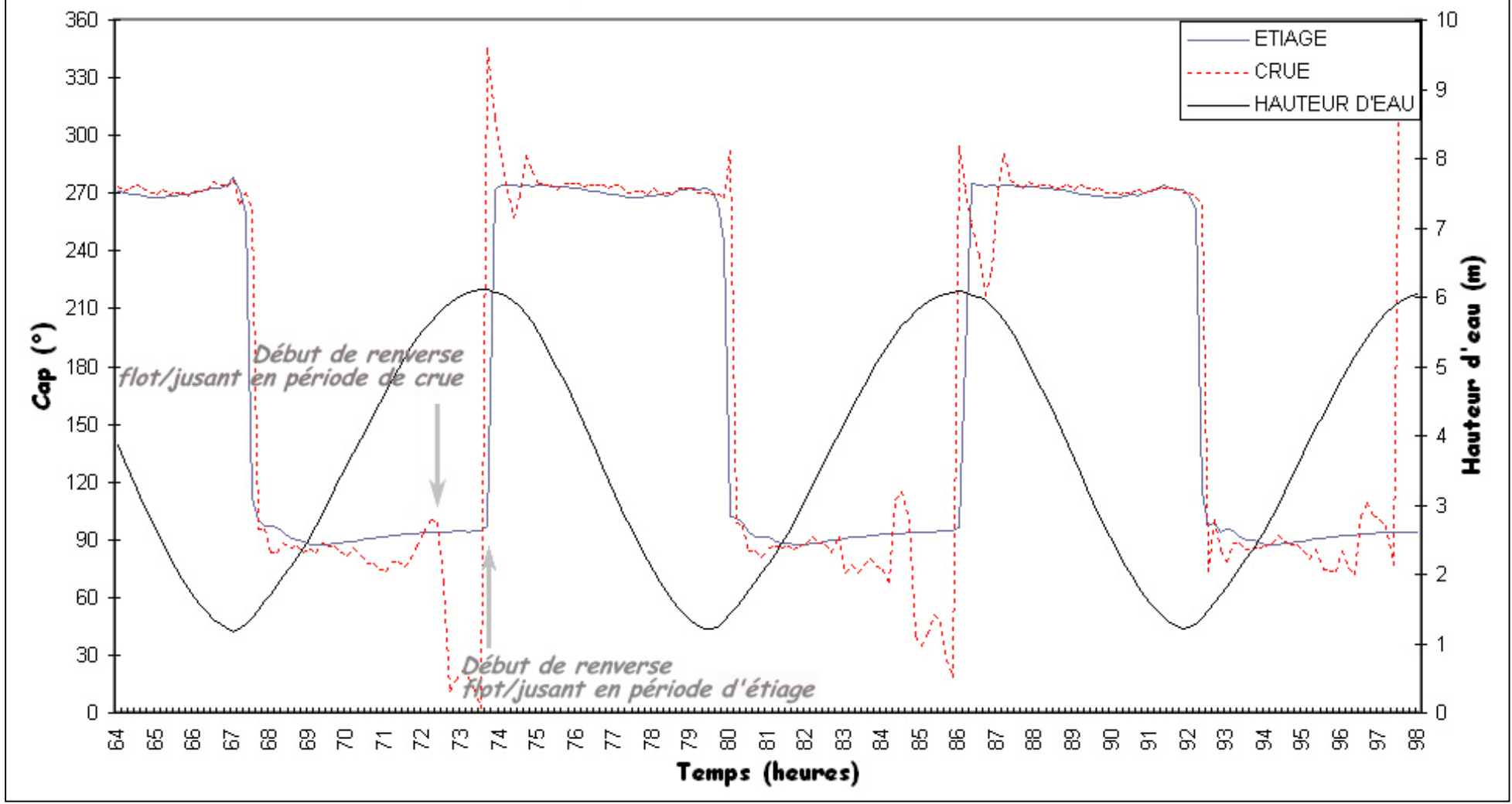


Fig.2 - Comparaison des directions des vitesses en périodes de crue et d'étiage au point "estuaire"

Comparaison des niveaux d'eau dans l'estuaire de la Vilaine

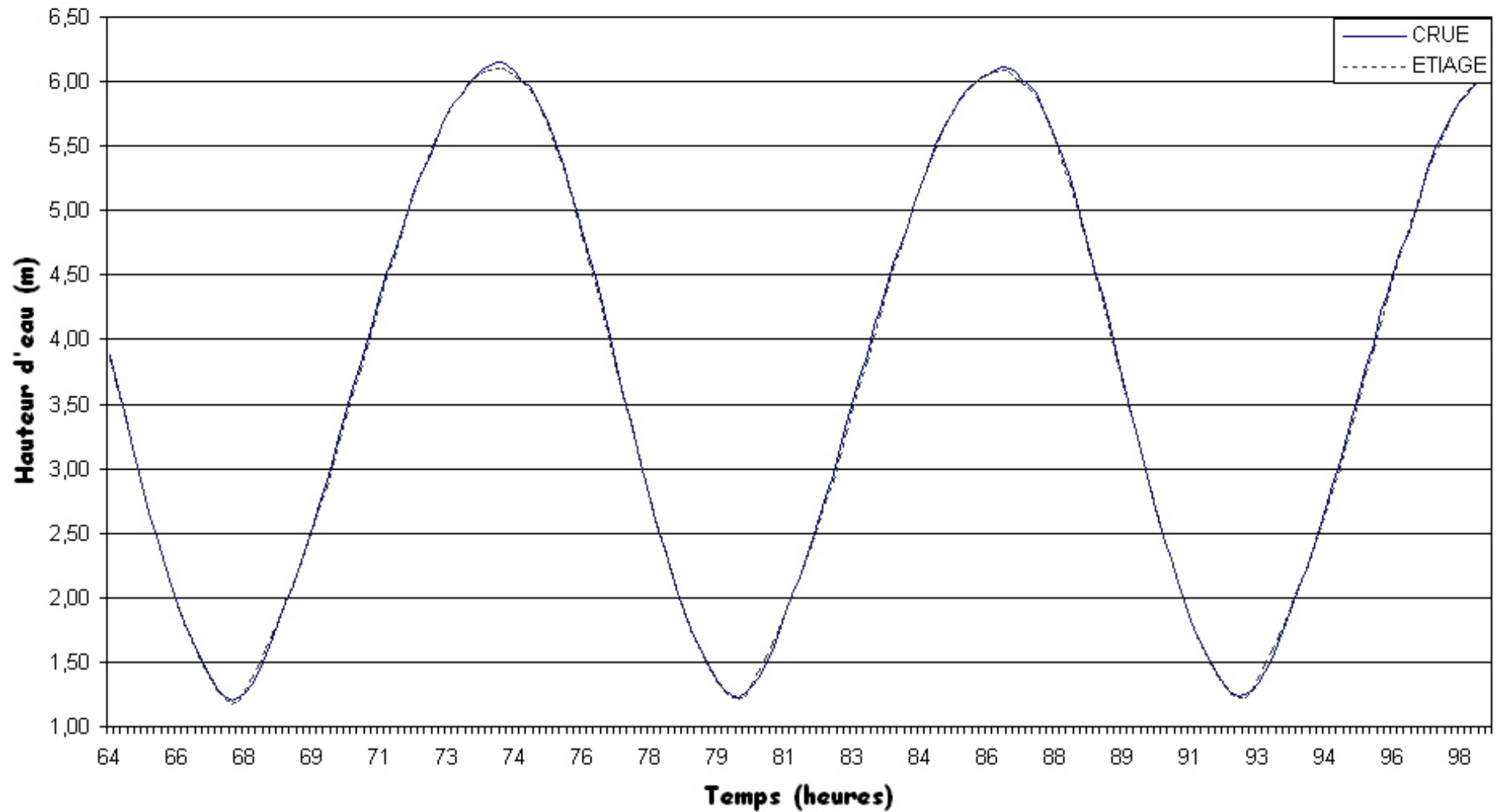


Fig.3 - Comparaison des hauteurs d'eau en périodes de crue et d'étiage au point "estuaire"

Annexe 8

Protocole de mesure de débit d'un cours d'eau

Création	p. 1/148
Date : 31/10/2002	Réf.

Mesures de débit d'un cours d'eau

Historique des révisions

Date d'application : 15/11/2002

Rédigé par :	Vérifié par :	Approuvé par :
Nom : Yoann LE MERRER	Nom : Hélène JEANNERET	Nom : Patrick CAMUS
Fonction : Métrologue	Fonction : Chef de projet	Fonction : Chef du laboratoire
Emargement :	Emargement :	Emargement :
Date :	Date :	Date :

Procédure technique

Direction de l'Environnement et de l'Aménagement Littoral

Laboratoire côtier Morbihan-Pays de Loire

Création	p. 2/148
Date : 31/10/2002	Réf.

Emargement valant prise de connaissance et attribution des copies du document

Nom Prénom	Visa	Copie n°	Emplacement	Attribué le	Visa	Rendu le	Visa
Dominique Baud							
Françoise Bonneau							
Françoise Dumont							
Mireille Fortune							
Hélène Jeanneret							
Cédric Kergaravat							
Yoann Le Merrer							
Chantal Menanteau							
Annie Pezeron							
Gilles Ratiskol							

Copies du document remises par :

Date :

Fonction :

Visa :

Copies du document récupérées par :

Date :

Fonction :

Visa :

Création	p. 3/148
Date : 31/10/2002	Réf.

SOMMAIRE

1.	Domaine d'application	4
2.	Documents de référence	4
3.	Principe	4
4.	Equipement et environnement	4
5.	Mode opératoire	4
5.1.	Principe et méthode de mesurage	4
5.2.	Choix et délimitation de l'emplacement	5
5.2.1.	Choix de l'emplacement	5
5.2.2.	Repérage de l'emplacement	6
6.	Mesurage de l'aire de section	6
6.1.	Mesurage de la largeur	6
6.2.	Mesurage de la profondeur	6
7.	Mesurage de la vitesse	7
7.1.	Moulinet rotatif	7
7.2.	Méthode de mesurage	7
7.3.	Méthode de mesurage de la vitesse moyenne sur chaque verticale	8
7.3.1.	Méthode des trois points	8
7.3.2.	Méthode du point unique en surface	8
8.	Calcul du débit	9
8.1.	Méthode arithmétique	9
8.1.1.	Méthode de la section moyenne	9

Création	p. 4/148
Date : 31/10/2002	Réf.

1. Domaine d'application

Dans le cadre de l'étude du Traict du Croisic et du Traict de Pen Bé pour le programme « Apport à la mer côtière », des mesures de débit sont réalisées en période de crues afin de corrélérer ces épisodes avec d'éventuels apports de polluants organiques et chimiques dans le Traict. Ceci afin de mieux connaître ces secteurs.

2. Documents de référence

EN ISO 748 :1997 Mesure de débits des liquides dans les canaux découverts-Méthodes d'exploration du champ des vitesses.

3. Principe

Les mesures de débit sont obtenues après conversion grâce à un débitmètre qui mesure la vitesse du courant du cours d'eau. Le mesurage est fondé sur la relation qui existe entre la vitesse locale d'écoulement et la vitesse de rotation du moulinet du débitmètre.

4. Equipement et environnement

Débitmètre à moulinet OTT situé dans le bureau S013

5. Mode opératoire

5.1. Principe et méthode de mesurage

Un emplacement de mesurage est choisi conformément aux spécifications requises ; la largeur, selon sa grandeur, est mesurée soit à l'aide d'un ruban d'acier, soit par d'autres méthodes de topographie. La profondeur est mesurée sur un certain nombre de verticales réparties sur la largeur à un nombre suffisant pour déterminer la forme et l'aire de la section.

Les mesurages de vitesse sont effectués à chaque verticale en même temps que les mesurages de profondeur, en particulier dans les cas des lits instables. Il est nécessaires de déterminer le débits unitaire, celui-ci est calculé à partir de chacun des mesurages.

Création	p. 5/148
Date : 31/10/2002	Réf.

5.2. Choix et délimitation de l'emplacement

5.2.1. Choix de l'emplacement

L'emplacement choisi doit, dans la mesure du possible, répondre aux conditions suivantes.

1. A l'emplacement du mesurage, le chenal doit être rectiligne et de section et de pente uniformes, afin de minimiser la distribution anormale des vitesses. (la longueur droite à l'amont de la section de mesurage soit égale au double de la longueur droite à l'aval).
2. Le sens de l'écoulement de tous les points des verticales sur la largeur doit être le même et à angle droit par rapport à la section de mesurage.
3. Le lit et les bords des chenaux doivent être stables et bien définis à tous niveaux de l'écoulement de façon à permettre de mesurer avec précision la section transversale et à garantir les mêmes conditions pendant et entre deux mesurages de débit.
4. Les courbes de distribution de vitesses le long des verticales ou les horizontales de mesurage doivent être régulières.
5. Les conditions d'écoulement au niveau de la section et de son voisinage doivent être telles qu'aucun changement n'intervienne dans la distribution des vitesses pendant la durée de mesurage.
6. Le site où ont tendance à se produire des vortex ou des courants de retour ainsi que les zones d'eau morte doivent être évités.
7. La section de mesurage doit être bien visible sur la largeur et ne pas être obstruée par des arbres, de la végétation aquatique ou tout autre obstacle. Lorsque le mesurage du débit s'effectue à partir d'un pont avec piliers de division, chaque travée du chenal doit être traitée séparément.
8. La profondeur de l'eau au niveau de la section doit être suffisante pour assurer l'immersion effective de l'appareil.
9. La section ne doit pas se trouver à proximité d'une pompe, d'un conduit de décharge ou d'un déversoir, si la proximité de ces derniers est à même de créer des conditions d'écoulement contraires à la relation hauteur-débit normal de la station.
10. Dans le cas où il serait nécessaire d'effectuer des mesurages à proximité d'un pont, il est préférable que l'emplacement de mesurage soit en amont du pont.

Création	p. 6/148
Date : 31/10/2002	Réf.

5.2.2. Repérage de l'emplacement

La position de chaque section, perpendiculaire à la direction moyenne de l'écoulement, doit être définie sur les deux rives par des repères clairement visibles et immédiatement identifiables.

6. Mesurage de l'aire de section

Le profil de la section du chenal à l'emplacement des mesurages doit être déterminé en un nombre suffisant de points pour établir la forme du fond.

L'emplacement de chacun de ces points est déterminé en mesurant leur distance horizontale à un point de référence fixe situé sur une rive du chenal, dans le plan de la section. Cette disposition permet de calculer l'aire de chaque élément de section. Elle permet également de calculer l'aire de chaque élément de section séparant les verticales consécutives où sont mesurées les vitesses.

6.1. Mesurage de la largeur

Les valeurs de la largeur du chenal et des éléments individuels de section peuvent être obtenues en mesurant les distances horizontales à partir d'un point de référence ou jusqu'à un point de référence qui doit être dans le plan de section de mesurage.

Lorsque la largeur du chenal le permet, ces distances horizontales doivent être mesurées directement, par exemple à l'aide d'un ruban gradué ou d'un câble muni de repère approprié. Les intervalles entre verticales (éléments de sections) sont déterminés par différence.

6.2. Mesurage de la profondeur

Les mesurages de profondeur doivent être faits à des intervalles suffisamment rapprochés pour définir avec précision le profil de la section. En général les intervalles ne doivent pas dépasser 1/20 de la largeur. (pour les petits chenaux le nombre d'intervalles peut être réduit).

7. Mesurage de la vitesse

7.1 Moulinet rotatif

Le moulinet rotatif ne doit être utilisé lorsque la profondeur moyenne est inférieure à 4 fois le diamètre de l'hélice qu'on envisage d'utiliser ou du corps du moulinet lui-même, si celui-ci est plus grand que l'hélice. Aucune partie du moulinet ne doit dépasser la surface de l'eau.

7.2. Méthode de mesurage

Les mesurages de vitesse sont normalement faits en même temps que les mesurages de profondeur.

Pour apprécier le nombre n de verticales qui doit être défini dans le but de jauger le débit à un endroit particulier, les critères suivants doivent être appliqués :

Largeur du Chenal (en mètres)	Nombre de verticales (n)
> 0 et < 0.5	3 à 4
> 0.5 et < 1	4 à 5
> 1 et < 3	5 à 8
> 3 et < 5	8 à 10
> 5 et < 10	10 à 20
> 10	≥ 20

Il convient de veiller à ce que les mesurages au moulinet ne soient affectés ni par les rides accidentelles de la surface de l'eau ni par le vent.

Création	p. 8/148
Date : 31/10/2002	Réf.

7.3. Méthode de mesurage de la vitesse moyenne sur chaque verticale

On utilisera ici deux méthodes en fonction du profil du cours d'eau

7.3.1. Méthode des trois points

On utilise ici la méthode des trois points. Les relevés de vitesse sont effectués sur chaque verticale en plaçant le moulinet à 0,2, 0,3 et 0,8 fois la profondeur à partir de la surface. La vitesse moyenne de ces trois valeurs peut être considérée comme étant la vitesse moyenne sur la verticale.

On peut aussi pondérer le mesurage à 0,6 et obtenir la vitesse moyenne à partir de l'équation suivante :

$$V=0,25(v_{0,2}+2v_{0,6}+v_{0,8})$$

7.3.2. Méthode du point unique en surface

Lorsque la profondeur du cours d'eau ne le permet pas, la mesure s'effectue en surface. La profondeur du moulinet doit être uniforme pour toutes les verticales et on doit s'assurer que les relevés faits au moulinet ne sont pas affectés par les rides accidentelles de la surface ou par le vent.

8. Calcul du débit

8.1. Méthode arithmétique

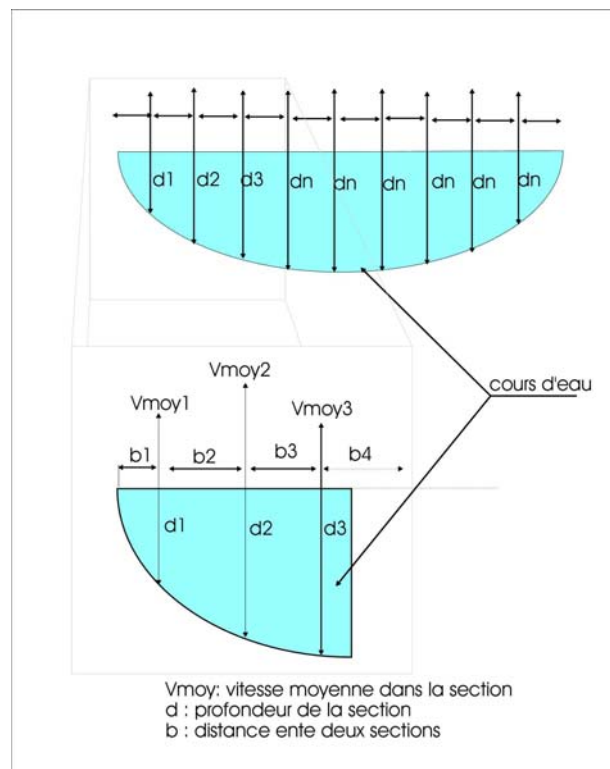
8.1.1. Méthode de la section moyenne

La section est considérée comme étant constituée d'un certain nombre d'éléments de section, limité chacun par deux verticales adjacentes.

Si V_{moy1} et V_{moy2} sont les vitesses moyennes respectivement sur la première et la seconde verticale, si d_1 et d_2 sont les profondeurs totales mesurées respectivement sur les verticales 1 et 2, et si b est la distance horizontale entre les dites verticales, le débit dans l'élément de section est :

$$Q = [(V_{moy1} + V_{moy2})/2] \cdot [(d_1 + d_2)/2] \cdot b$$

Le calcul est répété pour chaque élément de section et le débit total est obtenu en faisant la somme des débits dans chaque élément de section. Voir le schéma ci-dessous.



Création	p. 10/148
Date : 31/10/2002	Réf.

Schéma du calcul du débit par la méthode arithmétique

NB. Le débit additionné, s'écoulant par les éléments de section situé entre la rive et la verticale 1 et entre la verticale n et l'autre rive, peut être évalué à partir de cette équation en prenant comme hypothèse que la vitesse et la profondeur sont nulles sur la rive.

Annexe 9

Optimisation du protocole de mesure des débits

1. Protocole mis en place en 2003

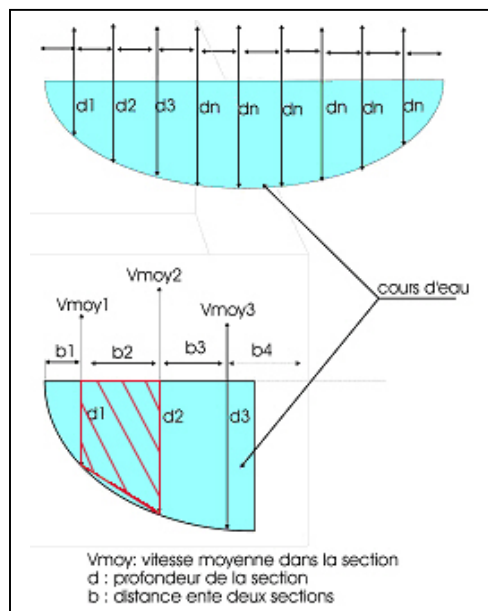
Un protocole, s'appuyant sur les prescriptions de la norme européenne NF EN ISO 748 a été établi en 2003 pour le suivi dans les étiers. Cette norme a l'avantage de s'adapter rapidement à tout type de cours d'eau. Quelques aménagements sont cependant nécessaires afin d'optimiser le temps de mesure et ainsi ne plus subir la contrainte de temps due au phénomène de marée. Le suivi ne peut se faire, en effet, que sur un laps de temps relativement court après l'étal. Certains prélèvements ont ainsi été perturbés par le retour de la marée.

Après une brève description du premier protocole utilisé, des remarques seront exprimées avant d'aboutir à une méthodologie optimisée pour nos besoins.

Protocole mis en place en 2003

La méthode préconisée pour la mesure des débits correspond à une méthode dite d' « exploration du champ de vitesses ». Le domaine est divisé autant que possible sur la largeur (Fig.1) et des mesures de vitesses sont effectuées en plusieurs points de hauteur sur chaque section (lorsque les conditions le permettent, c'est-à-dire pour un niveau d'eau suffisant). On calcule alors une vitesse moyenne sur chaque hauteur d'eau dont on déduit, connaissant la surface de la section, un débit partiel associé. Reste à additionner tous ces débits pour obtenir le débit global du cours d'eau.

La vitesse moyenne de chaque section est calculée selon la méthode dite « des trois points » : « les relevés de vitesse sont effectués sur chaque verticale en plaçant le moulinet à 0,2, 0,3 et 0,8 fois la profondeur à partir de la surface. La vitesse moyenne de ces trois valeurs peut être considérée comme étant la vitesse moyenne sur la verticale. On peut aussi pondérer le mesurage à 0,6 et obtenir la vitesse moyenne à partir de l'équation suivante : $V_{moy} = 0,25(V_{0,2} + 2V_{0,6} + V_{0,8})$ » (Buchet, 2003). Si la hauteur d'eau ne le permet pas, un relevé unique est effectué.



Chaque débit élémentaire est donc calculé de la façon suivante :

$$Q = \frac{(V_{moy1} + V_{moy2}) \left(\frac{d1 + d2}{2} \right) b}{2}$$

où $\frac{d1 + d2}{2} b$ correspond donc à l'aire de la section, assimilée à un trapèze (en rouge, Fig.1).

On se rend donc bien compte de l'intérêt – en théorie – de discrétiser au maximum la section du cours d'eau. L'erreur sur l'estimation de la surface en est, en effet, réduite d'autant. Ceci spécialement lorsque l'évolution n'est pas régulière, ce qui, dans la nature, est bien plus courant qu'une section circulaire.

Fig.1 - Discrétisation du cours d'eau en sections

Remarques préliminaires

a. Pour des évolutions lentes et régulières du fond du cours d'eau (sur la largeur de la section), il n'est pas nécessaire de diviser ce domaine en un grand nombre de sections, encore moins de largeurs égales. Il est plus judicieux de suivre les variations du fond afin d'avoir, d'une part, une bonne approximation de la surface totale de la section du cours d'eau pour un minimum de mesures, d'autre part, de bien suivre les évolutions de vitesses moyennes, étroitement liées aux variations de la hauteur d'eau. C'est donc une adaptation du protocole laissée à l'initiative de l'opérateur qui, une fois sur place, estimera de visu le nombre de sections suffisant.

b. La méthode « des trois points » est sans doute basée sur l'hypothèse d'un écoulement dit « turbulent rugueux », c'est-à-dire ne dépendant que de la géométrie du cours d'eau et de la rugosité du fond. Ce type d'écoulement se rencontre couramment dans la nature et sous-tend une composition du fond suffisamment granuleuse par rapport à la vitesse pour engendrer des micro-tourbillons et détruire la sous-couche visqueuse du fond. La description de l'écoulement va naturellement en dépendre.

Certains écoulements du suivi effectués peuvent y être assimilés. Il s'agit de collecter un nombre de données suffisant, et ainsi déterminer les étiers dont la position de la vitesse représentative de la vitesse moyenne peut être connue. Il est cependant inutile d'appliquer cette démarche partout. La priorité va à l'étier de Pont d'Arm pour lequel le temps d'acquisition des données est le plus important.

En réduisant de cette manière le nombre de mesures, on obtiendra un gain indispensable en temps et en efficacité sur le terrain.

c. Un second point intéressant est, en revanche, d'affiner les mesures sur les faibles débits (inférieurs à 10 L/s c'est-à-dire à R2000, Torgouët et Croix de l'Anse), et ce, également de manière rétroactive. En effet, pour ces écoulements, la hauteur d'eau insuffisante ne permet au mieux d'effectuer qu'une mesure au moulinet. Le résultat porte donc une forte incertitude. On effectuera alors des mesures dites « volumétriques ». Il s'agit de mesures directes du volume écoulé à l'aide de récipients, bien plus fiables mais inapplicables pour des débits plus importants.

La démarche et les résultats de cette investigation sont présentés ci-dessous.

2. Réduction du nombre de points de mesures de vitesses au point de prélèvement de l'étier de Pont d'Arm

2.1. Considérations hydrodynamiques

Certains nombres adimensionnés permettent de caractériser les écoulements. On trouve ainsi le nombre de Froude : $Fr = \frac{\bar{u}}{\sqrt{gH_m}}$, avec g la gravité ($9,81\text{m/s}^2$) et H_m la hauteur moyenne. S'il est inférieur à l'unité, le régime d'écoulement est dit « fluvial ». Sinon il est dit « torrentiel ». Dans notre cas, le nombre de Froude reste compris entre 0,4 et 0,6 sur l'ensemble des campagnes de mesures.

Le nombre de Reynolds de l'écoulement, $Re = \frac{\bar{u}H_m}{\nu}$, avec ν la viscosité laminaire de l'eau (égale à $10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$) va, quant à lui, déterminer le régime hydraulique. Ce dernier est dit

« laminaire » s'il est inférieur à 2000. Au delà de 4000, il est dit « turbulent ». Les données acquises nous donnent des Reynolds compris entre 5000 et 50000.

Sous certaines hypothèses, on peut formuler la valeur de la vitesse de l'écoulement de manière analytique. Ainsi, pour un écoulement permanent (indépendant du temps), homogène (densité de l'eau constante) et rectiligne, de type turbulent rugueux, on trouve la

relation suivante (Hervouët *in* Lequette, 2003) : $u(z)=u \cdot \frac{-\text{Ln}\left(\frac{30z}{k_s}\right)}{\text{Ln}\left(\frac{30h}{ek_s}\right)}$ (1) avec z la hauteur d'eau

au départ du fond, k_s la taille de rugosité du fond (égale à 2,5 fois la taille moyenne des aspérités pour un fond plat) et $\bar{u}=\frac{Q}{Lh}$ la vitesse moyenne sur la colonne d'eau. Il s'agit donc d'un profil de type logarithmique ($u(z)=f(\text{Ln}(z))$).

Les caractéristiques naturelles du site de mesure de l'étier de Pont d'Arm (voie rectiligne bétonnée sur une dizaine de mètres de long, débit important) répondent à plusieurs des hypothèses nécessaires. C'est ce qui est vérifié plus bas.

Le fait d'approcher l'écoulement réel par un profil de vitesses analytique nous permet d'en déduire la position approximative de la vitesse représentative de la vitesse moyenne \bar{u} . En effet, d'après l'équation (1), on trouve $u(z)=\bar{u}$ pour $z=h/e$ ou encore $z/h=1/e=0,368$.

2.2. Application à l'étier de Pont d'Arm – Caractérisation de l'écoulement

Plusieurs séries de mesures ont été effectuées sur le site, dont une très complète (81 points de mesures répartis sur 12 sections) qui nous permet d'évaluer l'erreur commise par l'application du nouveau protocole. Les résultats tendent à confirmer l'hypothèse selon laquelle l'écoulement, à cet endroit, peut être représenté par un profil logarithmique, caractéristique d'un écoulement turbulent rugueux (Fig.2).

La vitesse est tracée en fonction de z/H , la hauteur d'eau relative, qui va donc de 0 à 1.

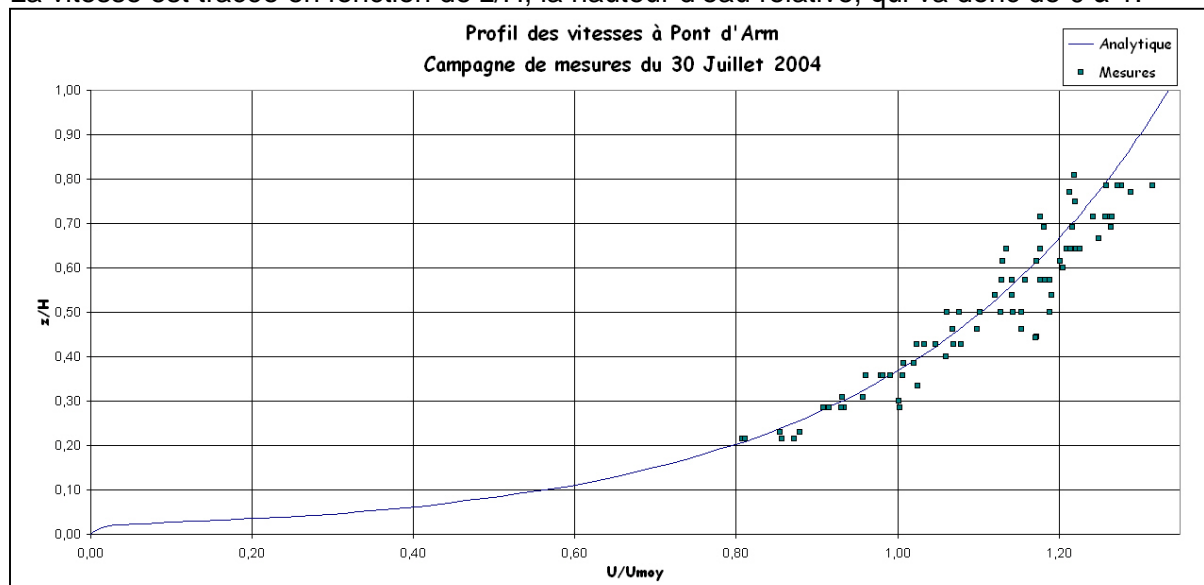


Fig.2 - Confrontation du profil analytique des vitesses avec les mesures - Etier de Pont d'Arm

Par une transformation logarithmique de l'axe des ordonnées (z/H devient $\ln(z/H)$), on obtient une droite pour le profil analytique. La droite de régression pour les points de mesures en est très proche. Le coefficient de corrélation r^2 est égal à 0.92, ce qui n'est pas exceptionnel mais démarque une forte tendance (Fig.3).

On utilise u/u_{moy} (u_{moy} est la vitesse moyenne sur la hauteur d'eau) en abscisse pour s'affranchir des fluctuations locales de débit (sur la largeur du cours d'eau) et donc de vitesse moyenne.

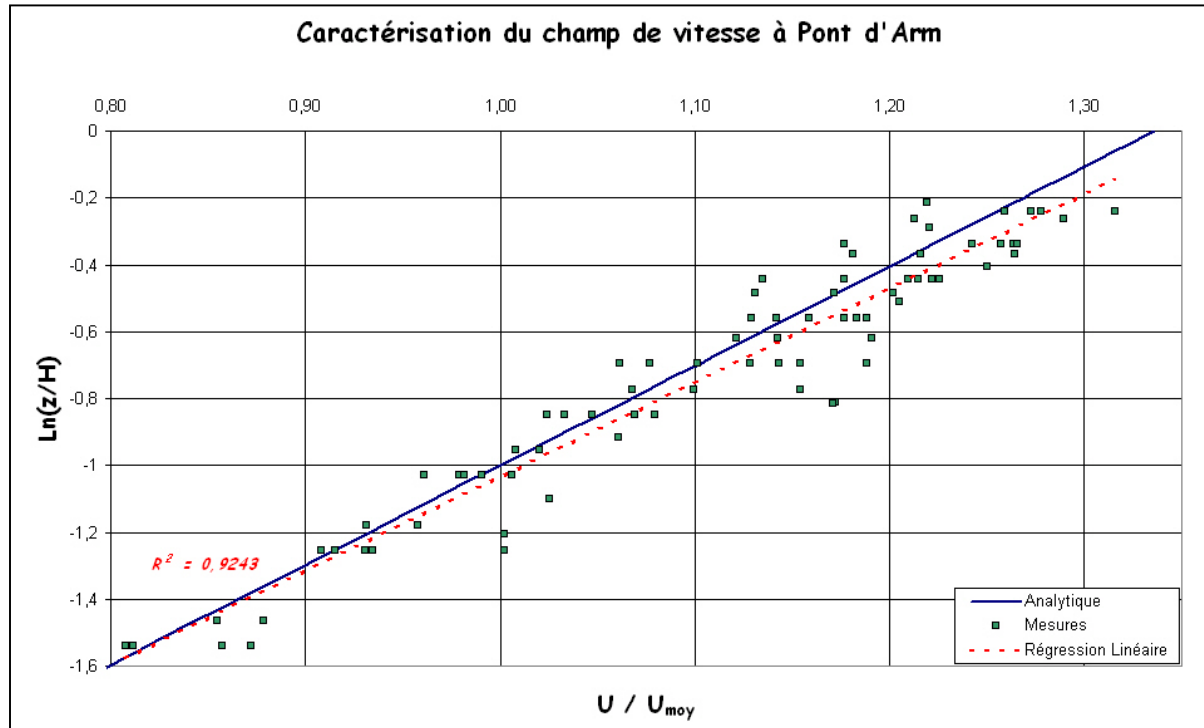


Fig.3 - Transformation Log – Profil des vitesses à Pont d'Arm

Cette modélisation de l'écoulement s'appuie sur une taille de rugosité égale à 9cm, soit une taille moyenne des aspérités égale à 3,6cm, taille importante mais assez cohérente avec ce que l'on peut estimer au toucher sur le site, c'est-à-dire un fond bétonné recouvert de coquillages.

On s'accorde donc à dire que la vitesse moyenne est atteinte à une hauteur d'eau égale à 0,37 fois la hauteur totale (au départ du fond).

Cette **prise de vitesse unique sur la hauteur d'eau** réduit par 3 le nombre de mesures rendues nécessaires par l'application stricte du protocole précédemment établi.

Nota : Deux mesures aberrantes car réalisées trop près de la surface ont été retirés du jeu de données analysé.

2.3. Symétrie de l'écoulement

La géométrie rectiligne de l'écoulement nous invitait à chercher un axe de symétrie. Cette hypothèse nous permettrait de diviser encore par deux le nombre de mesures à effectuer. Pour une symétrie parfaite, la moitié des volumes écoulés passent sur la moitié de la largeur du cours d'eau.

Le protocole de mesure fait que l'on mesure un débit sur chaque section du cours d'eau, avant de les sommer pour obtenir le débit global. Les sections n'étant pas de largeur constante, ces débits partiels sont ramenés à une largeur unitaire avant d'être exploités.

Une première exploitation, consiste à représenter la répartition spatiale (sur la largeur de l'étier) des débits partiels. La symétrie, si elle existe est alors bien visible. On peut également vérifier le fait que les débits les plus faibles sont trouvés aux extrémités, les plus forts étant au centre (loin de l'influence des parois).

C'est bien le cas ici. On note, cependant une légère asymétrie avec des débits plus forts à gauche (Fig.4). C'est une particularité à laquelle on peut s'attendre, connaissant le site. L'entrée de l'écoulement sur la partie bétonnée se fait, en effet, de façon légèrement oblique. On observe alors un léger tourbillon proche de la rive droite (pour une orientation similaire à celle de la figure 4).

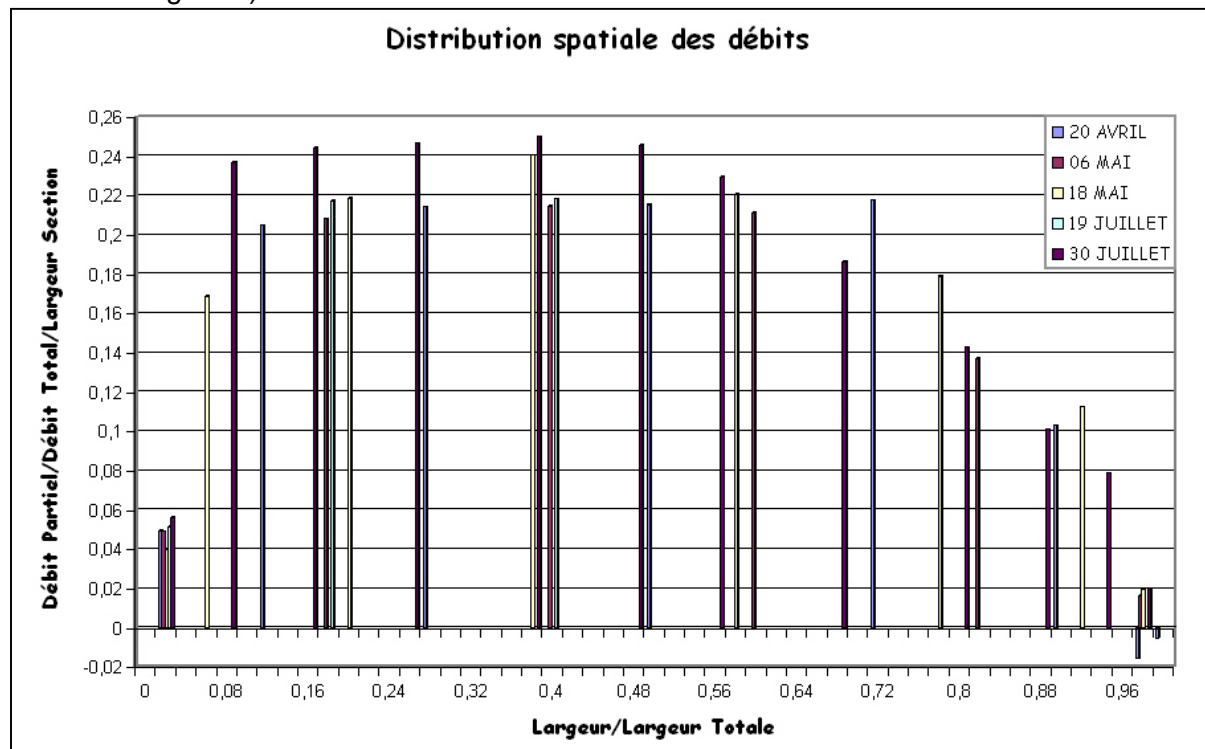


Fig.4 - Répartition spatiale des débits à Pont d'Arm

Ce type de graphique est, en revanche, peu lisible si l'on désire mettre en évidence la position de l'axe de symétrie. Pour cela, il est préférable d'établir un graphe représentant la répartition cumulée des débits sur la largeur du cours d'eau (Fig.5). Les débits sont additionnés les uns aux autres au fur et à mesure que l'on avance sur la largeur. L'axe vertical va donc de 0 à 100% lorsque l'horizontal va de 0 à 1 (ou 100%).

Le coefficient de régression obtenu, très satisfaisant (supérieur à 0.998), nous permet de conclure quant à la distance nécessaire pour récolter la moitié du débit global, soit 0.45 fois la largeur au départ de la gauche (Fig.5). La position de l'axe de symétrie est donc bien légèrement décalée ce qui, encore une fois, correspond à la configuration du site.

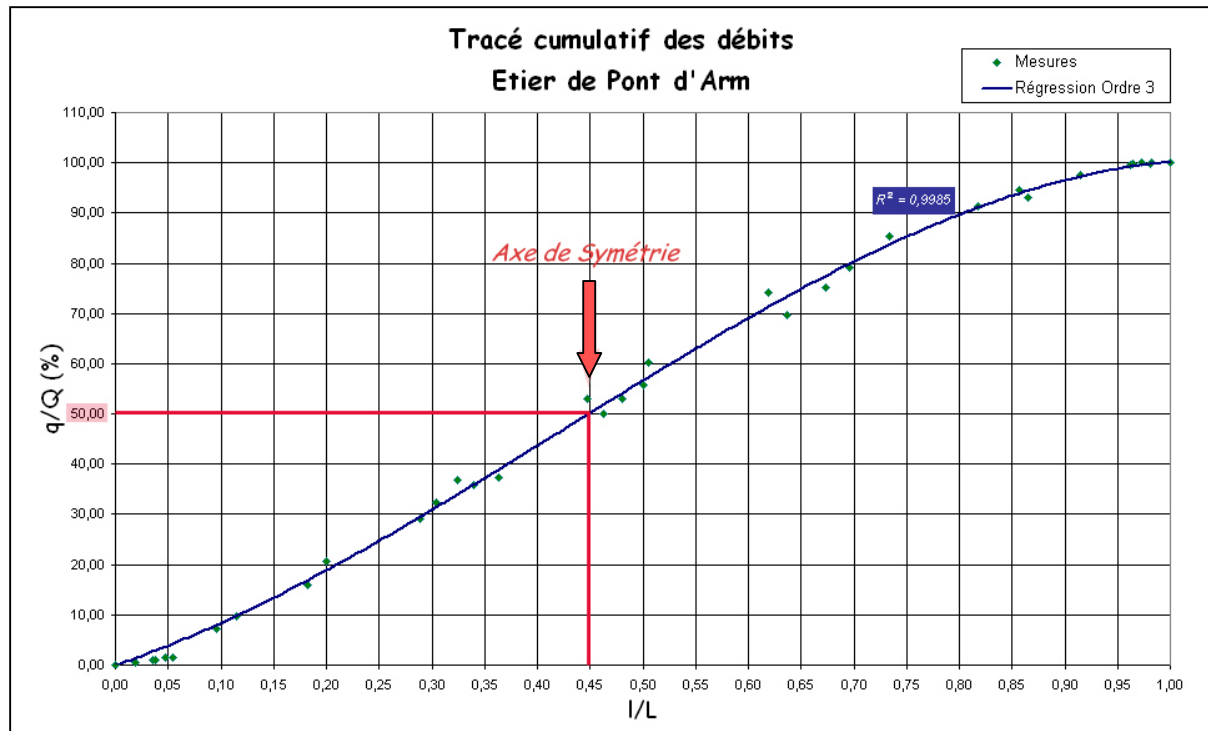


Fig.5 - Répartition spatiale cumulée des débits à Pont d'Arm

2.4. Nouvelles prescriptions

Le nombre de points de mesures était initialement d'environ 21. Le domaine désormais étudié est divisé en deux zones dont la limite se situe à 0.45 fois la largeur. Cette section sera elle-même divisée en 3 parties. La première sera, pour des raisons hydrodynamiques, très proche du bord (10 à 20cm), la seconde au tiers de la demi-largeur (donc environ 0.15 fois la largeur totale) et la dernière sur l'axe de symétrie. Une mesure de vitesse unique à 0.37 fois la hauteur d'eau sera effectuée pour chaque partie.

Sous ces hypothèses, le nombre de points de mesures de la vitesse passe à 3. L'optimisation de l'échantillonnage des vitesses pour ce site nous permet de gagner environ 20 minutes, et suffit à mener à bien les campagnes de mesures.

2.5. Erreur commise

L'application de cette démarche au jeu de données le plus riche (81 points) nous fait commettre une erreur minime, environ égale à 6%, sur la valeur du débit. Le nouveau protocole se révèle donc efficace et peut donc être considéré comme validé

3. Usage de la mesure volumétrique

Cette méthode, facile à mettre en œuvre, s'avère indispensable pour les écoulements à faible débit. Les étiers ou rejets concernés sont Torgouët, Croix de l'Anse et Rejet2000.

La hauteur d'eau, insuffisante, va parfois jusqu'à rendre impossible une mesure avec le moulinet. C'est souvent le cas pour Torgouët et Croix de l'Anse. Cette mesure est pourtant indispensable. Elle doit, pour une approche par flux, être reliée aux concentrations des substances dissoutes recherchées. La mesure volumétrique y sera donc désormais préconisée.

Et lorsque la mesure est possible, elle ne l'est bien souvent qu'en un point, au centre du cours d'eau. C'est le cas du Rejet2000. L'erreur induite peut alors atteindre 100%. Un coefficient de proportionnalité est donc recherché entre la mesure au moulinet et la mesure volumétrique.

3.1. Protocole

3.1.1. Matériel requis et protocole

Le protocole de mesure est relativement simple et ne nécessite pas plus d'investissements qu'un grand sac plastique pour récolter l'eau, un bécher pour mesurer le volume recueilli et un chronomètre pour la mesure du temps écoulé.

La méthode consiste à recueillir un volume d'eau grâce au sac. Le liquide est alors transvasé, petit à petit, dans un bécher pour la lecture du volume. Le chronomètre, déclenché au démarrage et à l'arrêt de la prise d'eau, permet de relier le volume à un temps, donc de connaître le débit.

3.1.2. Caractéristiques du sac et du bécher

Le sac doit être suffisamment large pour l'étaler sur toute la largeur du cours d'eau. On évite ainsi la fuite du précieux liquide sur les bords. Il doit être, de plus, suffisamment profond pour que l'eau s'écoule facilement à l'intérieur sans générer de reflux qui fausserait la mesure.

Un bécher (ou autre récipient gradué) de grande taille est préférable pour ne pas rendre la mesure trop fastidieuse.

3.1.3. Temps de mesure

Plus grand est le temps de mesure et meilleure est la précision. Le débit fluctue, en effet, au cours du temps, particulièrement pour un rejet. Le fait de prolonger le temps de mesure a donc pour effet d'absorber ces variations. Cette durée permet également d'estomper l'incertitude relevant du déclenchement et de l'arrêt du chronomètre. On peut fixer à moins d'une minute, un temps suffisant de collecte d'eau. Il s'agit d'une estimation qui devra être adaptée in situ. Il sera, par exemple, difficile et fastidieux de l'appliquer au Rejet2000 dont le débit ne permet pas de prises de volumes d'eau pendant plus de 4 secondes consécutives.

Une mesure sur 30 secondes a été effectuée afin de préciser cette durée optimale. Cette durée s'est cependant avérée être insuffisante pour une raison imprévisible en théorie. Le débit a en effet quasiment doublé pendant la mesure. L'imprévisible vient du fait qu'il s'agit d'un rejet d'eaux pluviales. Or le temps était au beau fixe...

Ce problème rend nos données peu exploitables (Fig.6). On remarque tout de même que la moyenne semble se stabiliser au bout de 3 ou 4 résultats pour les 5 premières mesures.

Cette observation concerne également les mesures suivantes, prises séparément (Fig.7).

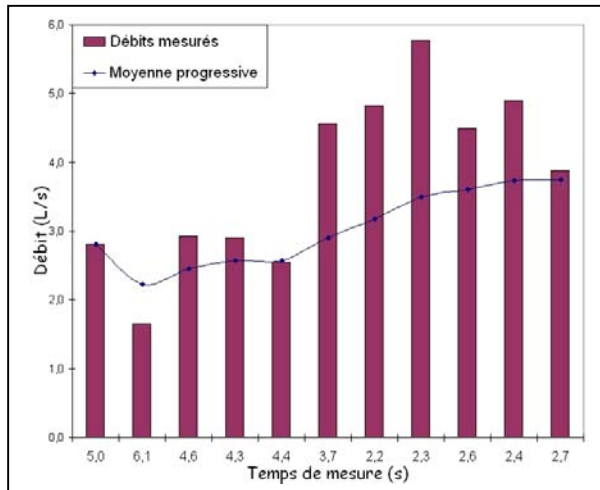


Fig.6 - Evolution de la valeur du débit moyen au Rejet2000

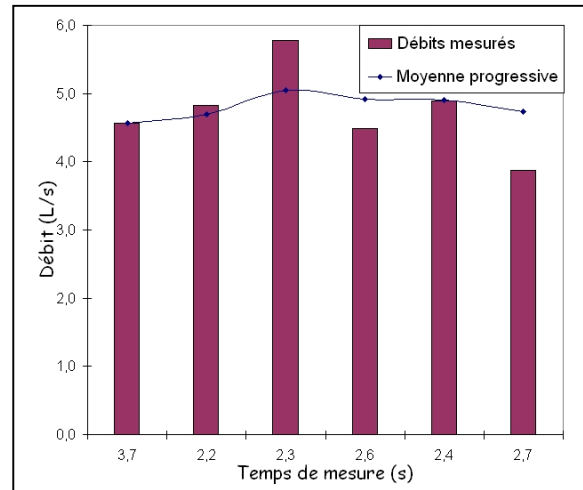


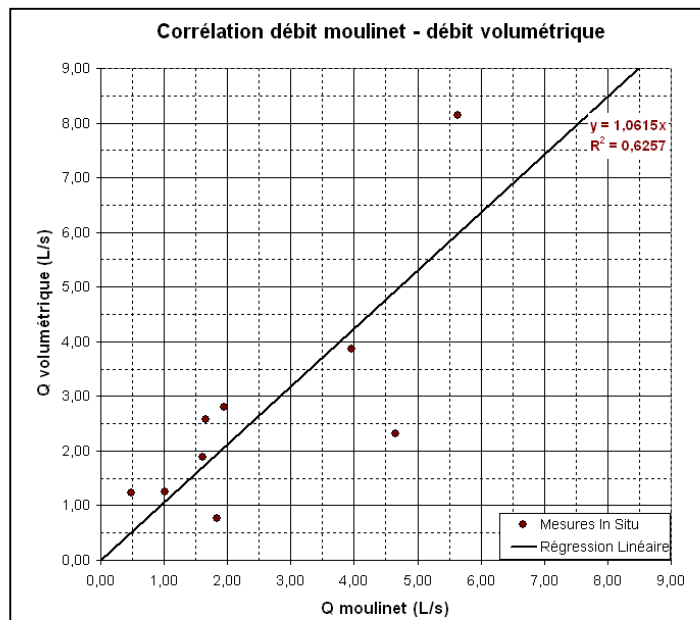
Fig.7 - Evolution de la valeur du débit moyen au R2000 pour les 6 dernières mesures

3.2. Etalonnage du moulinet au Rejet2000

Les premières mesures montrent une surestimation du débit mesuré, jusque là, avec le moulinet. Il est 2 à 2.5 fois supérieur au débit issu de la mesure volumétrique pour les deux premières campagnes (Fig.8). Il faut cependant être prudent avec ces chiffres. Les temps de collecte de l'eau étaient assez faibles (20s et 5s !) et le sac utilisé la première fois, peu adapté au cours d'eau. Une tendance inverse est observée pour les résultats suivants.

Les résultats s'avèrent être très sensibles du fait des faibles débits mesurés.

On observe donc, globalement, un coefficient de proportionnalité proche de l'unité.



Cet étalonnage du moulinet nous permet d'accorder un crédit suffisant aux valeurs de débits précédemment mesurées. Il reste, néanmoins, préférable de poursuivre les mesures en ce point avec la méthode volumétrique.

Annexe 10

Caractéristiques de la sonde multiparamètres YSI

Temperature :	
Operating:	-10° to 60° C for visible display
Storage:	-20° to 70° C
Waterproof :	IP-67 for both the standard alkaline battery configuration and for the rechargeable battery pack option
Size:	11.9 cm width x 22.9 cm length (4.7 in. x 9 in.)
Weight with batteries :	2.1 lbs. (0.91 kg)
Display :	VGA; LCD with 320 by 240 pixels with backlight
Connector :	MS-8; meets IP-67 specification
Battery :	Standard 4 alkaline C-cells with detachable battery cover Optional Ni metal hydride battery pack with attached battery cover and 110/220 volt charging system
Communications :	RS-232 to all sondes, for data transfer to PC, and for software updates and SDI-12
GPS:	Y-cable, NMEA 0183
Backlight :	4 LEDs illuminating LCD; user-selectable
Keypad :	20 keys, including instrument on/off, backlight on/off, enter, esc, 10 number/letter entry keys, 2 vertical arrow keys, 2 horizontal arrow keys, period key, and minus key

YSI 600 QS Sonde Specifications (600R)

Size:	OD: 1.65" (4.19 cm)	Length: 14" (35.6 cm)	Weight: 1.1 lbs (0.49 kg)
Depth:	Range	Resolution	Accuracy
Medium	0-200 feet (0-61 m)	0.001 feet (0.001 m)	±0.4 feet (±0.12 m)
Dissolved oxygen % air saturation:	0 to 500%	0.1%	0 to 200%: ±2% of reading or 2% air saturation, whichever is greater; 200 to 500%: 6% of reading
Dissolved oxygen mg/L:	0 to 50 mg/L	0.01 mg/L	0 to 20 mg/L: ±2% of reading or 0.2 mg/L, whichever is greater; 20 to 50 mg/L: ±6% of reading
Conductivity:	0 to 100 mS/cm	0.001 to 0.1 mS/cm (range-dependent)	±0.5% of reading +0.001 mS/cm
Temperature:	-5 to +45 C	0.01 C	±0.15 C
pH:	0 to 14 units	0.01 unit	0.2 unit
Salinity:	0 to 70 ppt	0.01 ppt	±1% of reading or 0.1 ppt, whichever is greater
ORP:	-999 to +999 mV	0.1 mV	±20 mV

Annexe 11

Liste des phytosanitaires recherchés

Familles	Molécules	méthode	Protocole	Seuil de quantification (µg/l)
Amides	Isoxaben	HPLC/MS	Méthode interne	0.05
	Propyzamide	HPLC/MS		0.05
	Tébutame	GC/MS GC/MS	Méthode interne	0.05
Aminophosphonates	Glyphosate AMPA	HPLC/Fluo HPLC/Fluo	Méthode interne	0.05 0.05
Carbamates	Pirimicarbe	HPLC/MS	Méthode interne	0.05
	Carbaryl	HPLC/MS		0.05
	Méthomyl	HPLC/MS		0.10
	Aldicarbe	HPLC/MS		0.04
	Carbétamide	HPLC/MS		0.02
	Carbofuran	HPLC/MS		0.02
	Prosulfocarbe EPTC	HPLC/MS GC/MS	Méthode interne	0.05 0.10
Chloroacétanilides	Acétochlore	HPLC/MS	Méthode interne	0.05
	Dimethenamide	GC/MS	Méthode interne	0.05
	Alachlore	GC/MS		0.05
	Métolachlore	GC/MS		0.05
	Métazachlore	GC/MS		0.05
Dicarboximides	Vinclozoline	GC/MS	Méthode interne	
	Procymodone	GC/MS		
	Iprodione	GC/MS		
Dinitroanilines	Orizalin	HPLC/MS	Méthode interne	0.05
	Trifluraline	GC/MS	Méthode interne	0.10
	Pendiméthaline	GC/MS		0.05
Dinitrophénols	Dinoseb	HPLC/MS	Méthode interne	0.05
	Dinoterb	HPLC/MS		0.05
	D.N.O.C	HPLC/MS		0.05
Diphényléthers	Bifénox	GC/MS	Méthode interne	0.10
	Aclonifène	GC/MS		0.10
Morpholines	Fenpropidine	GC/MS	Méthode interne	0.10
	Fenpropimorphe	GC/MS		0.05
Organoazotés	Cyanazine	HPLC/MS	NF EN ISO 11369	0.02
	Atrazine	HPLC/MS		0.02
	Atrazine Déséthyl	HPLC/MS		0.02
	Atrazine déisopropyl	HPLC/MS		0.02
	2- hydroxyatrazine	HPLC/MS		0.04
	Simazine	HPLC/MS		0.02
	Prométone	HPLC/MS		0.02
	Amétryne	HPLC/MS		0.02
	Propazine	HPLC/MS		0.02
	Terbutylazine	HPLC/MS		0.02
	Prométryne	HPLC/MS		0.02
	Terbutryne	HPLC/MS		0.02
	Terbutylazine désethyl	HPLC/MS		0.02
Organochlorés	HCH Gamma	GC/MS	NF EN ISO 6468	0.05
	Endosulfan A	GC/MS		0.10
	Endosulfan B	GC/MS		0.10
Organophosphorés	Terbuphos	GC/MS	NF EN ISO 12918	0.10
	Chlorpyriphos-éthyl	GC/MS		0.05
Phénoxy acides, Cyanophénols, Dérivés picoliniques	Dicamba	GC/MS	Méthode interne	0.10
	2,4-MCPA	GC/MS		0.10
	2,4-D	GC/MS		0.10
	Mécoprop	GC/MS		0.10
	Dichlorprop	GC/MS		0.10

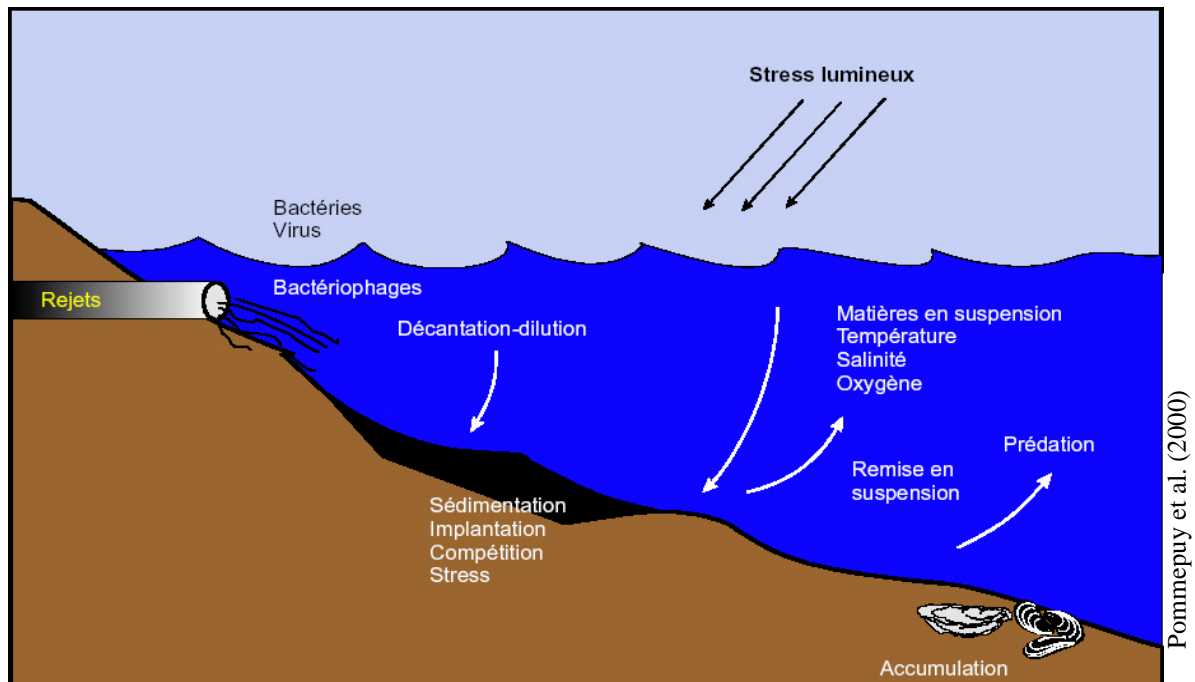
	Silvex		GC/MS		0.10
	2,4,5-T		GC/MS		0.10
	2,4-MCPB		GC/MS		0.10
	2,4-DB		GC/MS		0.10
	Piclorame		GC/MS		0.10
	Bromoxynil		GC/MS		0.10
	Ioxynil		GC/MS		0.10
	Triclopyr		GC/MS		0.10
	Fluroxypyr		GC/MS		0.10
	Clopyralide		GC/MS		0.10
Sulfonyl	Urées				
	Nicosulfuron		HPLC/MS	Méthode interne	0.05
	Thifensulfuron	methyl	HPLC/MS		0.05
	Metsulfuron	méthyle	HPLC/MS		0.10
	Chlorsulfuron		HPLC/MS		0.05
	Triasulfuron		HPLC/MS		0.05
	Flazasulfuron		HPLC/MS		0.05
Urées	Substituées				
	Métobromuron		HPLC/MS	NF EN ISO 11369	0.02
	Buturon		HPLC/MS		0.02
	Monolinuron		HPLC/MS		0.02
	Chlortoluron		HPLC/MS		0.02
	Linuron		HPLC/MS		0.02
	Isoproturon		HPLC/MS		0.02
	Néburon		HPLC/MS		0.02
	Méthabenzthiazuron		HPLC/MS		0.02
	Diuron		HPLC/MS		0.02
	Monuron		HPLC/MS		0.02
	Métoxuron		HPLC/MS		0.02
	Diflubenzuron		HPLC/MS		0.04
Divers					
	Fipronil		GC/MS	Méthodes internes	0.05
	Métosulame		HPLC/MS		0.05
	Desmétryne		GC/MS		0.10
	Métribuzine		HPLC/MS		0.02
	Aminotriazole		HPLC/fluo		0.05
	Sulcotrione		HPLC/MS		0.10
	Bromacil		HPLC/MS		0.05
	Bentazone		HPLC/MS		0.05
	Haloxyfop		HPLC/MS		0.05
	Isoxaflutol		HPLC/MS		0.05
	2,6-diethylaniline		GC/MS		0.05
	Chlorothalonil		GC/MS		0.05
	Oxadiazon		GC/MS		0.05
	Oxadixyl		GC/MS		0.10
	Diflufenicanil		GC/MS		0.05
	Flurochloridone		GC/MS		0.05
	Pyrimethanil		GC/MS		0.05
	Carbendazime		HPLC/MS		0.02
	Ethofumésate		HPLC/MS		0.04
	Dichlobenil		GC/MS		0.05
	Imidacloprid		HPLC/MS		0.05
	Flurtamone		HPLC/MS		0.02
	Prochloraz		HPLC/MS		0.02
	Imazaméthabenz-méthyl		HPLC/MS		0.02

Annexe 12

Devenir des bactéries en zone littorale

Sources : Pommepeuy et al., 1991, 2000 .

Les microorganismes arrivant en milieu marin sont soumis à divers facteurs (température, turbidité, salinité,...) et processus (adsorption, dilution, dispersion, bio-accumulation,...) qui jouent un rôle plus ou moins important - selon la saison ou les caractéristiques d'un site sur l'évolution de leur concentration.



L'analyse et l'estimation de l'impact spécifique des facteurs de stress permettent alors de déterminer un paramètre représentatif de l'évolution de la charge bactérienne du milieu, le T90 (temps nécessaire pour observer une décroissance de 90% de la population initiale des microorganismes). C'est ce paramètre qui sera utilisé dans le modèle numérique. Il est donc important de l'évaluer le plus précisément possible. Des formulations empiriques et abaque existent pour le déterminer, mais le T90 ne tient pas compte de l'ensemble des processus liés à chaque site.

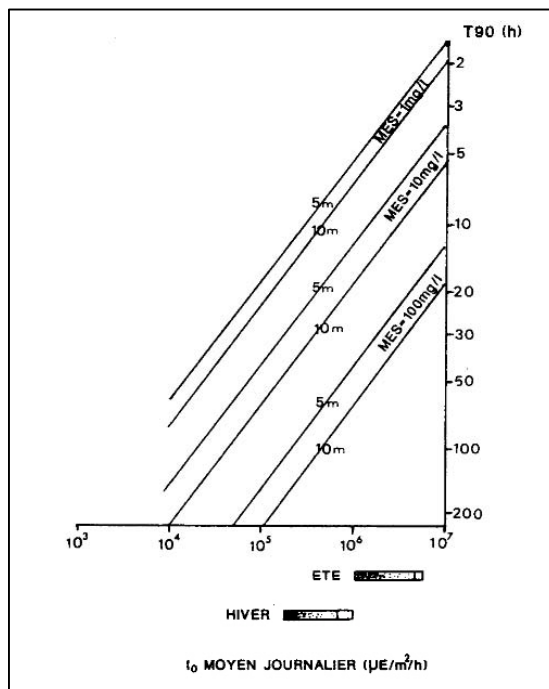
Les formules et abaque que l'on trouve dans la littérature scientifique ne font intervenir "que" les termes d'ensoleillement (bactéricide), de hauteur d'eau (atténuation de la lumière) et de turbidité ou concentration en MES (atténuation du facteur ensoleillement également).

On a ainsi (Le Hir et al., 1991) :

$$T90 = 9645 \cdot I^{-0.5462} \text{ où } I = I_s(1 - e^{-kH})/kH \text{ et}$$

- H est la hauteur d'eau (m)
- k est le coefficient d'atténuation, $k = 0,1 \cdot MES(mg/L)$
- I_s est la lumière incidente, $I_s = \max(0, I_0 \sin(2\pi(t_0 - t)/86400))$
- I_0 est la lumière incidente maximale de la journée, $I_0 \sim 5 \cdot 10^6 \mu E \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$

Cette formule donne, pour le domaine étudié, des T90 allant de 12h à 33h pour le Croisic et de 5h à 38h pour Pen-Bé, en ensoleillement maximal, et à profondeur moyenne (5m) si l'on se réfère aux données de concentration en MES observées et recueillies par le laboratoire Pen Avel de CAP Atlantique. Il s'agit donc là de conditions assez favorables, mais à rapprocher de flux polluants plus importants (saison estivale).



Relations entre profondeur, turbidité, intensité lumineuse et T90 (Pommepuy *et al.*, 1991)

On trouve des valeurs similaires grâce à l'abaque ci-contre établi par Pommepuy *et al.* (1991), soit, transposé à notre secteur d'étude, environ 10 à 30 heures environ pour le Croisic et 7 à 40 heures pour Pen-Bé.

Dans cette étude, la plupart des simulations sont effectuées pour un T90 égal à 40h, soit en condition d'ensoleillement moyen.

Dans ces conditions, l'amortissement, donné par $A(\%) = (1 - \exp(-\frac{Ln(10)}{T90} \cdot t)) \cdot 100$, est égal à 30% au bout d'un temps t égal à 6h.

La dilution des apports bactériens dans les eaux marines va dépendre également de nombreux paramètres tels que : taille et contamination des sédiments, nature des rejets, présence de matières organique...

La sédimentation et les remises en suspension des vases contaminées peuvent correspondre à une part non négligeable de la pollution observée sur un site, dans la mesure où les bactéries peuvent séjourner plusieurs mois dans la vase et donc être remises en suspension dans la colonne d'eau lors de gros coefficients de marée, ou d'événements météorologiques. Rittenberg *et al.* (1958) constatent qu'à partir d'une certaine distance du rejet (30m), les coliformes fécaux (CF) sont rencontrés dans les sédiments à des concentrations supérieures à celles de la colonne d'eau sur jacente.

- Les bactéries peuvent, après passage dans les stations de traitement d'eaux usées, mieux résister aux stress du milieu marin (osmotique, thermique, oligotrophique, oxydatif) Dupray *et al.* (1995).
- La matière organique, fournissant éléments nutritifs et osmoprotecteurs, va également permettre aux bactéries d'augmenter leur résistance aux variations de salure de l'eau (halotolérance). Ainsi, pour des concentrations de 11 à 21 mg/L en matière organique, les bactéries peuvent supporter des valeurs de salinité allant de 25 à 40g/L, alors qu'elles n'en supportaient que 20g/L, prises isolément (Ghoul *et al.*, 1990). Or ce paramètre va bien entendu varier d'un site à l'autre, d'une saison à l'autre. Cependant, la salinité s'avère n'être, sauf cas exceptionnels, qu'un facteur de stress mineur en cause dans la mortalité des microorganismes en zone estuarienne.

Annexe 13

**Validation des modèles courantologiques
secteur de Pen-Bé**

Carte SHOM 7136 – Point B

Coordonnées : N 47°24'18" W 2°34'42"

Modèle MARS-2D correspondant : Pen-Bé

Prédictions de marées du SHOM [I7]

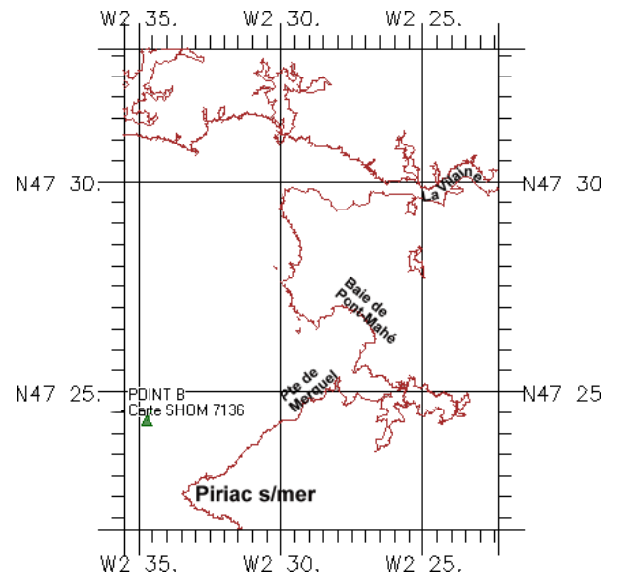
Port de Tréhiguier

Modèle MARS-2D correspondant : Pen-Bé

Courantomètre ADCP – Entrée des traicts

Campagne en mer Ifremer – 13 Juillet 2004

Modèle MARS-2D correspondant : Pen-Bé



Liste des Figures

Figure 1 – Comparaison des modules de vitesses au point B en marée de morte-eau

Figure 2 – Comparaison des modules de vitesses au point B en marée de vive-eau

Figure 3 – Comparaison des directions des vitesses au point B en marée de morte-eau

Figure 4 – Comparaison des directions des vitesses au point B en marée de vive-eau

Figure 5 – Comparaison des niveaux à Tréhiguier pour une marée réelle

Figure 6 – Comparaison des niveaux à Tréhiguier pour une marée de vive-eau moyenne

Figure 7 – Comparaison des modules de vitesses – Mesures Ifremer ADCP

Figure 8 – Comparaison de la composante EST-OUEST des vitesses – Mesures ADCP

Figure 9 – Comparaison de la composante NORD-SUD des vitesses – Mesures ADCP

Figure 10 – Comparaison des directions des vitesses – Mesures Ifremer ADCP

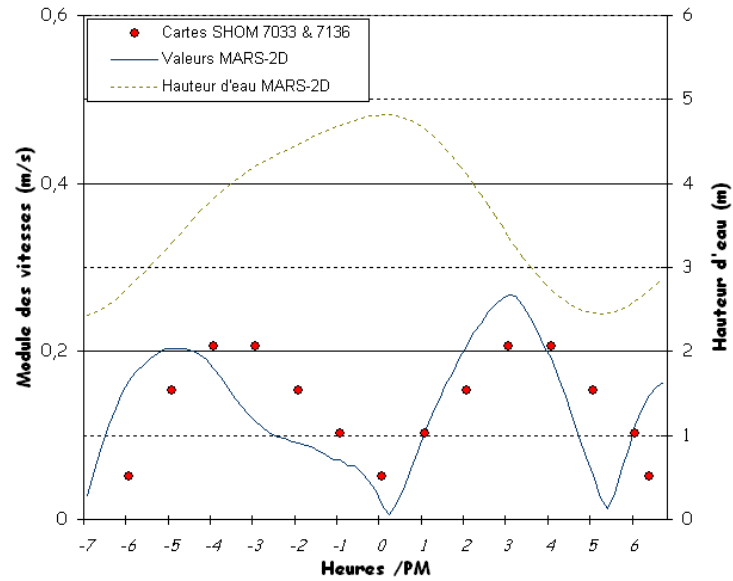


Fig.1 - Comparaison des modules de vitesses en marée de morte-eau

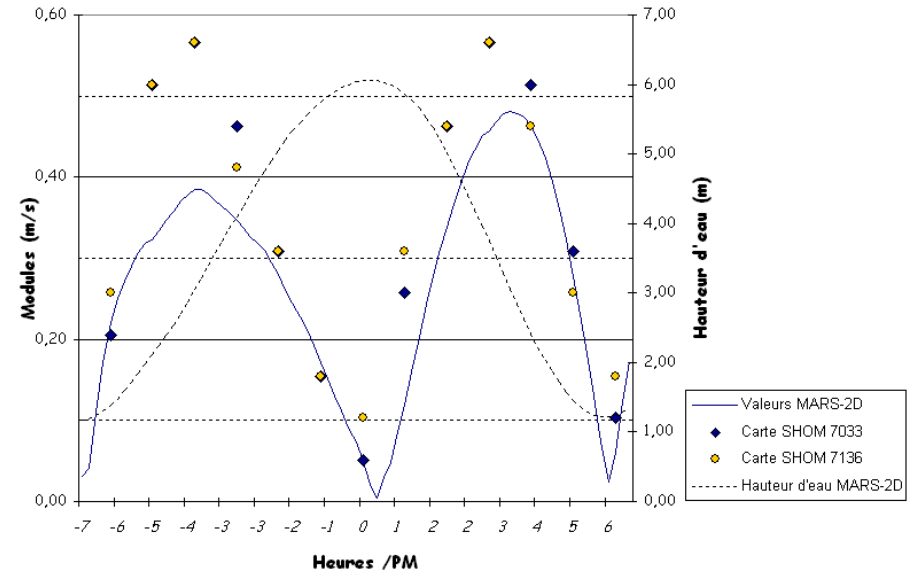


Fig.2 - Comparaison des modules de vitesses en marée de vive-eau

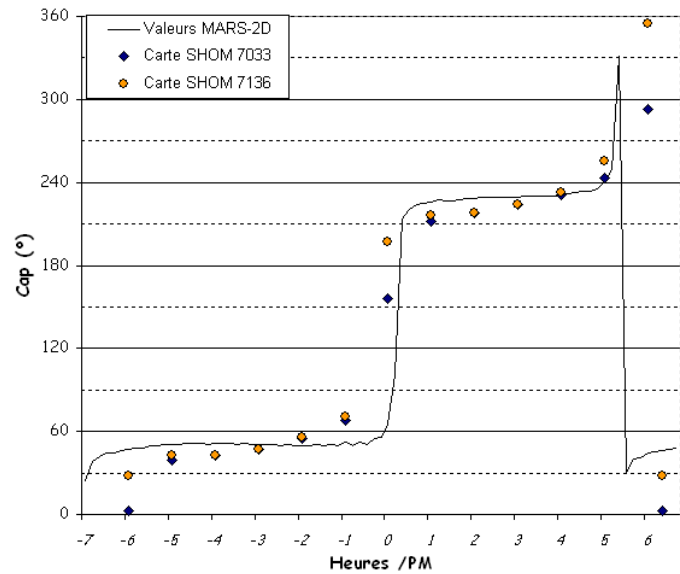


Fig.3 - Comparaison des directions des vitesses en marée de morte-eau

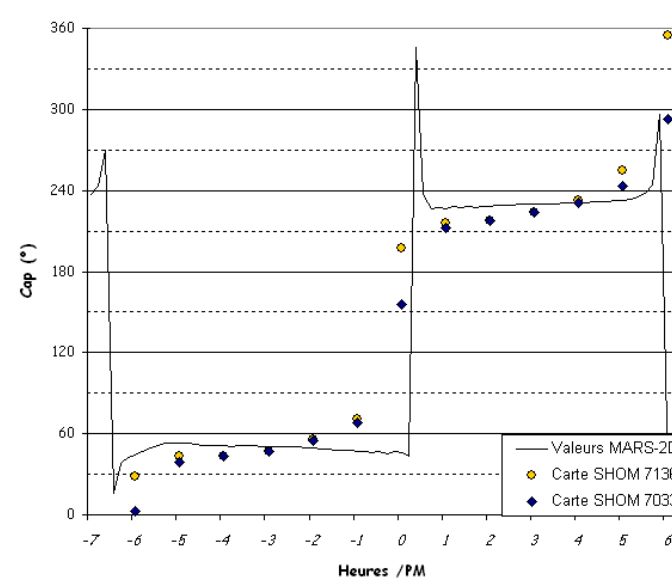
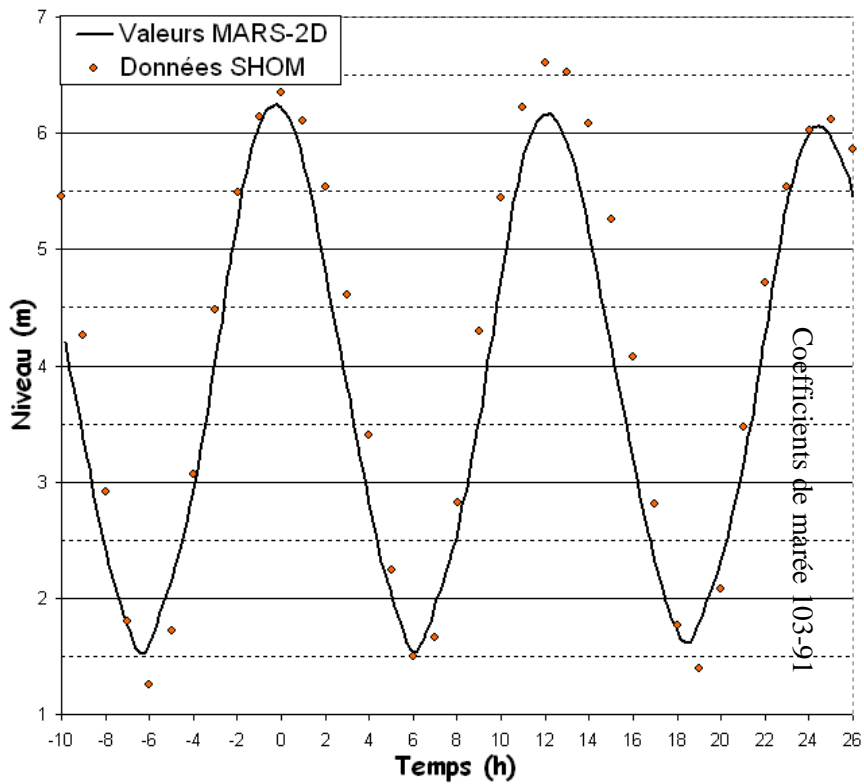


Fig.4 - Comparaison des directions des vitesses en marée de vive-eau

Cartes SHOM 7033 & 7136



Données SHOM

Fig.5 - Comparaison des niveaux à Tréguier pour une marée réelle

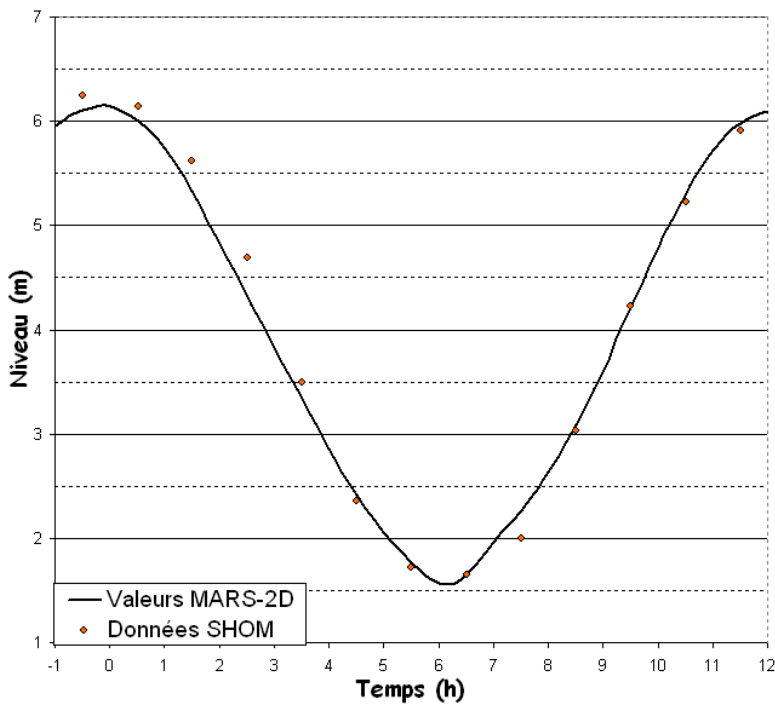


Fig.6 - Comparaison des niveaux à Tréguier pour une marée de vive-eau moyenne (coefficient 70)

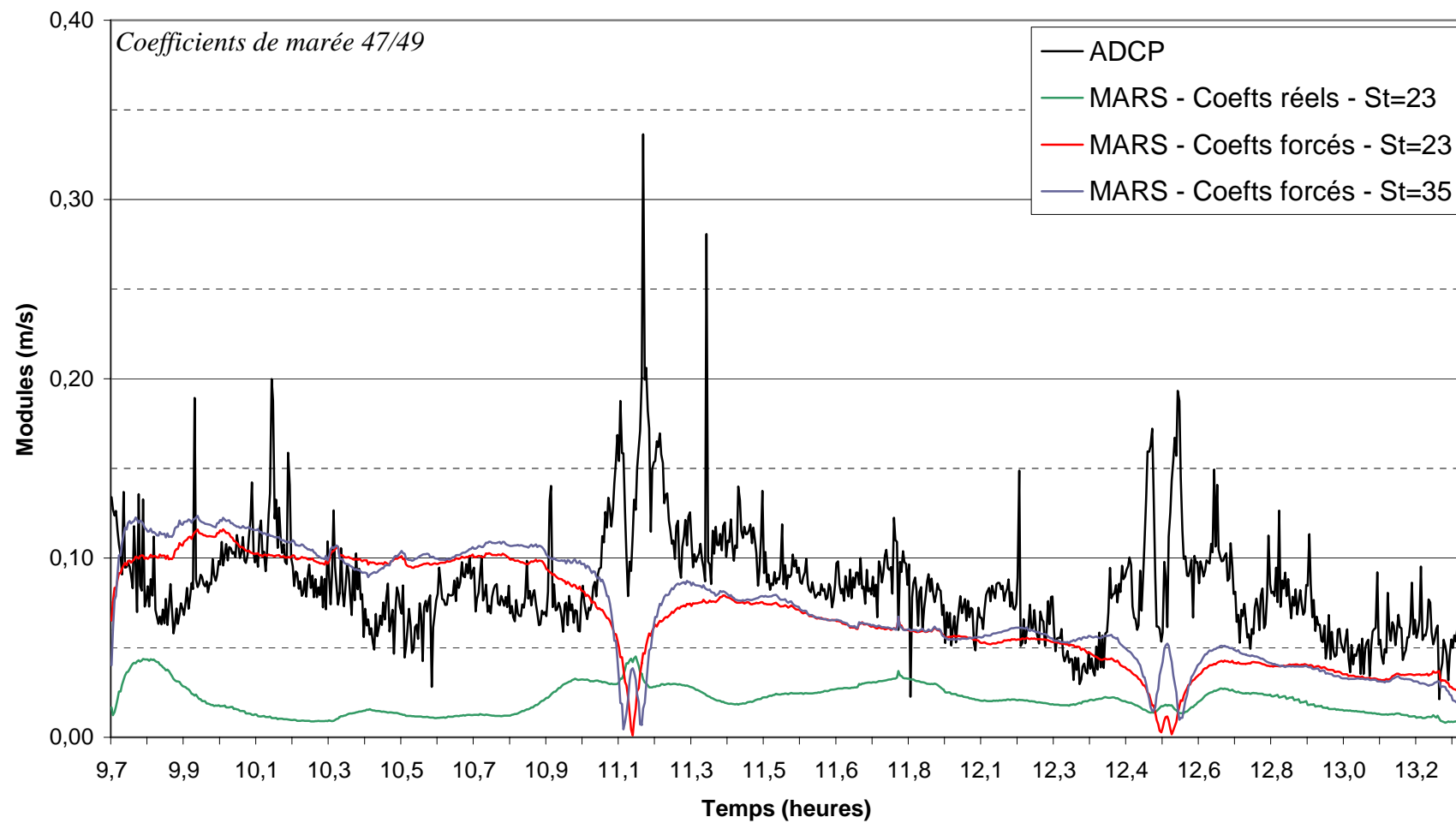


Fig.7 - Comparaison des modules de vitesses – Mesures Ifremer ADCP

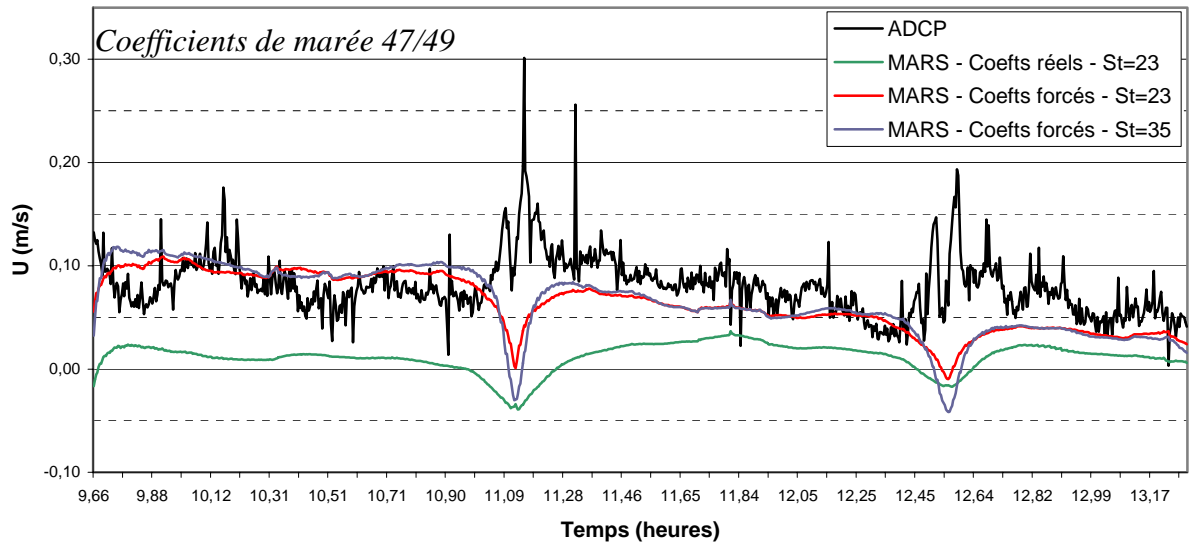


Fig.8 - Comparaison de la composante EST-OUEST des vitesses
Mesures ADCP

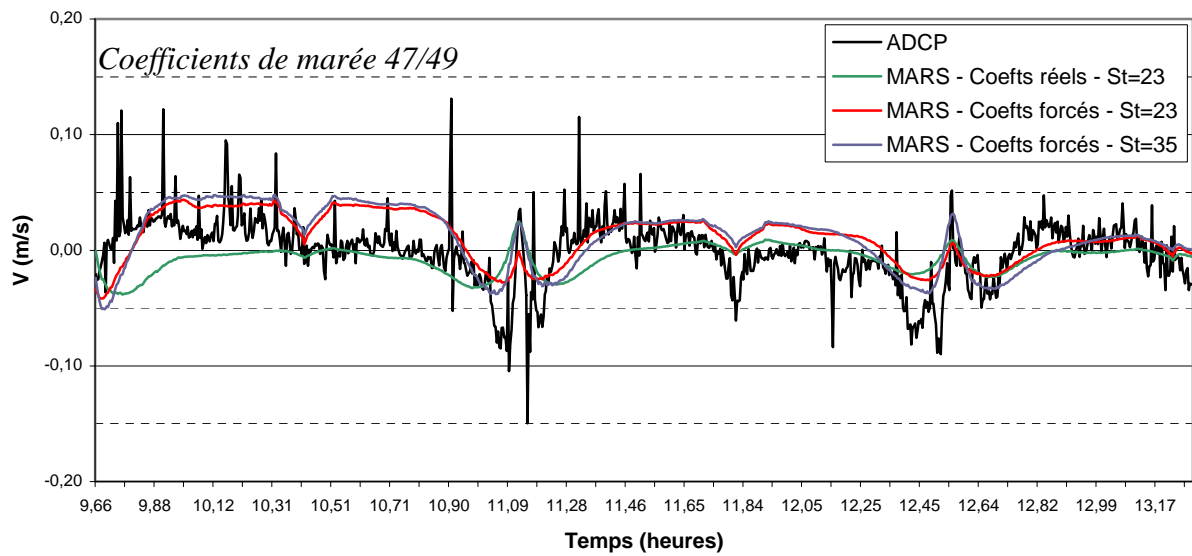


Fig.9 - Comparaison de la composante NORD-SUD des vitesses
Mesures ADCP

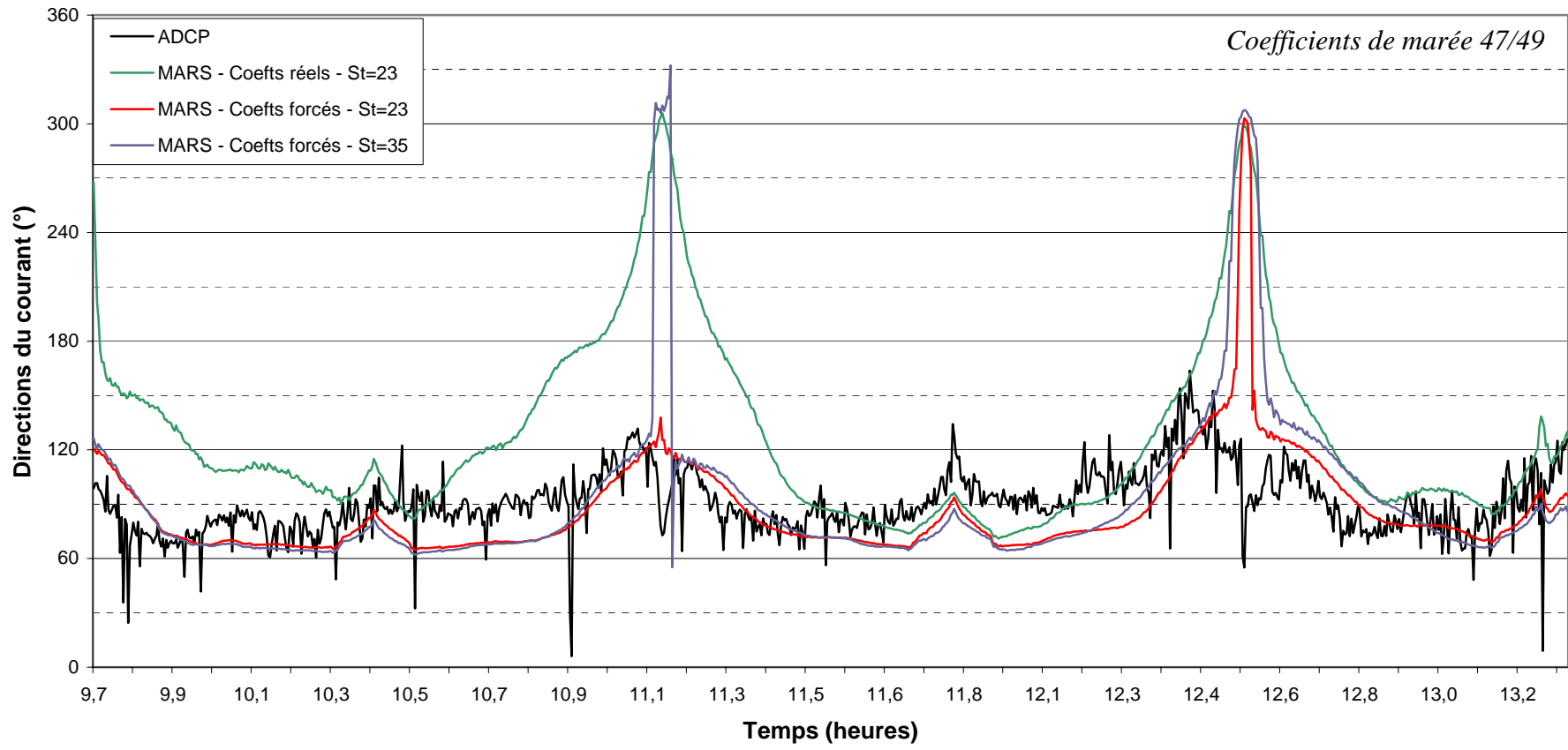
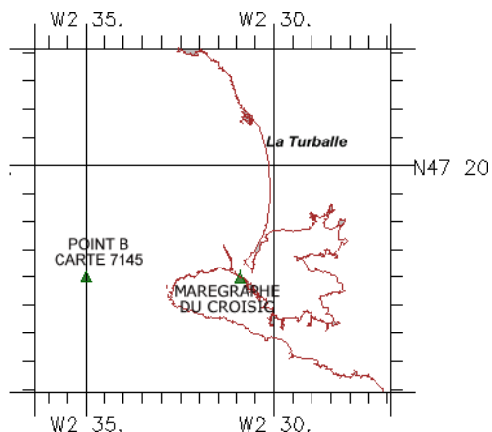


Fig.10 - Comparaison des directions des vitesses – Mesures Ifremer ADCP

Annexe 14

**Validation des modèles courantologiques
secteur du Croisic**



Carte SHOM 6826 – Marégraphe du Croisic
 Mesures Sogreah in situ – 13 Septembre 1996
 Coordonnées : N 47°17'59" W 2°30'54"
 Modèle MARS-2D correspondant : Croisic

Carte SHOM 7145 – POINT B
 Coordonnées : N 47°18'00" W 2°35'00"
 Modèle MARS-2D correspondant : Croisic

Prédictions de marées du SHOM [I7] – Port du Croisic
 Modèle MARS-2D correspondant : Croisic

Courantomètre ADCP – Entrée des traicts
 Campagne en mer Ifremer – 16 Septembre 2004

Modèle MARS-2D correspondant : Croisic

Liste des Figures :

Figure 1 – Comparaison des niveaux d'eau observés sur deux marées au port du Croisic

Figure 2 – Comparaison des modules de vitesses – Mesures Sogreah

Figure 3 – Comparaison des directions des vitesses – Mesures Sogreah

Figure 4 – Comparaison des modules de vitesses en marée de morte-eau – Carte 7145

Figure 5 – Comparaison des modules de vitesses en marée de vive-eau – Carte 7145

Figure 6 – Comparaison des directions des vitesses en marée de morte-eau – Carte 7145

Figure 7 – Comparaison des directions des vitesses en marée de vive-eau – Carte 7145

Figure 8 – Comparaison des modules de vitesses – Mesures Ifremer ADCP

Figure 9 – Comparaison des directions des vitesses – Mesures Ifremer ADCP

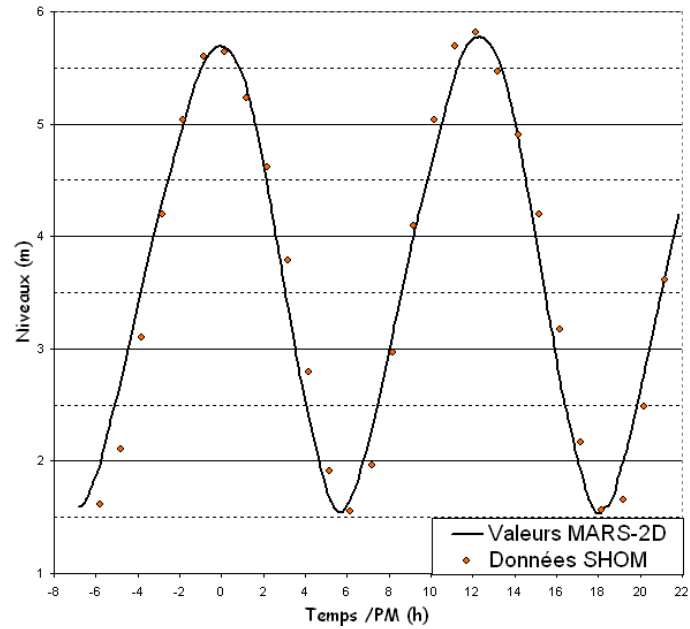


Fig.1 - Comparaison des niveaux d'eau observés au port du Croisic

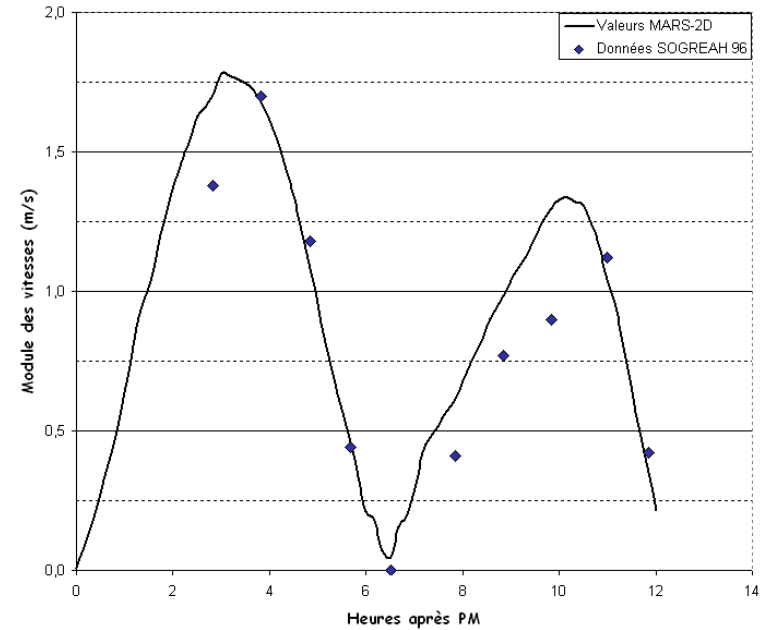


Fig.2 - Comparaison des modules de vitesses

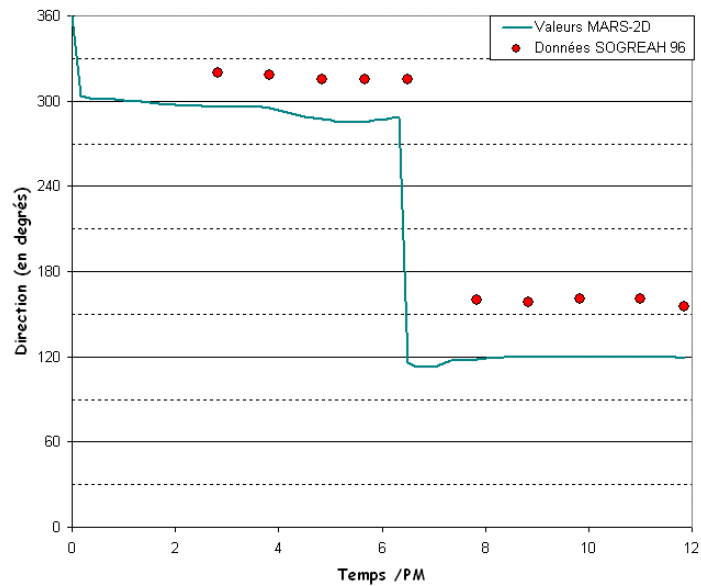


Fig.3 - Comparaison des directions des vitesses

Carte SHOM 6826 et Mesures Sogreah 1996

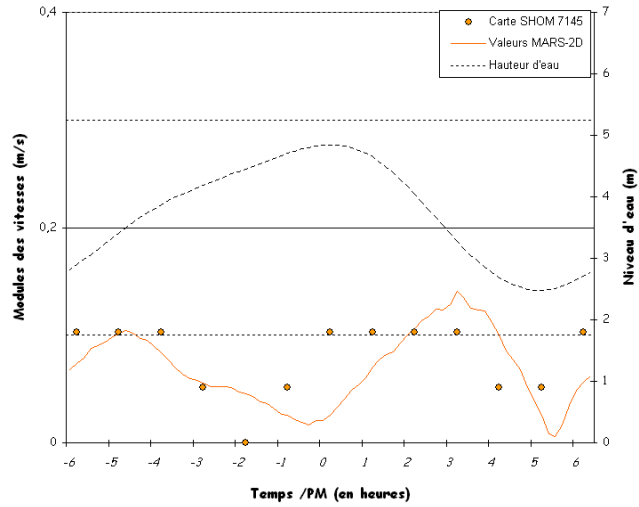


Fig.4 - Comparaison des modules de vitesses en marée de morte-eau – Carte 7145

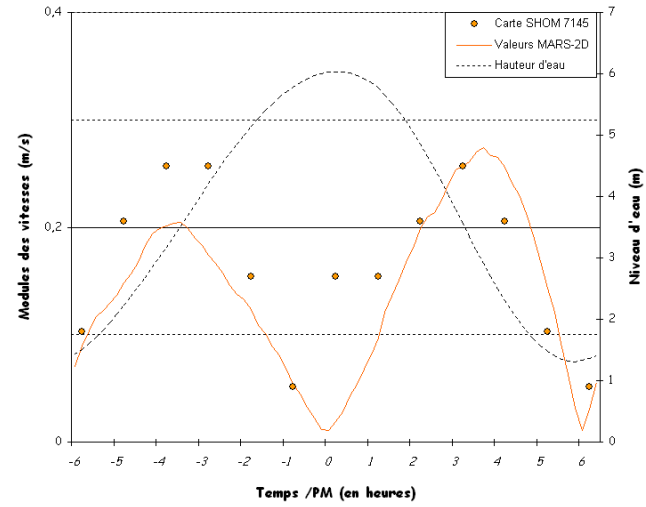


Fig.5 - Comparaison des modules de vitesses en marée de vive-eau – Carte 7145

Carte SHOM 7145

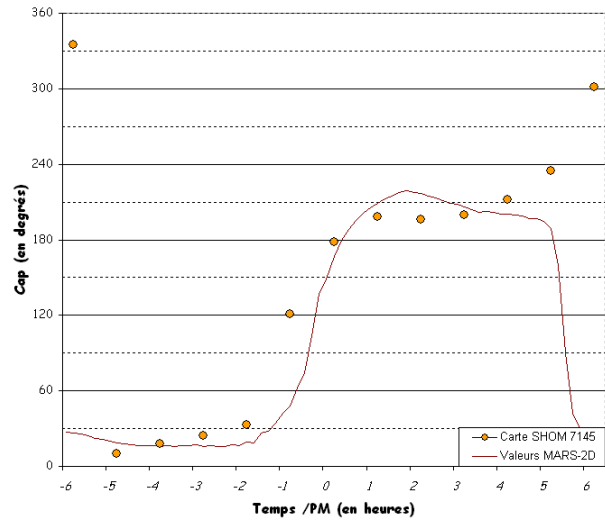


Fig.6 - Comparaison des directions des vitesses en marée de morte-eau – Carte 7145

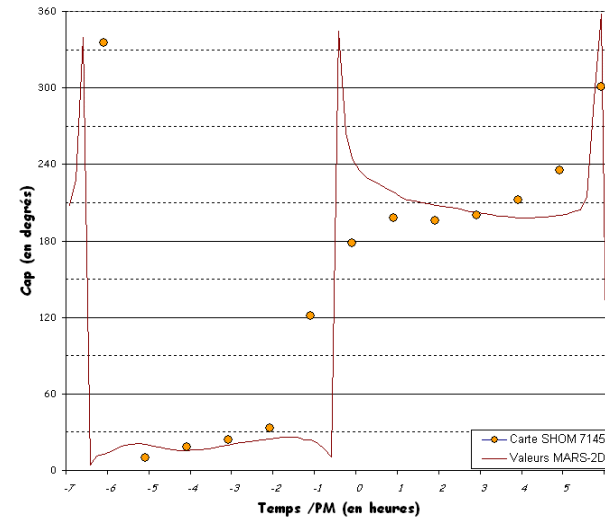


Fig.7 - Comparaison des directions des vitesses en marée de vive-eau – Carte 7145

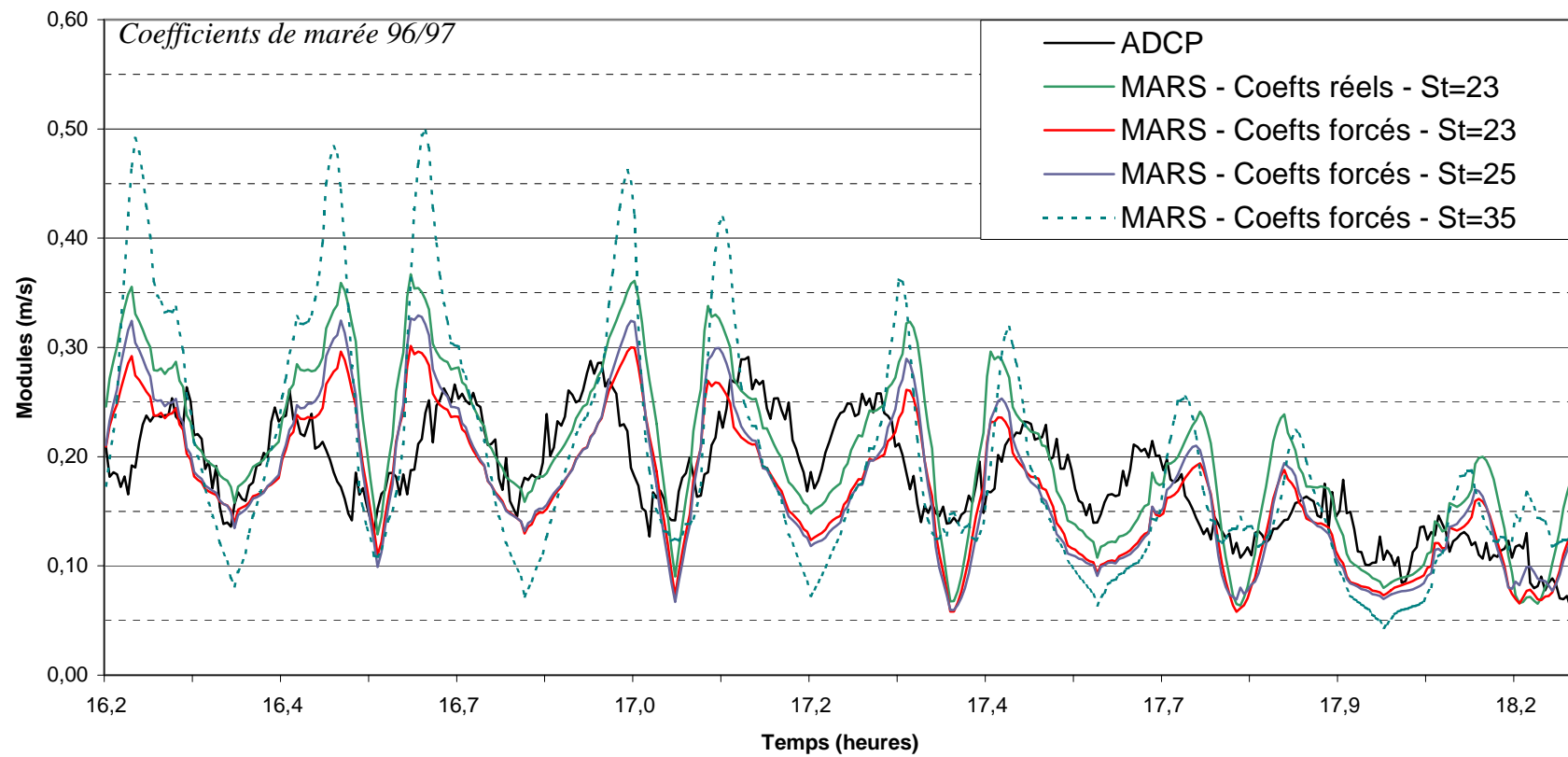


Fig.8 - Comparaison des modules de vitesses pour une partie du flot le 16 Sept. 2004 – Mesures Ifremer ADCP

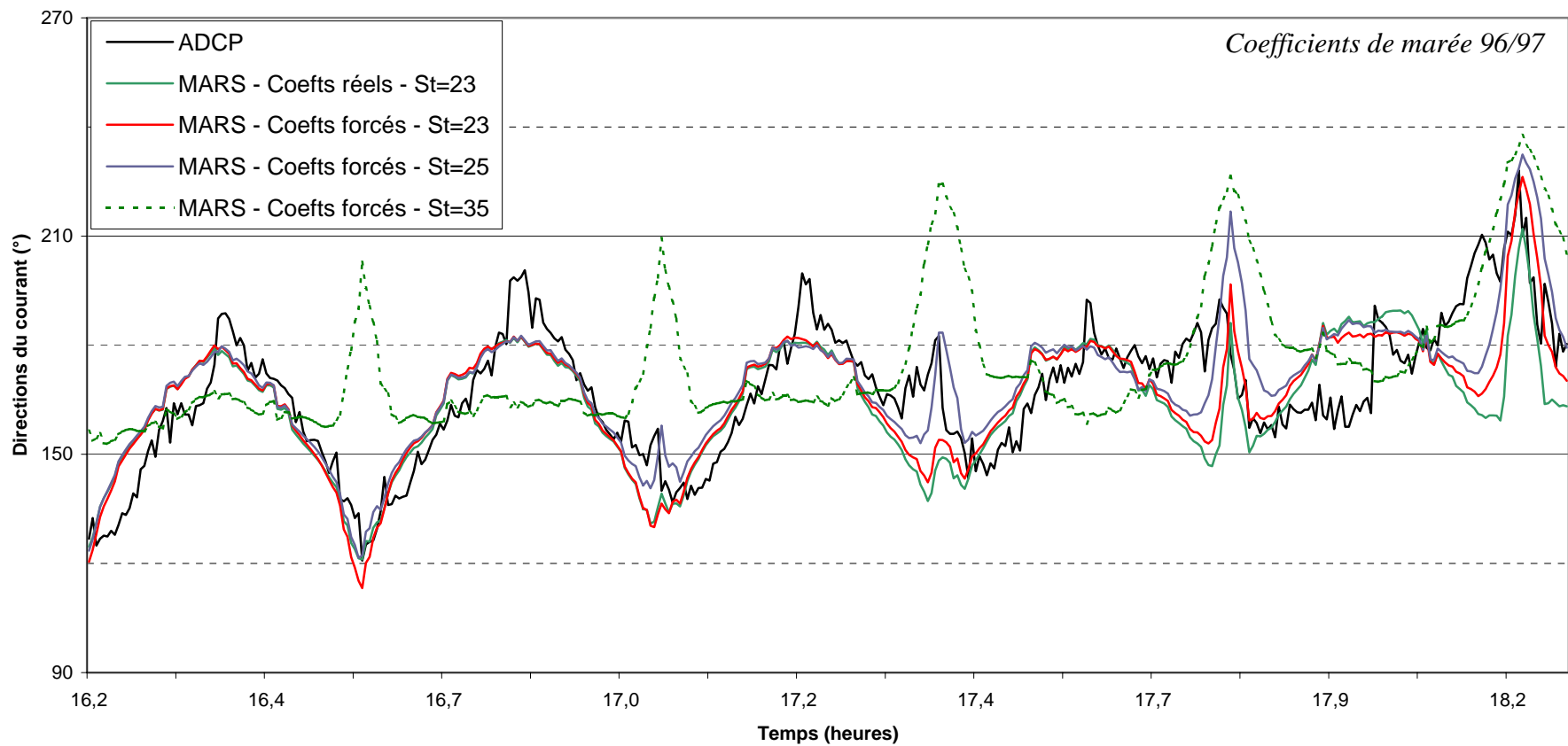
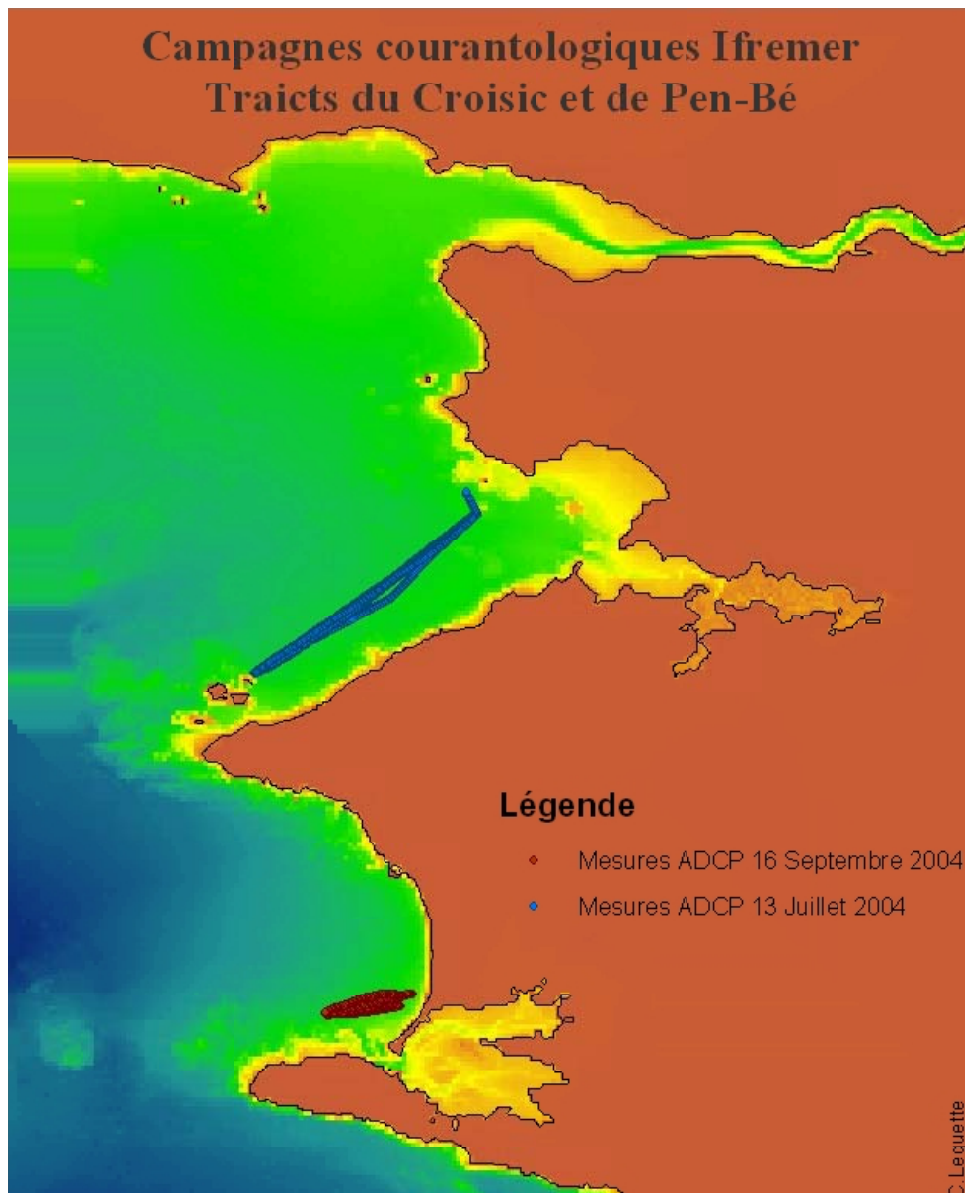


Fig.9 - Comparaison des directions des vitesses pour une partie du flot le 16 Sept. 2004 – Mesures Ifremer ADCP

Annexe 15

Validation des modèles ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)



Le courantomètre à effet Doppler

L'ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) permet d'obtenir des profils de vitesses complets sur la verticale (ou sur l'horizontale pour mesurer le débit d'un fleuve, par exemple). Les résultats sont donc très riches, et peuvent aussi bien être exploités pour la validation d'un modèle tridimensionnel que bidimensionnel.

Ce système envoie une bouffée de pulsations sonores vers le fond. Ces ondes, avant d'être recueillies et analysées par l'appareil, sont modifiées par le courant lors de leur réflexion sur les particules en suspension.

Cet effet connu sous le nom d'effet **Doppler**, consiste en une modification de la fréquence réfléchiée par un objet en mouvement. L'ADCP mesure des profils verticaux de la vitesse de l'eau, en utilisant l'énergie acoustique. Une impulsion d'énergie acoustique est transmise dans l'eau, comme le ferait un sonar de sous-marin, mais à une fréquence plus élevée. L'énergie de cette impulsion est réfléchiée sur des particules en suspension et en

déplacement dans l'eau et une partie de cette énergie est retournée à l'ADCP, qui la traduit en vitesse de courant.

Annexe 16

Évaluation des modèles courantologiques

L'opération consiste à évaluer et optimiser la capacité du modèle à reproduire et prédire les phénomènes de transport en zone littorale.

Elle s'applique aux niveaux d'eau, aux courants et à la salinité, et consiste à s'assurer d'un écart minimal entre la réalité et les résultats numériques en ajustant un certain nombre de paramètres qui varient d'un site à l'autre. On jouera exclusivement sur le coefficient de frottement sur le fond. Ce dernier dépend de la nature du fond et varie donc grandement d'une zone à l'autre. Il est toutefois considéré comme constant par le modèle. On cherchera donc une valeur moyenne qui nous approche au mieux des résultats réels.

Pour ce faire nous nous sommes appuyés, entre autres, sur des données existantes issues d'une campagne de mesures réalisée au Croisic par la Sogreah pour le Conseil Général (hauteur d'eau, courantologie) (Sogreah, 1997 et 2002). Le suivi de la salinité dans les traicts par le laboratoire de Pen-Avel nous donne également des indications, de même que les résultats REMI de l'Ifremer nous donnent la répartition globale des contaminations microbiologiques dans les sites étudiés.

Enfin, deux campagnes de mesures en mer ont été effectuées au large de Pen-Bé et du Croisic (Annexe 15), respectivement en juillet et septembre 2004 (mesures courantologiques au moyen d'un ADCP – Acoustic Doppler Current Profiler – et de salinité), permettant de compléter le jeu de données disponibles.

En revanche, les paramètres numériques du modèle tels que le pas de temps ou le schéma de résolution ne sont pas modifiables. Le pas de temps est recalculé en continu de manière à optimiser le temps de calcul global.

1. Niveaux

1.1. Le Croisic

Une première estimation de la qualité des résultats numériques peut être réalisée grâce aux données consignées sur la carte marine 7033 du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM). Il s'agit du marnage au Croisic donné en marées de vive et morte-eau. Ces données sont comparées aux résultats du modèle :

Les résultats du modèle et les mesures du SHOM concordent, ce qui est très encourageant (Tableau 1). On ne peut cependant valider un modèle sur la seule comparaison du marnage, en un seul point qui plus est. Il faut considérer les résultats de l'analyse de l'ensemble des données avant de se fixer sur la pertinence d'un calage.

Des données complémentaires sont disponibles dans le rapport Sogreah (2002), issues de la carte SHOM 6826 et que l'on peut retrouver sur Internet grâce aux prédictions de marées du SHOM. Il s'agit des hauteurs d'eau, heure par heure, calculées pour le port du Croisic.

Tableau 1 – Comparaison des marnages mesurés et calculés à l'entrée du Croisic

LE CROISIC		
Coordonnées: 47°18' N 2°31' W		
Correspondance: Modèle Croisic		
	Marnage (m)	
	<i>VE</i>	<i>ME</i>
SHOM	4,7	2,3
MARS 2D	4,70	2,33

Les coordonnées exactes, de même que les conditions de marées ne sont pas précisées par la Sogreah. Nous avons choisi d'utiliser des conditions similaires à celles observées le 13 septembre 1996, date des mesures in situ de la Sogreah :

- Coefficients de marée : 86/88.
- Vent : intensité 5m/s ; direction 20°.
- Coordonnées du point de calcul : N 47°17'59" W 2°30'54"

Les résultats (Annexe 14 – Fig.1) sont très satisfaisants avec des écarts inférieurs à 5cm à pleines et basses mer.

1.2. Pen-Bé

Des données similaires sont accessibles, via Internet <http://www.shom.fr/> pour le port de Tréguier, situé dans l'estuaire de la Vilaine. Les comparaisons (Annexe 13 – Fig.5 & 6) sont effectuées pour des conditions de marée de vive-eau, avec des coefficients variant entre 103 et 91.

Des écarts importants, atteignant 45cm à pleine mer, sont observés (Annexe 13 – Fig.5) pour une simulation à coefficients réels (les coefficients sont calculés par MARS-2D).

Cependant, à coefficient constant égal à 95, les résultats sont comparables à ceux obtenus au Croisic, avec des écarts inférieurs à 10cm (Annexe 13 – Fig.6).

MARS-2D ne semble donc pas reproduire certaines variations semi-diurnes de la marée, observées au réel. Et, en effet, il s'avère (conversation F. Dumas) que le calcul des coefficients de marée par le modèle ne se fait qu'à partir d'un seul harmonique, modulé par les coefficients de marée. La plupart des variations semi-diurnes ne peuvent, pour cette raison, être correctement reproduites.

Il est alors préférable, pour des temps de simulation courts (de l'ordre de la semaine) de forcer le modèle avec des coefficients de marée connus.

Cette simplification de la marée réelle reste toutefois tolérable pour des simulations à l'échelle du mois.

2. Courants

Les critères de comparaison simulation/mesures suivants, autres que visuels, ont été utilisés (Plus, Durand, 2003):

L'erreur moyenne absolue (Mean Absolute Error, MAE) :

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_{i\text{mod}} - Y_{i\text{obs}}|$$

Le coefficient d'efficacité :

$$Eff = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{i\text{mod}} - Y_{i\text{obs}})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_{i\text{obs}} - \bar{Y}_{i\text{obs}})^2}$$

Le coefficient de corrélation r^2 de la droite de régression linéaire simulation/mesures (pente de la droite $>1 \Leftrightarrow$ valeurs sous-estimées par MARS-2D).

2.1. Le Croisic

2.1.1. Exploitation des données disponibles

Les données de la Sogreah (2002) concernent ce secteur. Les mesures ont été faites le 13 septembre 1996 à l'entrée des traicts. Les résultats de la comparaison avec les valeurs calculées par MARS-2D sont présentés en Annexe 14 – Fig.2 & 3.

On constate un bon accord entre les données in situ et les résultats du modèle avec un coefficient d'efficacité supérieur à 0,82 sur les caps et les modules (Tableau 2 & 3). Les écarts proviennent probablement, outre les approximations du modèle, du manque de précision sur la position du point de mesure dans une zone qui présente de fortes variations horizontales des vitesses.

Tableau 2 – Evaluation de la qualité des résultats du modèle Croisic sur les modules

Modules	Coefficients de marée		
	86/88	45	90
Source	Sogreah	SHOM - 7145	
Erreur Moyenne Absolue (cm/s)	14,6	3,1	4,2
Coefficient d'efficacité	0,85	-0,33	0,34
Coefficient de corrélation (r^2)	0,90	-0,33	0,48
Pente de la droite de régression	0,90	1,01	1,18

La comparaison des résultats du modèle avec les données présentes sur la carte 7145 (Annexe 14 – Fig.4 à 7) est moins probante, malgré des écarts moyens sur les modules de vitesses inférieurs à 5cm/s (Tableau 2). Les erreurs proviennent essentiellement d'une dissymétrie (courant plus fort au jusant) présente dans les résultats du calcul (ainsi que dans les mesures Sogreah), et absente des données du SHOM. Les résultats restent cependant satisfaisant, spécialement sur les amplitudes des modules.

Tableau 3 – Evaluation de la qualité des résultats du modèle Croisic sur les directions

Caps	Coefficients de marée		
	86/88	45	90
Source	Sogreah	SHOM - 7145	
Erreur Moyenne Absolue (°)	33,0	61,6	67,7
Coefficient d'efficacité	0,82	-0,26	-0,40
Coefficient de corrélation (r ²)	0,94	-0,24	-0,40
Pente de la droite de régression	1,13	1,11	0,99

Les médiocres coefficients statistiques obtenus sur les directions des courants sont essentiellement dus à une mauvaise estimation des durées de flot et de jusant par le logiciel (Tableau 3). Il faut ajouter à cela le fait que les données du SHOM sont référencées par rapport à la pleine mer à Port-Navalo (Morbihan) qui apparaît couramment 10 à 30 minutes après la pleine mer au Croisic. Ce léger déphasage dans les changements de caps entraîne alors de forts écarts statistiques qui, visuellement paraissent minimales (cf. Annexe 14 – Fig.6 & 7).

Il est important, toutefois, de noter que les valeurs mentionnées pour ce point B de la carte 7145 proviennent des résultats d'un autre modèle courantologique – TELEMAC – utilisés pour la réalisation de l'atlas des courants de marée n° 558-UJA (Correspondance SHOM : R. Jehan).

Enfin, les résultats du modèle reflètent une moyenne sur une surface maille. Leur comparaison avec des résultats ponctuels s'avère être donc délicate et limitée. Les données ADCP – moyennées sur la hauteur d'eau et sur une surface équivalente à celle des mailles du modèle – présentent cet avantage, et sont donc plus pertinentes en termes de calage du modèle.

2.1.2. Exploitation des données acquises

L'exploitation des données courantologiques ADCP acquises lors de la campagne du 16 septembre 2004, fournit des résultats encourageants, qui seront à confirmer grâce à une sortie supplémentaire par coefficient de morte-eau.

Du fait d'une mauvaise paramétrisation du courantomètre, seules 6 heures de données sur 12 sont exploitables. Seule cette partie, qui correspond à une phase de flot, est commentée ici.

Les résultats de la campagne ont été comparés dans un premier temps à ceux du modèle en condition de marée réelle (coefficients calculés par le logiciel). Le coefficient d'efficacité ne dépasse pas alors 0,11 pour les modules et 0,02 pour les directions du courant (Tableaux 4 & 5). Une seconde comparaison à coefficients forcés aboutit à de bien meilleurs résultats (coefficient d'efficacité supérieur à 0,35 pour chacune des variables et erreur moyenne inférieure au cas "marée réelle", Tableaux 4 & 5).

Il a été choisi d'effectuer les simulations à coefficients forcés et de faire varier le coefficient de frottement (Strikler) sur les trois derniers rangs,.

Le coefficient de frottement (Strikler) utilisé initialement est égal à 23. On trouve pour cette simulation un coefficient de pente égal à 0,88. La pente de la droite de régression se comprend ici de sorte qu'un coefficient inférieur à l'unité témoigne d'une sous-estimation globale des variables par le modèle.

Nous avons donc effectué les comparaisons suivantes pour des frottements plus faibles, et donc des coefficients de Strikler plus importants (le frottement calculé par le modèle varie de façon inversement proportionnelle à la valeur de ce coefficient).

Les meilleurs résultats sont obtenus pour un coefficient compris entre 23 et 25.

L'erreur moyenne observée sur les courants est alors de l'ordre de 4,2cm/s sur les modules, et inférieure à 30° sur les directions des courants. Des courbes sont présentées en Annexe 14 – Fig.8 & 9.

Ces bons résultats seront à confirmer avec une campagne supplémentaire par coefficients de morte-eau, et sur un cycle complet.

Tableau 4 – Evaluation de la qualité des résultats du modèle Croisic sur les modules de courant mesurés au moyen d'un ADCP

Modules	Coefficients de marée (96/97)			
	Réels	Forcés		
Strikler	23	23	25	35
Erreur Moyenne Absolue (cm/s)	4,55	4,12	4,35	5,80
Coefficient d'efficacité	0,11	0,35	0,25	-0,58
Coefficient de corrélation (r ²)	0,53	0,55	0,51	0,42
Pente de la droite de régression	1,05	0,88	0,91	1,05

Tableau 5 – Evaluation de la qualité des résultats du modèle Croisic sur les directions de courant mesurées au moyen d'un ADCP

Caps	Coefficients de marée (96/97)			
	Réels	Forcés		
Strikler	23	23	25	35
Erreur Moyenne Absolue (°)	34,07	29,15	29,13	39,75
Coefficient d'efficacité	0,018	0,376	0,381	-0,208
Coefficient de corrélation (r ²)	-0,01	0,31	0,32	-0,27
Pente de la droite de régression	0,93	0,92	0,93	0,99

2.2. Pen-Bé

2.2.1. Exploitation de données disponibles

Des **données** sont disponibles pour un point des **cartes SHOM 7033 et 7136** (coordonnées identiques). Les données de la carte marine 7033 sont comparées dans le tableau 6 et peuvent être visualisés sur les figures 1 à 4, Annexe 13. Les courbes présentes en annexe tiennent compte des données, actualisées, de la carte 7136.

Les **modules de vitesses** sont globalement **correctement reproduits** par le modèle, avec une erreur moyenne inférieure à 8cm/s. Les résultats sont, cette fois encore, **meilleurs** en coefficient de **vive-eau**, pour lesquels on trouve un coefficient d'efficacité égal à 0,61 (Tableau 6).

Tableau 6 – Evaluation de la qualité des résultats du modèle Pen-Bé sur les modules

Modules	Coefficients de marée	
	45	90
Source	SHOM - 7136	
Erreur Moyenne Absolue (cm/s)	4,7	8,0
<i>Coefficient d'efficacité</i>	-0,10	0,61
Coefficient de corrélation (r^2)	-0,07	0,84
<i>Pente de la droite de régression</i>	0,94	1,26

Tableau 7 – Evaluation de la qualité des résultats du modèle Pen-Bé sur les directions

Caps	Coefficients de marée	
	45	90
Source	SHOM - 7136	
Erreur Moyenne Absolue (°)	39,2	42,4
<i>Coefficient d'efficacité</i>	0,27	0,18
Coefficient de corrélation (r^2)	0,27	0,19
<i>Pente de la droite de régression</i>	1,05	1,04

Cependant, on observe les erreurs les plus importantes à fort coefficient de marée, au plus fort du jusant et du flot. Il apparaît alors un écart considérable – atteignant jusqu'à 50% – entre les modules de vitesses mesurés et calculés (Tableau 8).

Une modification de la bathymétrie a été effectuée dans cette zone par les concepteurs du logiciel. Le code divergeait en effet régulièrement pour des forts coefficients, avec des vitesses très importantes. Cependant, cette rectification n'a sans doute que peu d'impact sur la courantologie générale, et ne peut donc être réellement incriminée.

Les directions du courant calculé montrent également un bon accord avec les mesures du SHOM (Tableau 7). Les écarts, compris entre 0 et 151° en marée de vive-eau, et entre 0 et 132° en marée de morte-eau (Tableau 8), peuvent paraître importants, mais ces valeurs extrêmes peuvent être dues, encore une fois, à un problème de synchronisation (cf. §2.1.1 & Annexe 13 ; Fig.3 & 4).

De plus, les résultats du modèle présentent une dissymétrie entre le flot et le jusant (courant plus fort au jusant), encore absente des données du SHOM. On peut s'étonner d'observer cette dissymétrie sur les intensités de flot et de jusant dans les résultats de MARS-2D, non présente dans les données du SHOM. L'observation inverse est plus souvent rencontrée.

Une autre source d'écart entre les résultats du modèle et les mesures SHOM peut provenir du fait que les courants calculés correspondent à des courants moyennés sur la colonne d'eau ; les courants mesurés par le SHOM sont quant à eux, des courants mesurés pour une profondeur donnée (2m sous la surface pour le point étudié ici).

Tableau 8 – Comparaison des courants mesurés par le SHOM et calculés par MARS-2D

POINT H - Carte 7033				POINT B - Carte 7136			
Coordonnées: 47°24.3' N 2°34.7' W							
Correspondance: Modèle Pen-Bé							
Heures (PM)	Direction du courant (°)			Vitesse (m/s)			
	SHOM	MARS 2D		MVE		MME	
		MVE ¹	MME	SHOM	MARS 2D	SHOM	MARS 2D
-6	3	44	47	0,21	0,22	0,05	0,16
-5	39	53	50	0,51	0,32	0,15	0,20
-4	43	51	51	0,57	0,38	0,21	0,18
-3	47	51	51	0,46	0,35	0,21	0,12
-2	55	49	50	0,31	0,28	0,15	0,09
-1	68	47	52	0,15	0,17	0,10	0,07
0	156	46	65	0,05	0,05	0,05	0,02
1	212	226	226	0,26	0,12	0,10	0,10
2	218	228	228	0,46	0,34	0,15	0,21
3	224	230	229	0,57	0,46	0,21	0,27
4	231	231	231	0,51	0,46	0,21	0,19
5	243	233	241	0,31	0,28	0,15	0,05
6	293	40	45	0,10	0,12	0,10	0,13

2.2.2. Exploitation des données acquises

L'exploitation des données courantologiques ADCP acquises lors de la campagne du 13 juillet 2004, fournit des résultats mitigés. Cependant, ces résultats peuvent provenir d'une paramétrisation inadaptée du courantomètre. De plus, seulement 4 heures de données ont été acquises lors de cette sortie. Une campagne supplémentaire est donc indispensable pour disposer d'un jeu de données suffisant et de qualité, qui nous permettra d'évaluer correctement la validité des résultats du modèle.

Des comparaisons ont cependant été réalisées du fait du bon accord relevé pour les caps (Tableau 10). La simulation réalisée à coefficients forcés, et pour un Strikler égal à 23 (valeur initialement proposée par Salomon et Breton) aboutit, une fois encore, aux meilleurs résultats (Tableaux 9 et 10). Des courbes comparatives sont présentées en Annexe 13, Fig.7 à 10.

L'erreur la plus importante est observée sur les modules, malgré une erreur moyenne absolue relativement faible (3,1cm/s) et un coefficient d'efficacité élevé (cf. Tableau 9). On relève en effet un coefficient de régression linéaire négatif, témoin d'une relation inverse entre les variables calculées et mesurées. L'erreur semble essentiellement provenir de la composante EST-OUEST du courant (Annexe 13 – Fig.8).

¹ MVE = Marée de Vive-Eau – MME = Marée de Morte-Eau

Tableau 9 – Evaluation de la qualité des résultats du modèle Pen-Bé sur les modules de courant mesurés au moyen d'un ADCP

Modules	Coefficients de marée (47/49)		
	Réels	Forcés	
Strikler	23	23	35
Erreur Moyenne Absolue (cm/s)	6,4	3,1	3,2
<i>Coefficient d'efficacité</i>	0,42	0,69	0,70
Coefficient de corrélation (r^2)	-0,37	-0,52	-0,51
<i>Pente de la droite de régression</i>	0,22	0,72	0,76

Tableau 10 – Evaluation de la qualité des résultats du modèle Croisic sur les directions de courant mesurées au moyen d'un ADCP

Caps	Coefficients de marée (47/49)		
	Réels	Forcés	
Strikler	23	23	35
Erreur Moyenne Absolue (°)	41,4	17,7	23,9
<i>Coefficient d'efficacité</i>	-10,24	-1,27	-4,63
Coefficient de corrélation (r^2)	0,10	0,10	0,08
<i>Pente de la droite de régression</i>	1,39	0,94	1,00

L'exploitation de jeux de données plus importants permettra de se fixer sur la pertinence ou non de modifications à apporter au modèle.

On peut donc **pour l'instant**, et dans l'**attente de jeux de données plus complets**, accorder un **crédit suffisant aux champs de courants** calculés par MARS-2D.

3. Salinité

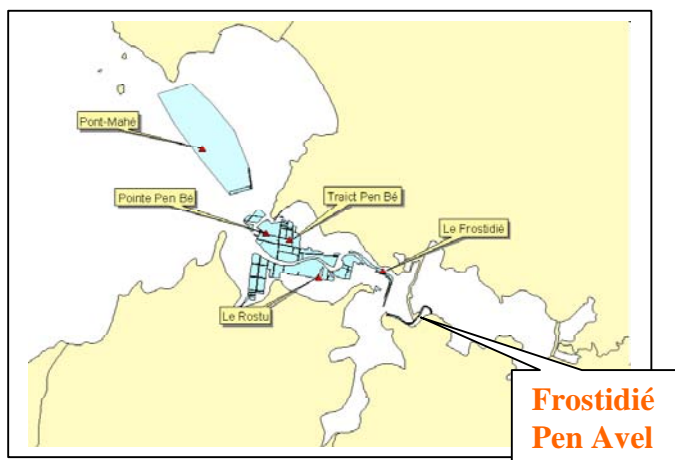


Fig. 1 – Points de contrôle du réseau de surveillance REMI de l’Ifremer sur le secteur de Pen-Bé

(<http://hydro.rnde.tm.fr>).

Les données utilisées correspondent à des mesures en continu réalisées à la station du Frostidié (Fig.1), par le laboratoire Pen Avel de CAP Atlantique.

La journée prise pour référence est celle du 27 janvier 1990. Les coefficients de marée étaient de 83 le matin, et 87 l’après-midi.

La composante moyenne du vent pour cette journée est de secteur Sud-Sud-Ouest (198°) pour une vitesse de 11,6m/s (Données du sémaphore Le Talut)

Enfin, à cette date, la Vilaine présentait un débit égal à 177m³/s, contre 200 à 220m³/s les jours précédents

Le temps de réponse du système côtier aux fluctuations du débit de la Vilaine étant nécessairement de l’ordre de quelques jours, il a été choisi un débit égal à 200m³/s pour la simulation correspondante.

La condition de vent imposée dans MARS-2D a été donnée constante, de même direction que celle donnée par le sémaphore du Talut, mais pour une vitesse égale à 10m/s. Son action est en effet surestimée si elle est imposée sur une longue durée.

La durée de la simulation est de 500 heures (au réel), soit environ 21 jours. Cette durée peut paraître excessive mais est rendue indispensable par l’initialisation de la salinité – dans le modèle – à 35g/L. Les apports d’eau douce vont petit à petit imposer un équilibre différent. Le temps nécessaire à son établissement dépend des débits et de la complexité hydrodynamique du site. Dans notre cas, deux apports d’eau douce (Pont d’Arm et la Vilaine) vont interagir entre eux pour créer une distribution particulière de la salinité. Les distances et les vitesses en jeu font que cet état va mettre un certain temps à s’établir.

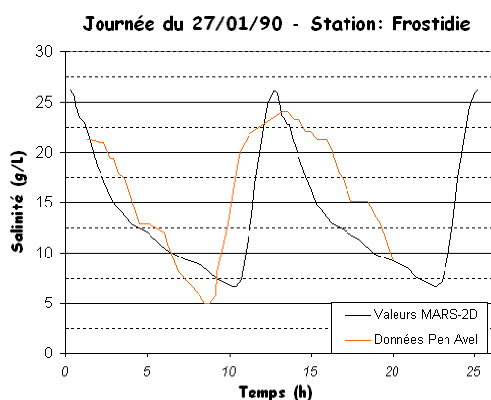


Fig. 2 - Comparaison des valeurs de salinité calculées et mesurées au Frostidié

même amplitude de 19g/L entre pleine mer et basse mer pour les valeurs MARS-2D (19.6g/L) et les mesures terrain (19.1g/L).

La comparaison des résultats avec les données in situ (Fig.2) est tout à fait satisfaisante malgré des variations plus rapides de la salinité calculée par le logiciel.

D’un point de vue quantitatif, la différence observée sur les valeurs extrêmes se justifie, pour un point aussi amont que le Frostidié, par une forte dépendance de la salinité aux conditions pluviométriques des jours précédents. Le résultat est d’autant plus satisfaisant.

L’amplitude de la salinité est correctement reproduite par le modèle. On trouve à peu de choses près la

4. Remarques et réserves

L'étude du déphasage de l'onde de marée (l'heure de pleine mer dépend de l'endroit où l'on se trouve) n'a pu être étudié par manque d'information.

La digue du port de Mesquer n'était pas, initialement, reproduite dans le modèle Pen-Bé. De faible dimension longitudinale, son influence reste certainement négligeable sur la répartition des courants et, par suite, des polluants.

Afin d'éviter toute incertitude ultérieure à ce sujet, la bathymétrie a finalement été modifiée à cet effet.

5. Conclusion

Dans l'attente de jeux de données plus riches (marée de vive-eau pour le modèle de Pen-Bé et morte-eau pour le modèle du Croisic), et compte tenu des résultats obtenus pour les données expérimentales disponibles, on admettra que l'on peut accorder un crédit suffisant aux résultats des modèles utilisés pour cette étude.

Annexe 17

Résultats du suivi des étiers

19/05/2003

Station	Heure Prélèvement	Température	O2 dissous	%O2 dissous	Salinité	pH	Débit	MES	NH4	PO4	NO3	E. Coli
<i>R2000</i>							10	138	1,9	1,71	0,2	10860
<i>Torgouët</i>	12h55	19,8	8,8		20		7	41	1,6	1,15	0,1	403
<i>Plinet</i>	14h30	20,2	8,6		29,6		121	64	2	1,87	0,1	38
<i>Lanclly-Pont</i>	15h45	19,6	8,1		29,8		115	26	0,7	1,01	0,1	652
<i>Briolet</i>	16h30	19,1	8,1		16		25	140	0,7	1,93	0,3	923
<i>Croix de l'Anse</i>	17h10	16,8	3,2		0			11	0,6	0,63	0,3	2312

01/07/2003

Station	Heure Prélèvement	Température	O2 dissous	%O2 dissous	Salinité	pH	Débit	MES	NH4	PO4	NO3	E. Coli
<i>R2000</i>	12h00	19,4			25,5		3,6		0,6	0,84	4,5	23671
<i>Torgouët</i>	11h30	21,3			9,4		0,5		0,25	0,6	3,2	6119
<i>Plinet</i>	12h45	21,9			33,6		146,1		0,13	0,54	1,6	61
<i>Lanclly-Pont</i>	14h15	21,9			29,9				0,16	0,6	1,6	15
<i>Briolet</i>	14h30	23,2			3,8				0,42	1,24	2,7	20795
<i>Croix de l'Anse</i>	14h50	19,6			0,2				0,13	0,64	8,2	27726

27/10/2003

Station	Heure Prélèvement	Température	O2 dissous	%O2 dissous	Salinité	pH	Débit	MES	NH4	PO4	NO3	E. Coli
<i>Lanclly-Pont</i>	10h	8	8,95	90%	25,8	6,9	82	248	0	0,18	0,1	15
<i>Lanclly-Pont</i>	10h30	9	8,79	92%	25,8	6,8	68	238	0	0,19	0,3	15
<i>Lanclly-Pont</i>	11h00	9,4	9,12	96%	25,7	6,9	53	254	0	1	0,2	30
<i>Lanclly-Pont</i>	11h30	9,4	9,67	102%	10,8	6,5	31	240	0	0,5	0,4	15
<i>Lanclly-Pont</i>	12h00	9,3	10,2	102%	15,1	7,2	33	281	0	0,55	0,2	15
<i>Lanclly-Pont</i>	12h30	11,6	10,01	111%	12,1	7,4	25	261	0	0,6	0,3	30
<i>Lanclly-Pont</i>	13h00	10,2	11,38	122%	10,2	7,1	27	237	0,3	0,23	0,3	15
<i>Lanclly-Pont</i>	13h30	11,4	12,99	125%	8,1	6,7	19	218	0,4	0,57	0,4	15
<i>Lanclly-Pont</i>	14h00	10,7	11,98	130%	8,3	7,1	14	256	0,1	0,6	0,1	30

24/11/2003

Station	Heure Prélèvement	Température	O2 dissous	%O2 dissous	Salinité	pH	Débit	MES	NH4	PO4	NO3	E. Coli
<i>R2000</i>	9h45	12,97	6,5	70,6%	22,37	7,67	2,3	10	0,6	0,97	0,5	1327
<i>Torgouët</i>	9h00	11,28	4,9	52,5%	25,6	7,78	0,3	231	0,2	0,41	0,5	144
<i>Plinet</i>	10h35	11,31	5,9	64,4%	29,4	7,9	195,9	267	0,01	0,35	1,2	234
<i>Lanclly-Pont</i>	11h30	11,6	5,3	56,2%	22,8	7,8	254,7	184	0,02	1,14	0,4	457
<i>Briolet</i>	12h20	11,5	6,1	63,4%	20,45	7,85	34,2	187	0,05	1,39	2,6	943
<i>Croix de l'Anse</i>	13h00		6,5	62,4%			3,4	201	0,05	0,82	1,1	2929

11/12/2003

Station	Heure Prélèvement	Température	O2 dissous	%O2 dissous	Salinité	pH	Débit	MES	NH4	PO4	NO3	E. Coli
LANCLY	10h00	7,47	8,08	78%	22,02	7,83	88	11	0,12	0,18	2,9	110
LANCLY	10h30	7,41	8,17	78%	20,84	7,85	79					
LANCLY	11h00	7,36	8,29	78%	19,35	7,86	70	11	0,16	0,3	3,6	161
LANCLY	11h30	7,37	8,49	79%	17,88	7,89	68					
LANCLY	12h00	7,44	8,56	80%	16,80	7,90	48	11	0,19	0,4	4,1	144
LANCLY	12h30	7,56	8,70	81%	15,71	7,91	54					
LANCLY	13h00	7,70	8,81	81%	14,92	7,92	50	11	0,17	0,45	4,9	110

24/02/2004

Station	Heure Prélèvement	Température	O2 dissous	%O2 dissous	Salinité	pH	Débit	MES	NH4	PO4	NO3	E. Coli
R2000	13h15	8,4	11,6		20,4	7,85	6	35	0,24	0,67	6	34659
Torgouët	13h40	7,6	13,59		9,9	8,5	4,5	26	0,15	0,16	2	61
Plinet	14h37	6,8	5,9		14	8,7	218	17	0,16	0,12	1	15
Lancly-Pont	15h20	6,4	14,2		5,5	8,4	277,3	16	0,16	0,32	4	143
Briole	12h30	4,9	6,24		2,6	7,9	31,6	16	0,18	0,38	4	94
Croix de l'Anse	11h55	8,4	11,1		0,39	7,6	13	3	0,1	0,74	10	2035

09/03/2004

Station	Heure Prélèvement	Température	O2 dissous	%O2 dissous	Salinité	pH	Débit	MES	NH4	PO4	NO3	E. Coli
LANCLY	12h45:00	6,9	12,82	111%	8,4	8,18	47	18	0,33	0,39	1,2	30
LANCLY	13h45:00	7,46	13,08	114%	7,35	8,46	32	20	0,33	0,32	1	15
LANCLY	14h45:00	8,36	13,83	124%	7,2	8,51	29	17	0,43	0,35	1,7	15
LANCLY	15h45:00	8,96	14,22	129%	6,93	8,61	26	21,5	0,36	0,4	0,9	15

25/03/2004

Station	Heure Prélèvement	Température	O2 dissous	%O2 dissous	Salinité	pH	Débit	MES	NH4	PO4	NO3	E. Coli
R2000	13h20	10,6	9	85%	4,2	7,9	1,7	10,5	1,39	2,36	2	6581
Torgouët	13h45	10,5	1,8	119%	19,8	8,5	2,4	22,5	0,62	0,16	1,9	15
Plinet	14h30	9,78	13,3	133%	19,7	8,8	128,5	8,5	0,68	0,33	1,7	15
Lancly-Pont	15h30	10,2	14,6	138%	7,8	8,7	98	54	0,29	0,06	0,6	30
Briole	16h00	11,63	14	129%	4,9	8,9	27,7	28,5	0,48	0,52	0,7	15
Croix de l'Anse	12h45	10,57	10	90%	0,38	7,7	1,7	4	0,31	1	1	160

20/04/2004

Station	Heure Prélèvement	Température	O2 dissous	%O2 dissous	Salinité	pH	Débit	MES	NH4	PO4	NO3	E. Coli
R2000	13h15:00	12,5	6,5	68%	12,5	7,6	2,3	57	2,53	1,89	1,3	2715
Torgouët	14h00:00	19,4	10,35	120%	9,5	8,5	0,5	53,2	0,84	0,52	0,8	110
Plinet	14h50:00	16,8	19	119,5%	21,2	8,4		123,7	3,1	0,18	1,1	15
Lancly-Pont	15h25:00	15,9	11,2	120%	9	8,4	111,9	36,5	0,36	0,54	1	30
Briole	16h00:00	17,2	11,09	130%	9,2	8,7	41,8	114	0,85	0,57	1,5	77
Croix de l'Anse	12h30:00	12	8	75%	0,4	7,7	2,6	11,5	0,25	0,63	2,5	565
Pont d'Arm	11h50:00	11,9	6,5	61%	2	7,5	2718,3	25,3	0,79	0,44	1,9	5784

06/05/2004

Station	Heure Prélèvement	Température	O2 dissous	%O2 dissous	Salinité	pH	Débit	MES	NH4	PO4	NO3	E. Coli
<i>R2000</i>	12h40	13	7,4	76%	12,4	7,6	4	58	4,2	1,85	0,7	4753
<i>Torgouët</i>	13h00	18,3	11	129%	16,2	8,6	2	77,5	1,2	0,39	0,5	61
<i>Plinet</i>	13h30	16,4	11	128%	22,7	8,5	199	111	3,1	0,16	0,4	15
<i>Lancly-Pont</i>	15h30	17,2	12,8	141,50%	10,5	8,6	108	49	2,02	0,76	0,4	61
<i>Briolet</i>	16h15	19,75	14,1	150,40%	6,8%	8,85	23	40,5	0,53	0,88	0,5	397
<i>Croix de l'Anse</i>	16h45	13,2	8,75	83,70%	0,28	8	2	6,5	0,23	1,15	2,6	759
<i>Pont d'Arm</i>	14h30	13,3	8,94	92,60%	7,7	7,9	2135	44,5	1,89	0,3	1,4	15

18/05/2004

Station	Heure Prélèvement	Température	O2 dissous	%O2 dissous	Salinité	pH	Débit	MES	NH4	PO4	NO3	E. Coli
<i>R2000</i>	12h15	18,1	6,5	80%	21	8	4,5	102	1,02	0,84	0,2	6119
<i>Torgouët</i>	12h35	29,15	11,16	149,50%	4,62	8,4	0,05	45	0,35	0,64	0,3	45
<i>Plinet</i>	13h20	26,3	11,8	160,70%	14,8	8,35	35	100,5	0,2	0,32	0,2	15
<i>Lancly-Pont</i>	15h10	26,3	10,86	148,20%	17,5	8,27		73,5	0,32	0,41	0,3	15
<i>Briolet</i>	15h40	25,5	8,38	102,90%	15	8,4	11	17	0,59	1,19	0,6	77
<i>Croix de l'Anse</i>	16h00	15,6	8,15	83,40%	0,51	8	0,6	10,5	0,24	0,9	0,2	480
<i>Pont d'Arm</i>	14h10	23	6,5	76,20%	1,1	7,9	502	35	0,81	3,5	1,1	332

19/07/2004

Station	Heure Prélèvement	Température	O2 dissous	%O2 dissous	Salinité	pH	Débit	MES	NH4	PO4	NO3	E. Coli
<i>R2000</i>	12h50	19,3	4,4	54,4 %	22,5	7,6	0,8	109,5	2,9	1,39	4,6	10687
<i>Torgouët</i>	13h05	24,7	6,84	95,8%	27,8	8,27	0,2	143,5	1,52	0,1	0,5	46
<i>Plinet</i>	13h45	25,5	12,1	174,7%	29	8,3	36,9	157,5	0,34	0,4	0,3	15
<i>Lancly-Pont</i>	15h16	24,7	9,56	125%	15,2	8,3	34,3	66	0,5	1,09	3,4	77
<i>Briolet</i>	15h50	26	3,6	50%	3,5	8,3	2,1	33	0,8	2,52	0,7	1793
<i>Croix de l'Anse</i>	16h10	19	1,4	15%	0,5	7,9	0,9	5	0,29	1,21	1,5	627
<i>Pont d'Arm</i>	14h30	22,9	8,16	100,8%	10,2	8,2	451,1	82,5	1,46	0,7	0,3	742

17/08/2004

Station	Heure Prélèvement	Température	O2 dissous	%O2 dissous	Salinité	pH	Débit	MES	NH4	PO4	NO3	E. Coli
<i>R2000</i>	13h00	21,1	5,13	68%	25	7,95	8,2	18	0,6	0,8	0,8	12687
<i>Torgouët</i>	13h20	30,7	6,6	97%	30,7	8,25	4,3	96	0,2	0,6	0,5	15
<i>Plinet</i>	14h50	24,5	8,96	125,9%	29,5	8,26	154,1	53	0,1	0,3	0,5	77
<i>Lancly-Pont</i>	15h25	23,5	7,8	108%	28,4	8,1	63,7	18	0,1	0,7	0,5	94
<i>Briolet</i>	15h50	23,7	6,3	84,3%	21,24	8,18	5,3	54	0,2	2,7	0,5	270
<i>Croix de l'Anse</i>	16h10	21,1	7,54	86%	2,3	7,54	0,9	7	0,1	0,7	5,3	1716
<i>Pont d'Arm</i>	14h45	23,1	9,34	121%	19,2	8,25	642,6	110	0,09	0,8	0,5	600

27/09/2004

Station	Heure Prélèvement	Température	O2 dissous	%O2 dissous	Salinité	pH	Débit	MES	NH4	PO4	NO3	E. Coli
<i>R2000</i>	11h15	17,5	5,4	66,70%	26,15	7,9	1,3	135	6,3	0,87	1,8	15199
<i>Torgouët</i>	11h30	17	6,5	82,20%	31,6	8	0,05	196	1,5	1,5	0,6	46
<i>Plinet</i>	12h20	16,6	7,33	90,10%	29,7	8,1	84,5	98	1,7	0,22	0,6	15
<i>Lancly-Pont</i>	13h45	16,8	6,73	73,80%	14,6	8,1	42,2	191,5	2	1,38	0,9	195
<i>Briole</i>	14h20	16,6	4,74	53%	11,65	8,2	6,7	257	2,44	2,52	0,3	485
<i>Croix de l'Anse</i>	14h40	18,3	7,4	79,60%	1,4	8,3	0,2	24	0,08	0,46	2,7	371
<i>Pont d'Arm</i>	13h15	16,5	5,35	63,20%	22	7,8	459,6	151	1,2	0,47	1,1	143

27/10/2004

Station	Heure Prélèvement	Température	O2 dissous	%O2 dissous	Salinité	pH	Débit	MES	NH4	PO4	NO3	E. Coli
<i>R2000</i>	11h25	15,4	3,3	35,90%	14,8	7,4	2,6	45	1,62	1,8	5,9	34659
<i>Torgouët</i>	11h55	13	4,2	47,40%	28	7,9	2,07	34	0,18	0,33	2	1474
<i>Plinet</i>	12h30	12,9	4,2	49,30%	34,4	7,8	123,0	27	0,13	0,22	0,5	15
<i>Lancly-Pont</i>	14h15	12,9	4,2	46,70%	27,6	7,7	109,9	21	0,22	0,76	1,6	77
<i>Briole</i>	14h45	13,2	3,31	35,20%	17	7,52	13,5	41	0,3	1,6	0,8	465
<i>Croix de l'Anse</i>	15h00	4,54	4,3	45,50%	0,73	7,8	1,6	6	0,09	0,52	6,9	3543
<i>Pont d'Arm</i>	13h15	12,3	4	42,60%	20,2	7,5	1217,9	22	0,2	0,49	1,5	549

15/11/2004

Station	Heure Prélèvement	Température	O2 dissous	%O2 dissous	Salinité	pH	Débit	MES	NH4	PO4	NO3	E. Coli
<i>R2000</i>	13h30	12,3	6,45	70,10%	22,4	7,5	1,9	101	1,3	1,41	1,2	15199
<i>Torgouët</i>	13h10	8,2	8,78	92,40%	32,8	8	1,65	132	0,4	0,21	0	15
<i>Plinet</i>	12h30	7,3	9,7	103%	33,6	7,9	79,0	126,5	0,7	0,39	0	77
<i>Lancly-Pont</i>	11h30	7	7,99	81,40%	32,5	7,7	275,1	123	0,7	1,26	0,6	143
<i>Briole</i>	14h15	6,9	9	82,50%	16,1	7,5	11,6	88,5	1,3	1,43	1,2	253
<i>Croix de l'Anse</i>	14h45	12,6	9,46	89%	1,2	7,8	0,6	8	1,1	1,03	0,9	2182
<i>Pont d'Arm</i>	11h10	6,5	9,8	88%	16,5	7,72	1469,6	80	1	1,48	1,8	232

15/12/2004

Station	Heure Prélèvement	Température	O2 dissous	%O2 dissous	Salinité	pH	Débit	MES	NH4	PO4	NO3	E. Coli
<i>R2000</i>	13h00	10	8,7	94,40%	30	7,4	1,2	109,5	17,5	1,37	0,9	27726
<i>Torgouët</i>	13h30	8,1	13,8	138%	33,1	7,9	3,68	119	1	0,2	0,7	15
<i>Plinet</i>	14h30	8	15	156,30%	34,2	8	85,5	122,9	1,4	0,22	0,5	15
<i>Lancly-Pont</i>	15h30	6,7	13,7	135,10%	28,9	7,8	147,5	105,7	1,8	0,55	0,7	30
<i>Briole</i>	16h00	6,8	13,9	128,40%	16,1	7,6	25,5	81,6	3,3	0,56	0	61
<i>Croix de l'Anse</i>	16h20	10	12,7	114,70%	2,1	7,7	0,4	8,8	1	0,69	1,2	144
<i>Pont d'Arm</i>	14h50	4,9	14,31	128,30%	20,2	7,8	808,3	84,4	2	1	1,1	30

Salinité: PSU (practical unit salinity)

NO3, NO2, NH4, MES: mg/L

débit : L/sec

Escherichia coli: unité pour 100ml

O2 dissous : mg/L

Température: °C



mesure non réalisée

résultat inférieur au seuil de détection

Annexe 18

Liste des phytosanitaires détectés

Molécules détectées	Type	Famille	Recensées par Morin (2002)	Usages (liste non exhaustive) (source : e-phy)	Périodes d'application et de détection																
					Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Av	Mai	Jui	Juil	Sep	Oct	Nov					
2,4-D	H	Phenoxy	NON	Urbain(gazons)/maïs/blé																	
2,4-MCPA	H	Phenoxy	OUI	Urbain/blé/céréales d'hiver																	
2-hydroxy atrazine	H (*)	Triazine	-	-																	
Aminotriazole	H	Triazole	OUI	Urbain/Agricole divers																	
AMPA	H (*)	-	-	-																	
Atrazine	H	Triazine	OUI	Maïs/sorgho																	
Atrazine désisopropyl	H (*)	Triazine	-	-																	
Atrazine Déséthyl	H (*)	Triazine	-	-																	
Bromacil	H	Uracile	OUI	Urbain/Agricole (lavande/lavandin)																	
Carbendazime	F	Carbamate	NON	Colza/divers																	
Carbétamide	H	Carbamate	OUI	Urbain/crucifères oléagineux/choux/maïs																	
Carbofuran	I	Carbamate	NON	Carottes/betteraves/chou...																	
Chlorfenvinphos	I	organophosphoré	OUI	Pomme de terre/champignons/choux/...																	
Dichlorprop	H	acide aryloxyalcanoïque	OUI	Urbain																	
Diflufenicanil	H	Anilide	OUI	Urbain/Blé/céréales d'hiver																	
Diuron	H	Urée	OUI	Urbain/viticulture/arboriculture																	
Flazasulfuron	H	Urée	OUI	Urbain/vignes/oliviers																	
Fluroxypyr	H	acide aryloxyalcanoïque	OUI	Blé/Maïs/céréales d'hiver																	
Glyphosate	H	organophosphoré	OUI	Urbain/agricole																	
Isoproturon	H	Urée	OUI	Blé/céréales d'hiver																	
Linuron	H	Urée	OUI	Blé/céréales/pommes de terre/maïs...																	
Mécoprop	H	Phenoxy	OUI	Urbain/Blé/céréales																	
Métazachlore	H		NON	Pépinières/Colza/chou/plantes aromatiques																	
Oxadiazon	H		OUI	Urbain/Arboriculture/vignes/soja/riz/...																	
Pendiméthaline	H	Dinitroaniline	OUI	Urbain/Blé/Maïs/divers																	
Piclorame	H	Acide carboxylique	OUI	Urbain/céréales d'hiver																	
Simazine	H	Triazine	OUI	Maïs/asperge/cassissier/rosier...																	
Sulcotrione			NON	Maïs/Lin textile																	
Terbutylazine Dés.	H (*)	Triazine	OUI	Urbain/Maïs/viticulture																	
Terbutryne	H	Triazine	OUI	Blé/céréales																	
Triclopyr	H	Phenoxy	NON	Forêts/broussailles/souches/zones cultivées																	

* Produit de dégradation

Période d'application
 Non recherchée
 Non détectée
 Détectée

Annexe 19

Résultats du suivi des phytosanitaires par station de prélèvement

(µg/L)	R2000							Seuil de Quantification
	24-nov-03	20-avr-04	18-mai-04	19-juil-04	27-sept-04	27-oct-04	15-nov-04	
Diuron	0,38	6,2	0,14	6,5	0,04	0,09	0,16	0,02
Atrazine	0,03	0,03					0,02	0,02
<i>Atrazine Déséthyl</i>	0,09	0,08		0,04			0,08	0,02
<i>Atrazine déisopropyl</i>	0,04			0,03			0,03	0,02
Simazine				1,8				0,02
<i>2-hydroxy atrazine</i>							0,07	0,04
<i>Glyphosate</i>		0,11				0,07		0,05
<i>Aminotriazole</i>	0,05	0,07				0,11		0,05
<i>2,4-MCPA (*)</i>						0,3		0,10
<i>Mécoprop (*)</i>		0,22						0,10
<i>Piclorame (*)</i>	2						1,4	0,10
<i>Flazasulfuron</i>		0,16						0,05
Bromacil	1,5	0,63	0,1			0,13	0,21	0,05
Dichlorprop	0,35					0,35		0,10



 Liste prioritaire DCE

 AMM retirée sauf exceptions

 Molécule non recherchée

Torgouët								Seuil de Quantification
(µg/L)	24-nov-03	20-avr-04	18-mai-04	19-juil-04	27-sept-04	27-oct-04	15-nov-04	
Diuron	0,13	1,6	0,4	0,53	0,06	2,6		0,02
Atrazine						0,03		0,02
Atrazine Déséthyl				0,04		0,06		0,02
Simazine			0,05	0,09				0,02
2-hydroxy atrazine	<<<<<<	<<<<<<	0,06			0,06		0,04
Carbendazime						0,09		0,02
Glyphosate		0,35	0,37		0,08			0,05
Aminotriazole	0,07	0,13	0,22	0,1				0,05
AMPA		0,12	0,33					0,05
Pendiméthaline		0,05						0,05
Oxadiazon		0,05						0,05
Diflufénicanil		0,09	0,05					0,05
2,4-MCPA (*)		0,14						0,10
Mécoprop (*)			0,11					0,10
Triclopyr (*)	0,11							0,10
Flazasulfuron		0,08	<<<<<<	<<<<<<	<<<<<<	<<<<<<	<<<<<<	0,05
Sulcotrione (*)		0,26	<<<<<<	<<<<<<	<<<<<<	<<<<<<	<<<<<<	0,10
Bromacil	0,11	0,17	0,23					0,05



Plinet								Seuil de Quantification
(µg/L)	24-nov-03	20-avr-04	18-mai-04	19-juil-04	27-sept-04	27-oct-04	15-nov-04	
Diuron		0,13	0,06	0,03				0,02
Diflufénicanil		0,1						0,05

 Liste prioritaire DCE
 AMM retirée sauf exceptions

 Molécule non recherchée

(µg/L)	Lancly							Seuil de Quantification
	24-nov-03	20-avr-04	18-mai-04	19-juil-04	27-sept-04	27-oct-04	15-nov-04	
Diuron	0,12	0,46	0,18	0,25	0,03	0,05		0,02
2-hydroxy atrazine			0,06		0,07	0,06	0,05	0,04
Carbendazime				0,04				0,02
Glyphosate	0,09	0,09						0,05
Aminotriazole		0,22		0,05				0,05
AMPA		0,06						0,05
Pendiméthaline	0,09							0,05
Oxadiazon	0,13	0,32	0,05	0,13		0,05		0,05
Diflufenicanil		0,05						0,05
Triclopyr (*)		0,14						0,10

(µg/L)	Briole							Seuil de Quantification
	24-nov-03	20-avr-04	18-mai-04	19-juil-04	27-sept-04	27-oct-04	15-nov-04	
Diuron	0,1	0,4	0,14	0,68	0,07	0,09	0,07	0,02
Atrazine Déséthyl				0,02				0,02
Simazine				0,06				0,02
2-hydroxy atrazine				0,07	0,15	0,17	0,18	0,04
Carbendazime				0,07				0,02
Glyphosate	0,12	0,19	0,51	0,61				0,05
Aminotriazole		0,17		0,17				0,05
AMPA		0,07	0,32	0,41				0,05
Pendiméthaline	0,11	0,07						0,05
Oxadiazon	0,14	0,29	0,13	0,43	0,06	0,14		0,05
Diflufenicanil			0,05	0,07				0,05
Triclopyr (*)		0,18						0,10

 Liste prioritaire DCE
 AMM retirée sauf exceptions

 Molécule non recherchée

(µg/L)	Croix de l'Anse (Le Requer)							Seuil de Quantification
	24-nov-03	20-avr-04	18-mai-04	19-juil-04	27-sept-04	27-oct-04	15-nov-04	
<i>Linuron</i>		0,04						0,02
<i>Diuron</i>	0,69	1,4	0,28	0,56	0,48	1,3	0,14	0,02
<i>Atrazine</i>		0,05	0,05			0,05		0,02
<i>Simazine</i>		0,04		0,05		0,09	0,03	0,02
<i>2-hydroxy atrazine</i>	>>>	>>>	0,08	0,06		0,08	0,08	0,04
<i>Terbutryne</i>				0,02				0,02
<i>Carbendazime</i>	0,13	0,08	0,06	0,08	0,02	0,05		0,02
<i>Carbétamide</i>		0,21						0,02
<i>Glyphosate</i>	0,66	1,8	0,14	0,43	0,28	0,33	0,14	0,05
<i>Aminotriazole</i>	0,11	1,4	0,26	0,22		0,06	0,05	0,05
<i>AMPA</i>	1,2	0,63	0,46	0,84				0,05
<i>Pendiméthaline</i>	0,5	0,1	0,12	0,1				0,05
<i>Oxadiazon</i>	0,78	1,4	0,45	0,76	0,32	0,7	0,5	0,05
<i>Diflufenicanil</i>	0,09	0,17	0,15	0,09	0,06	0,08	0,08	0,05
<i>2,4-MCPA (*)</i>		0,28						0,10
<i>2,4-D (*)</i>		0,35						0,10
<i>Mécoprop (*)</i>		0,2						0,10
<i>Triclopyr (*)</i>	0,28	2,2	0,14	0,32				0,10
<i>Fluroxypyr (*)</i>		0,14						0,10
<i>Bromacil</i>	0,26	0,12						0,05
<i>Terbutylazine désethyl</i>						0,06		

 Liste prioritaire DCE

 AMM retirée sauf exceptions

 Molécule non recherchée

(µg/L)	Pont d'Arm (Pompas)						Seuil de Quantification
	20-avr-04	18-mai-04	19-juil-04	27-sept-04	27-oct-04	15-nov-04	
Isoproturon	0,11	0,02					0,02
Diuron	0,3	0,31	0,13	0,04	0,05	0,03	0,02
Atrazine			0,03				0,02
Simazine			0,02				0,02
2-hydroxy atrazine		0,19	0,1		0,06	0,1	0,04
Carbofuran			0,02				0,02
Glyphosate		0,33					0,05
Aminotriazole	0,18	0,22	0,12				0,05
AMPA		1,5	0,27				0,05
Chlorfenvinphos		0,14					0,05
Métazachlore	0,16						0,05
Diflufenicanil	0,08						0,05
Terbutylazine désethyl					0,04		

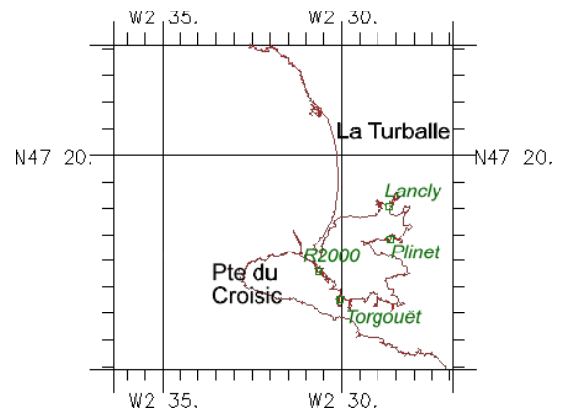
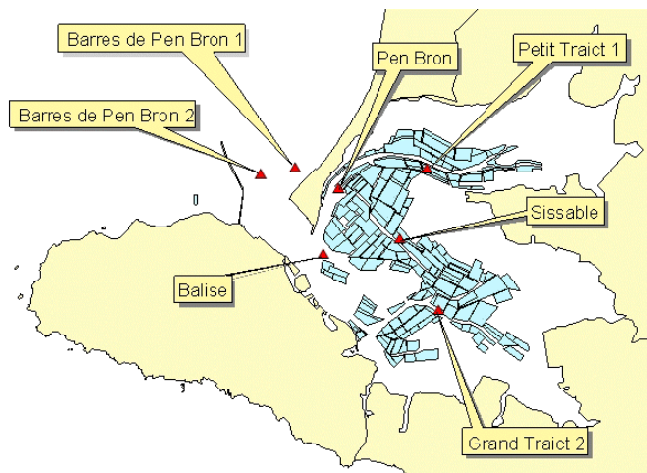
 Liste prioritaire DCE

 AMM retirée sauf exceptions

 Molécule non recherchée

Annexe 20

Réponse du modèle Croisic aux différents forçages



Liste des Figures

Figures 1 à 7 – Evolution de la concentration en *E.coli* aux différents points REMI de la zone des traicts du Croisic, pour un vent nul et des **vents** de secteur Nord-Ouest, Nord-Est et Ouest-Sud-Ouest, d'intensité 4 m/s, et une marée à coefficient constant égal à 70.

Figures 8 à 15 – Evolution de la concentration en *E.coli* aux différents points REMI de la zone des traicts du Croisic, pour des coefficients de **marée** de morte et vive-eau et en l'absence de vent.

Figures 16 à 22 – Evolution de la concentration en *E.coli* aux différents points REMI de la zone des traicts du Croisic, en fonction du **point de rejet**, pour un **même flux** fictif fixé à 5^{E+8} *E.coli*/s, et une marée à coefficient constant égal à 70.

Figures 23 à 29 – Evolution de la concentration en *E.coli* aux différents points REMI de la zone des traicts du Croisic, en fonction du **point de rejet**, pour des **flux** représentatifs de ceux **mesurés** lors du suivi 2003/2004, et une marée à coefficient constant égal à 70.

Figures 30 à 36 – Evolution de la concentration en *E.coli* aux différents points REMI de la zone des traicts du Croisic, en fonction du **T90**, pour des **flux** représentatifs de ceux **mesurés** lors du suivi 2003/2004, accompagnés de flux mesurés par le SMN de S^t Nazaire en 2004, pour un vent de Nord-Ouest de 4 m/s et une marée à coefficient constant égal à 70.

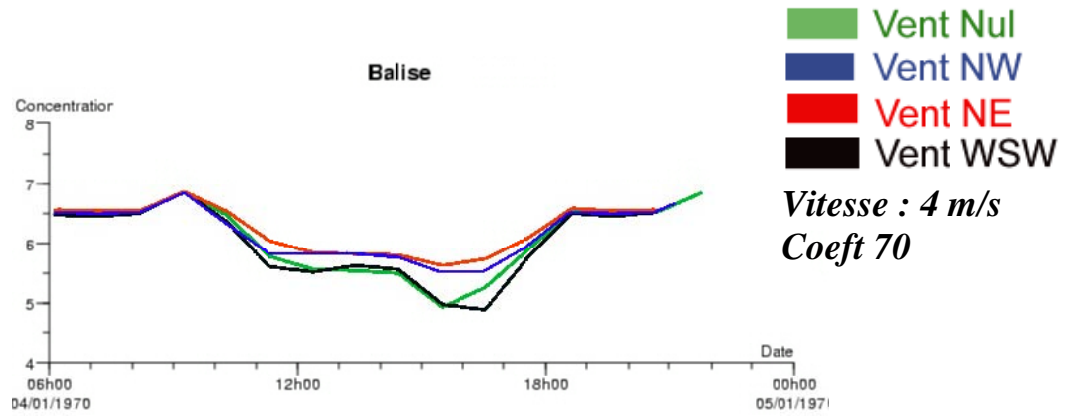


Fig.1 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI *La Balise* en fonction de la direction du vent

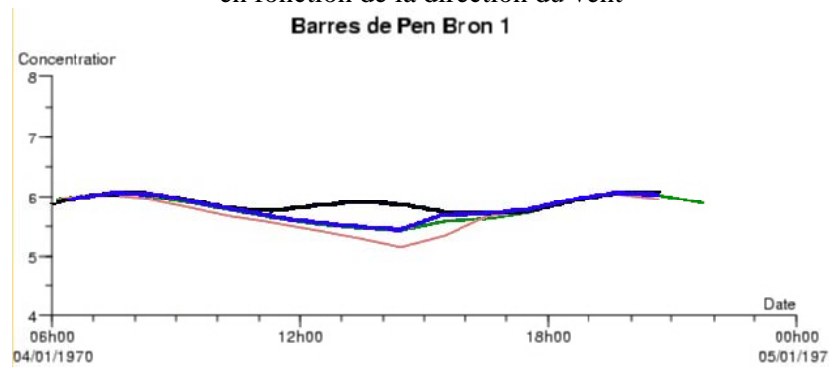


Fig.2 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI *Barres de Pen Bron 1* en fonction de la direction du vent

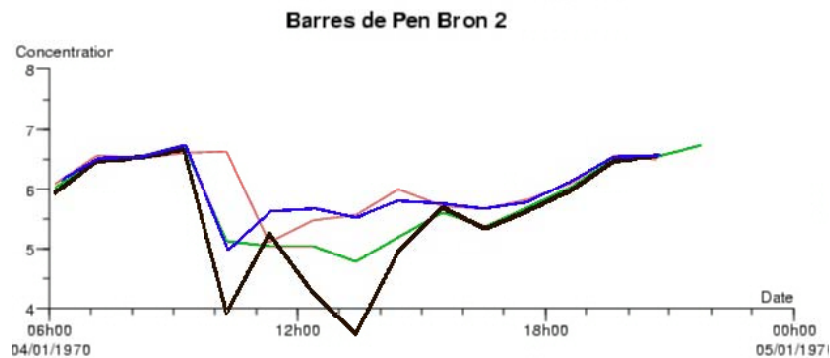


Fig.3 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI *Barres de Pen Bron 2* en fonction de la direction du vent

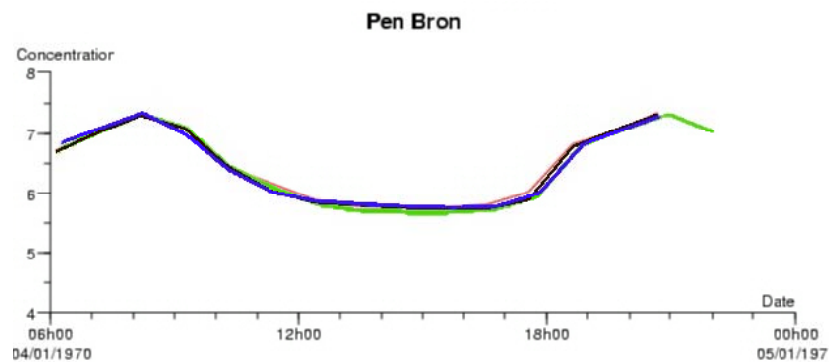


Fig.4 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI *Pen Bron* en fonction de la direction du vent

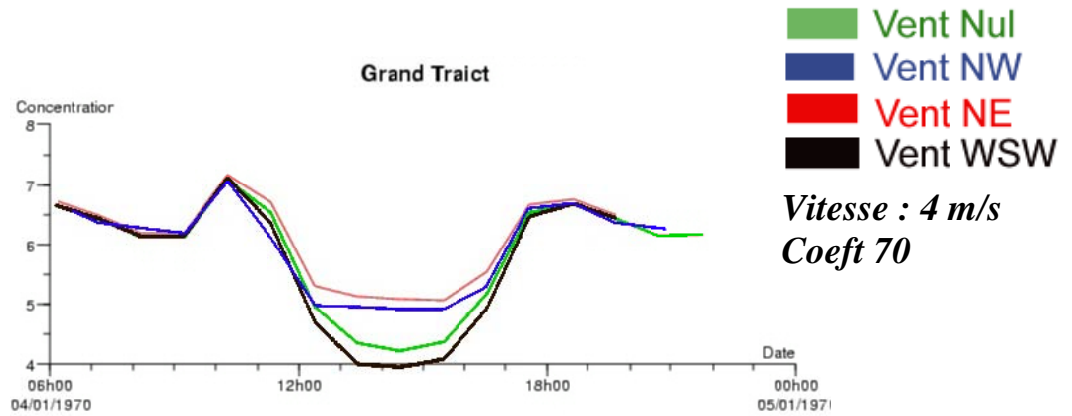


Fig.5 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI *Grand Traict* en fonction de la direction du vent

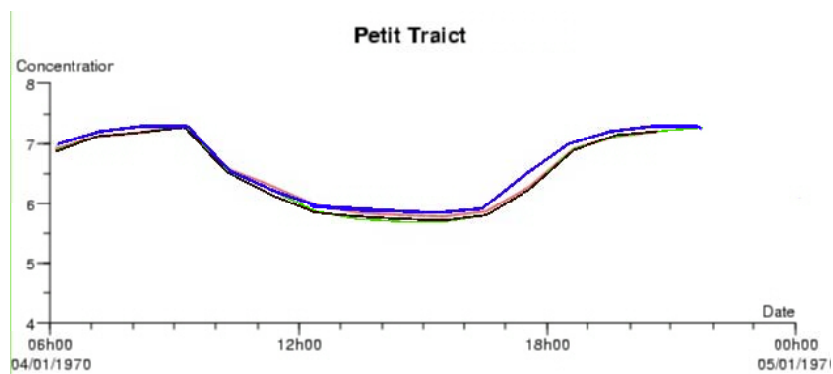


Fig.6 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI *Petit Traict* en fonction de la direction du vent

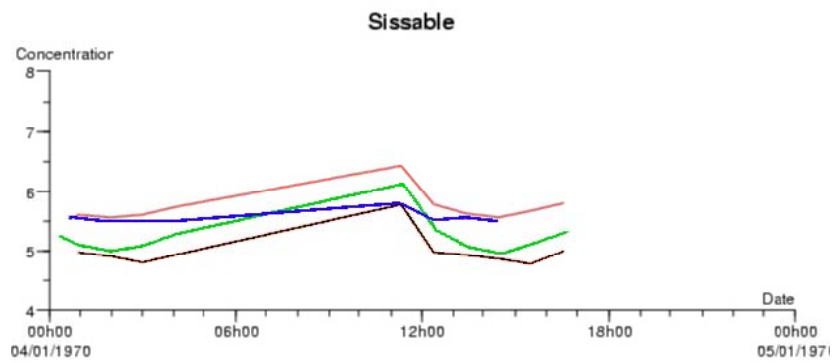


Fig.7 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI *Sissable* en fonction de la direction du vent

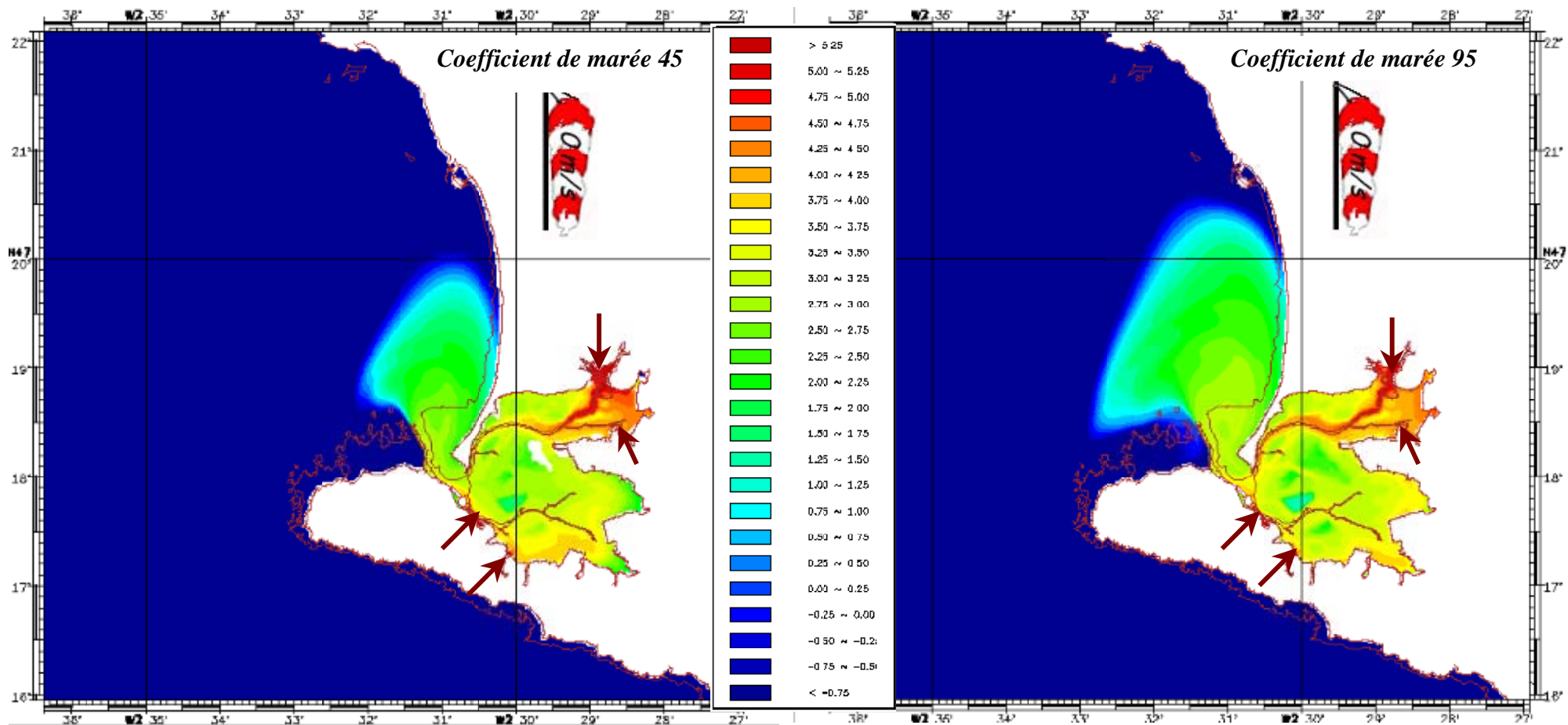


Fig.8 - Concentrations moyennes en *E.coli* calculées sur un cycle PM-BM en fonction du coefficient de marée (T90 = 40h ; vent nul)

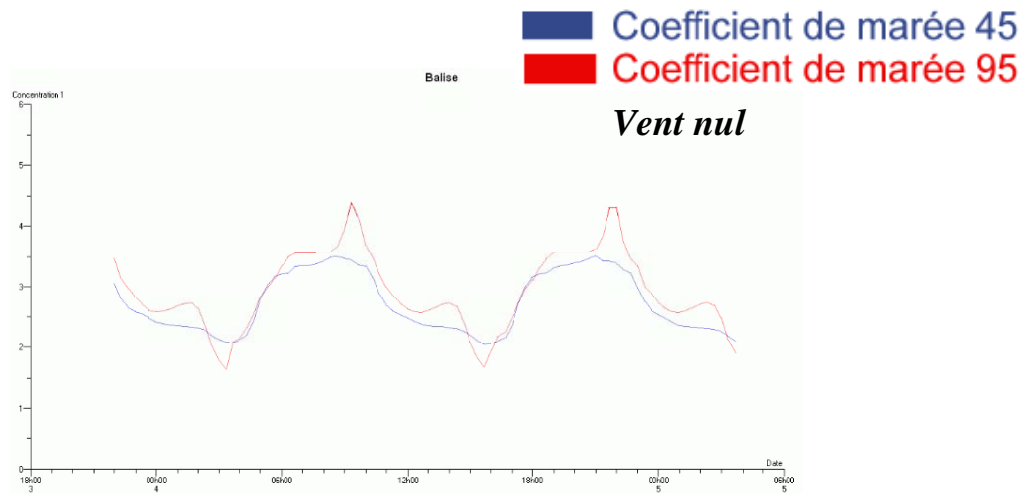


Fig.9 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI *La Balise* en fonction du coefficient de marée

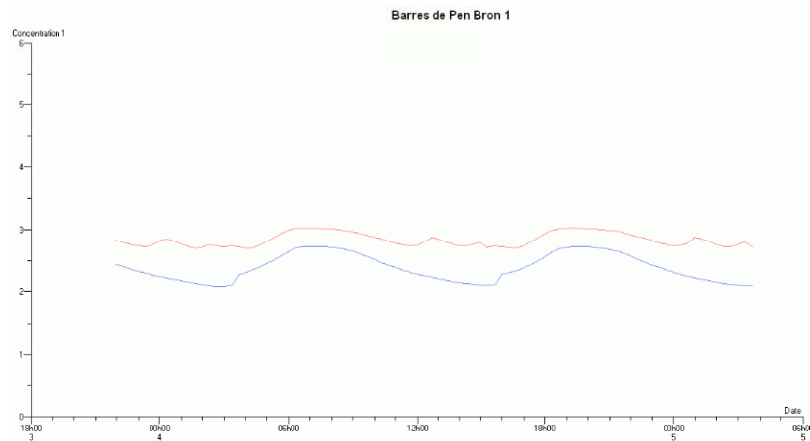


Fig.10 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI *Barres de Pen Bron 1* en fonction du coefficient de marée

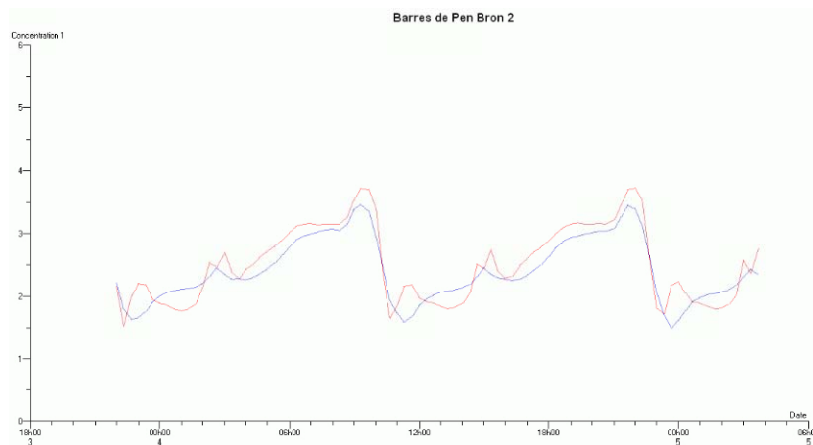


Fig.11 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI *Barres de Pen Bron 2* en fonction du coefficient de marée

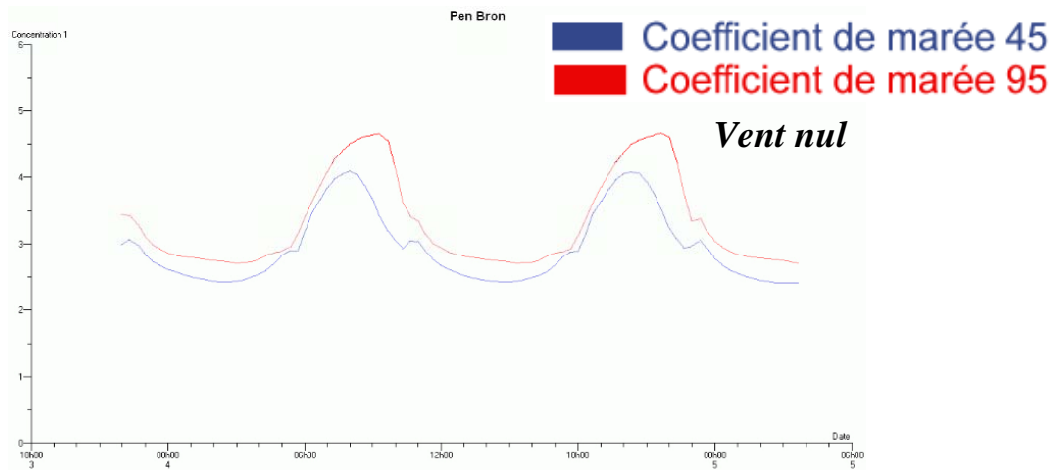


Fig.12 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI *Pen Bron* en fonction du coefficient de marée

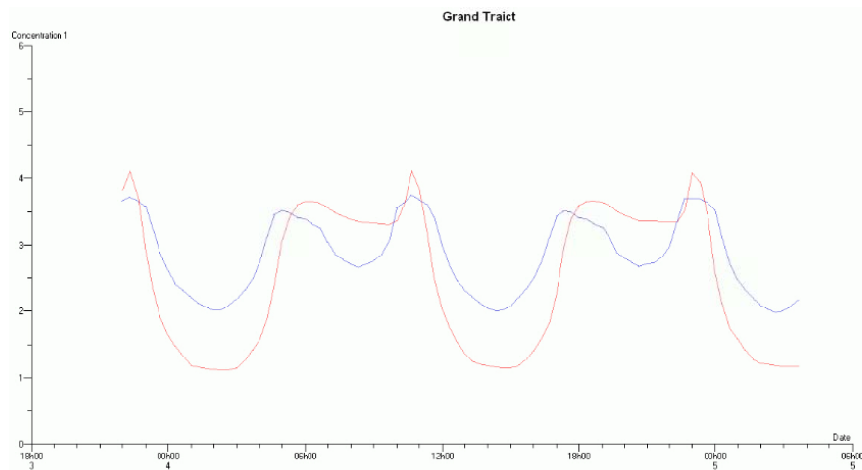


Fig.13 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI *Grand Traict* en fonction du coefficient de marée

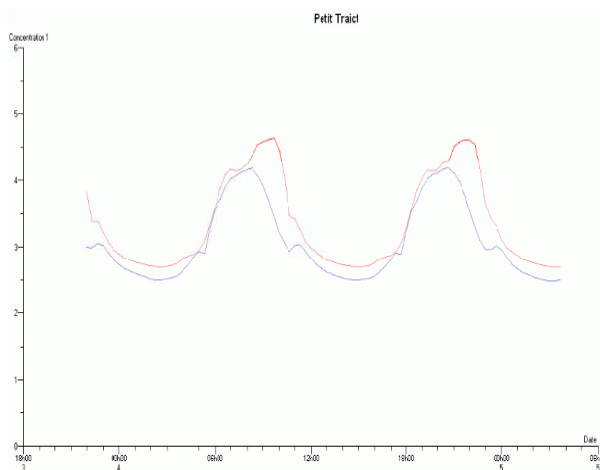


Fig.14 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI *Petit Traict* en fonction du coefficient de marée

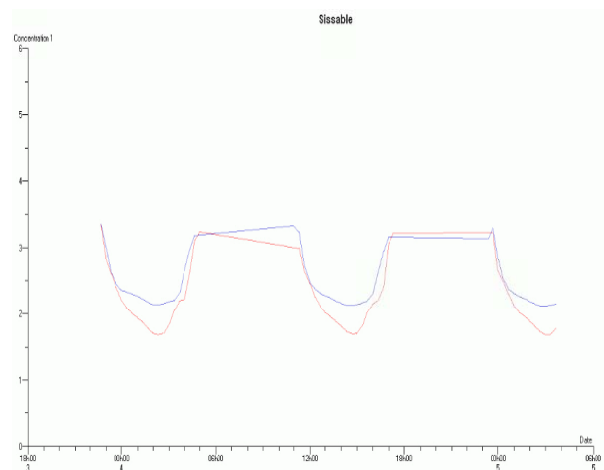


Fig.15 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI *Sissable* en fonction du coefficient de marée

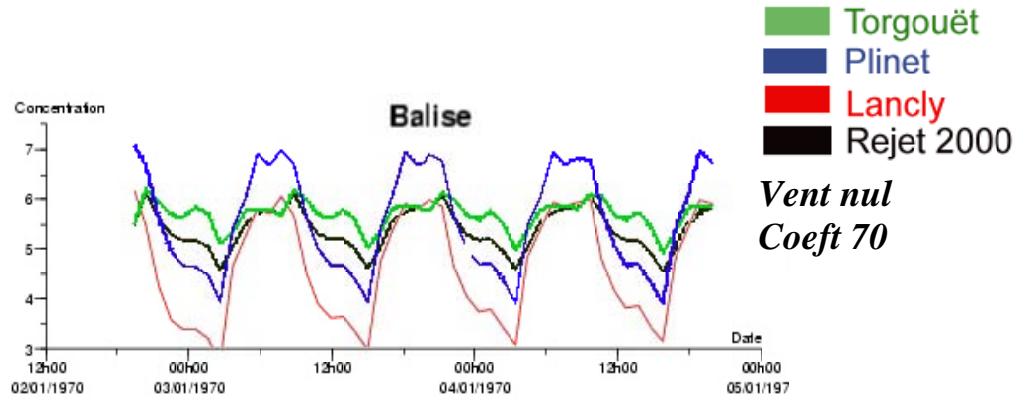


Fig.16 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI *La Balise* en fonction du point de rejet – Flux identique égal à 5^{E+8} E.coli/s

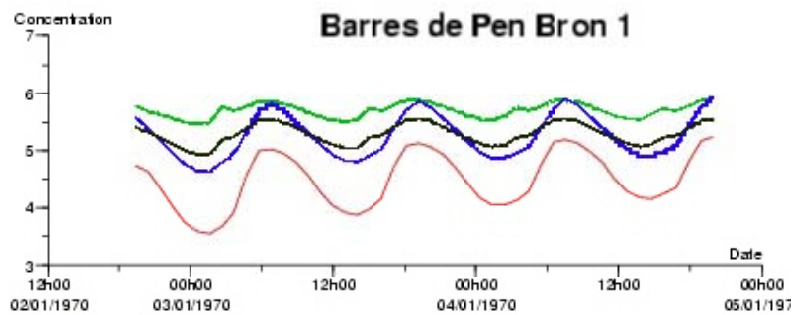


Fig.17 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI *Barres de Pen Bron 1* en fonction du point de rejet – Flux identique égal à 5^{E+8} E.coli/s

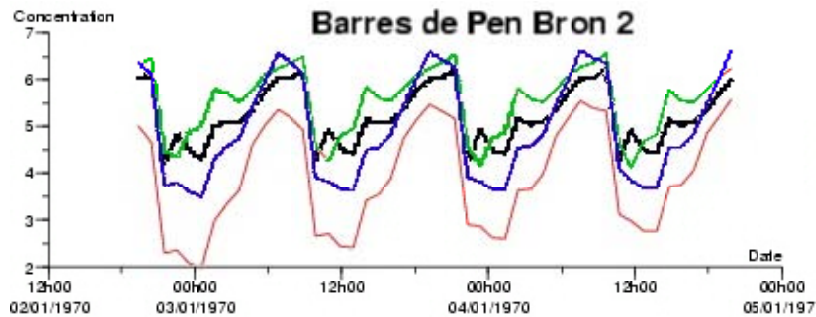


Fig.18 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI *Barres de Pen Bron 2* en fonction du point de rejet – Flux identique égal à 5^{E+8} E.coli/s

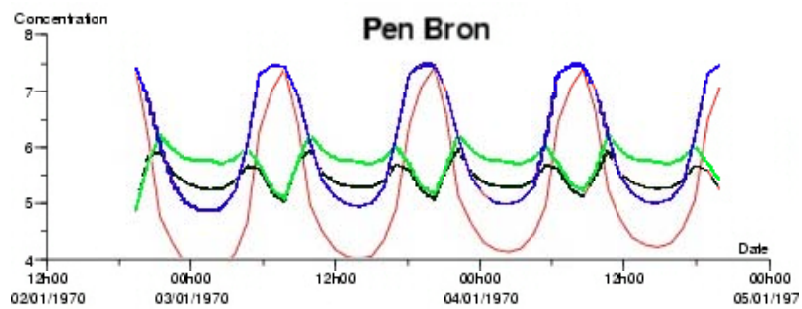


Fig.19 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI *Pen Bron* en fonction du point de rejet – Flux identique égal à 5^{E+8} E.coli/s

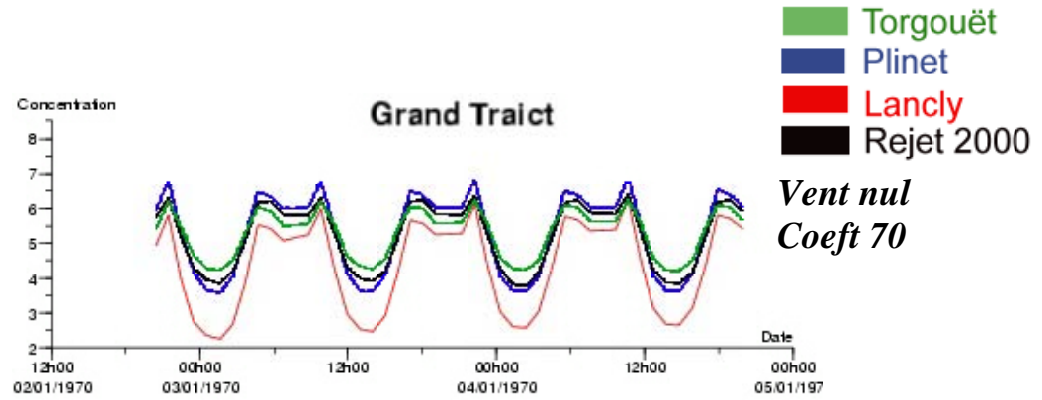


Fig.20 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI *Grand Traict* en fonction du point de rejet – Flux identique égal à 5^{E+8} *E.coli/s*

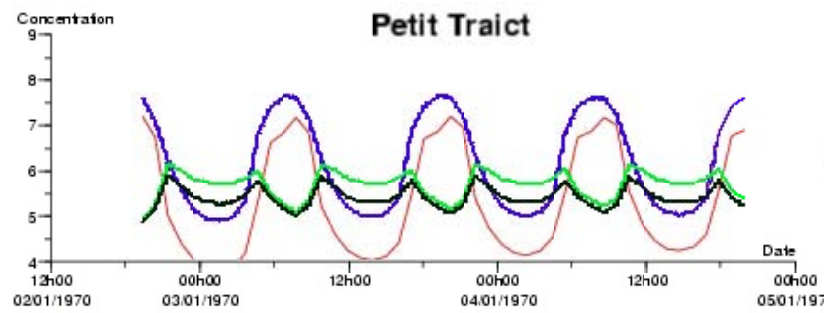


Fig.21 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI *Petit Traict* en fonction du point de rejet – Flux identique égal à 5^{E+8} *E.coli/s*

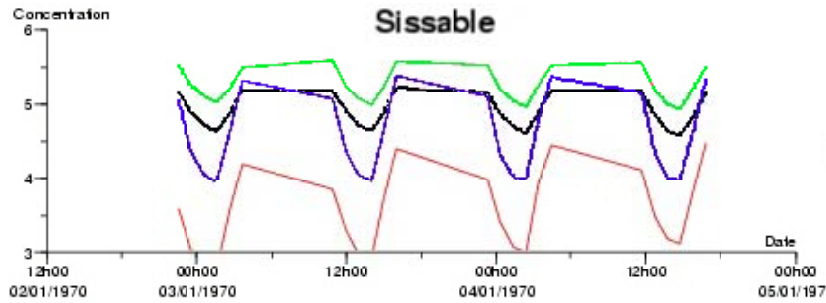


Fig.22 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI *Sissable* en fonction du point de rejet – Flux identique égal à 5^{E+8} *E.coli/s*

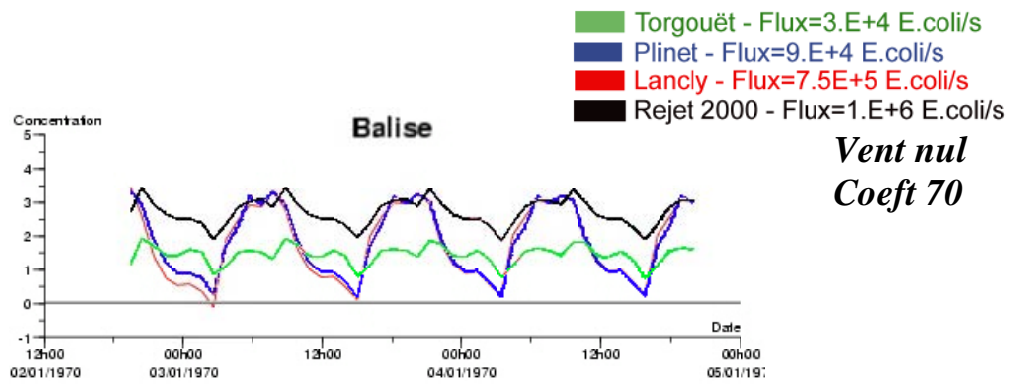


Fig.23 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI *La Balise* en fonction du point de rejet – Flux représentatifs

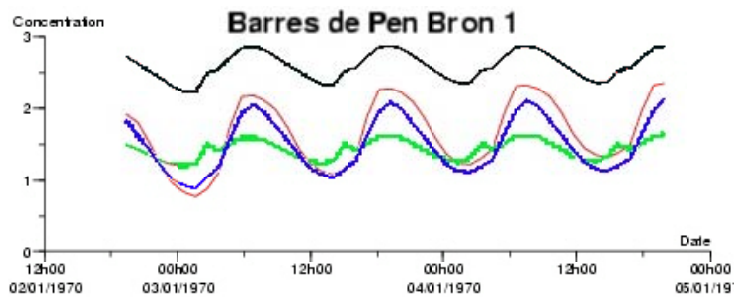


Fig.24 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI *Barres de Pen Bron 1* en fonction du point de rejet – Flux représentatifs

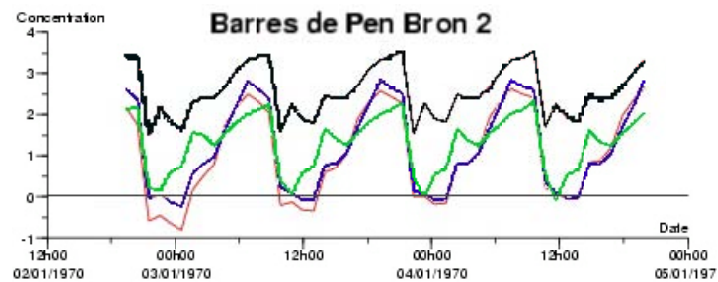


Fig.25 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI *Barres de Pen Bron 2* en fonction du point de rejet – Flux représentatifs

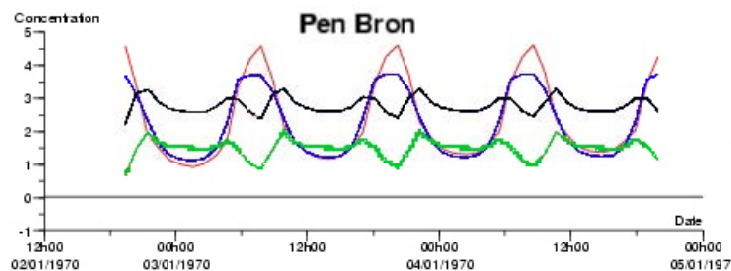


Fig.26 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI *Pen Bron* en fonction du point de rejet – Flux représentatifs

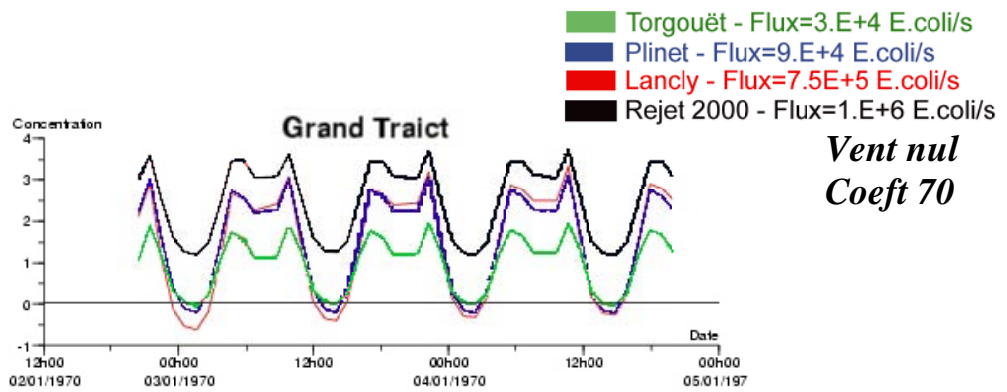


Fig.27 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI *Grand Traict* en fonction du point de rejet – Flux représentatifs

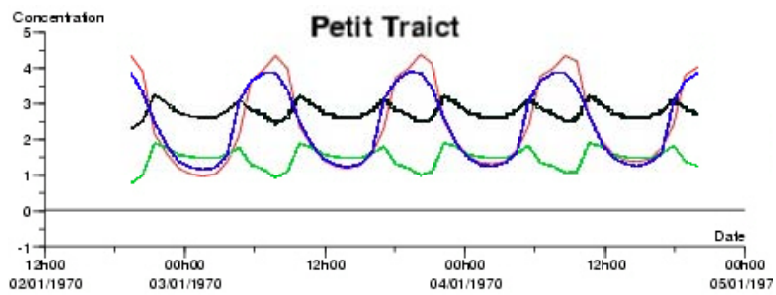


Fig.28 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI *Petit Traict* en fonction du point de rejet – Flux représentatifs

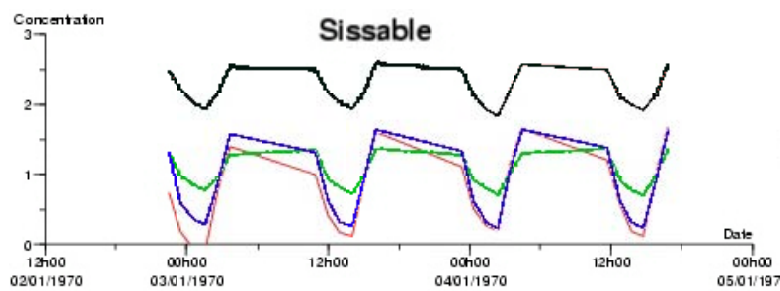


Fig.29 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI *Sissable* en fonction du point de rejet – Flux représentatifs

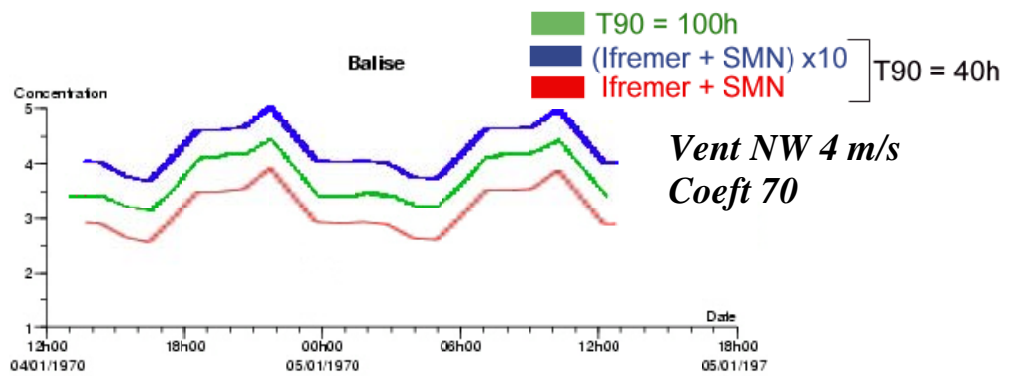


Fig.30 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI Sissable en fonction du T90 – Flux représentatifs

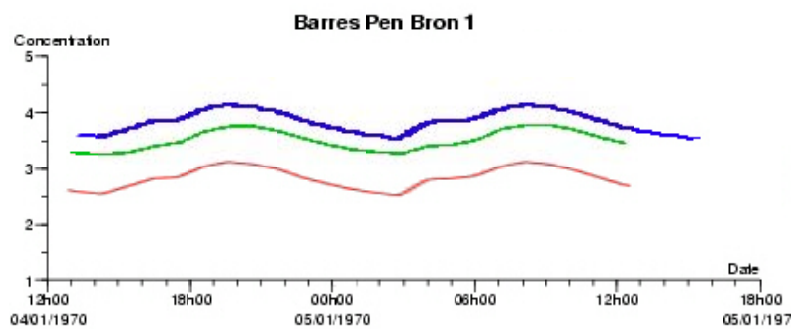


Fig.31 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI Sissable en fonction du T90 – Flux représentatifs

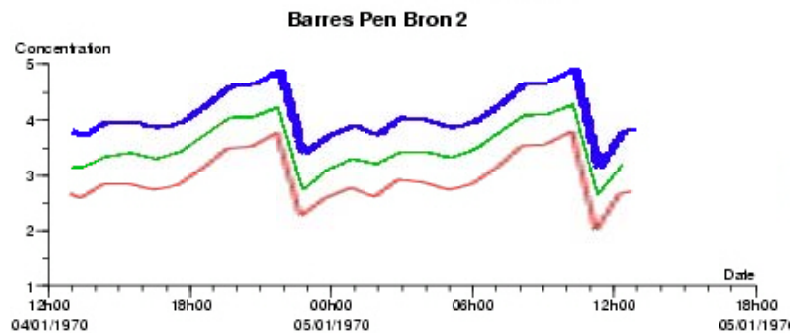


Fig.32 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI Sissable en fonction du T90 – Flux représentatifs

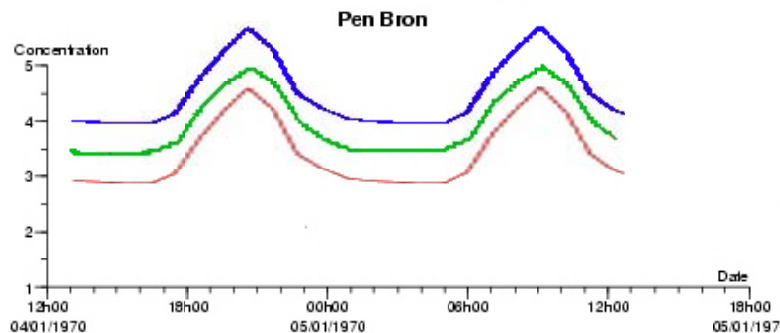


Fig.33 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI Sissable en fonction du T90 – Flux représentatifs

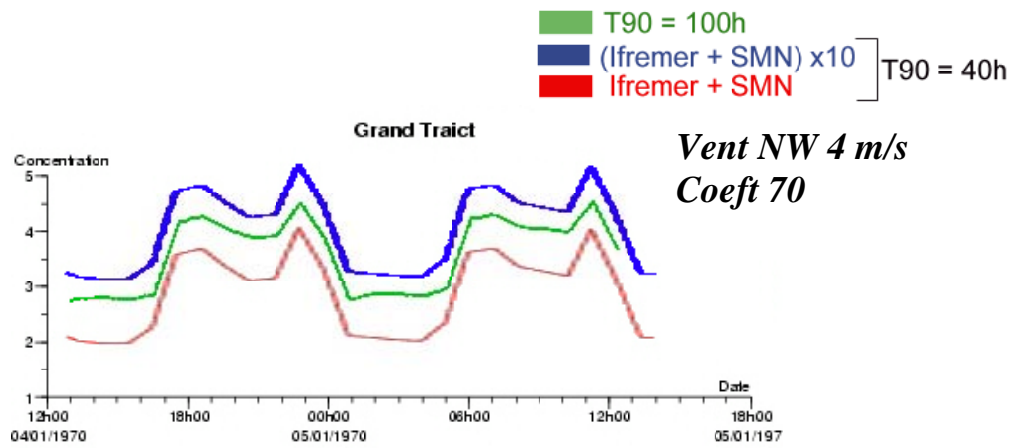


Fig.34 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI Sissable en fonction du T90 – Flux représentatifs

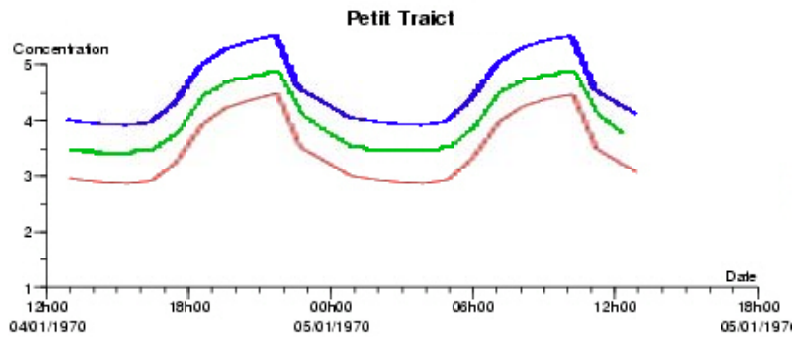


Fig.35 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI Sissable en fonction du T90 – Flux représentatifs

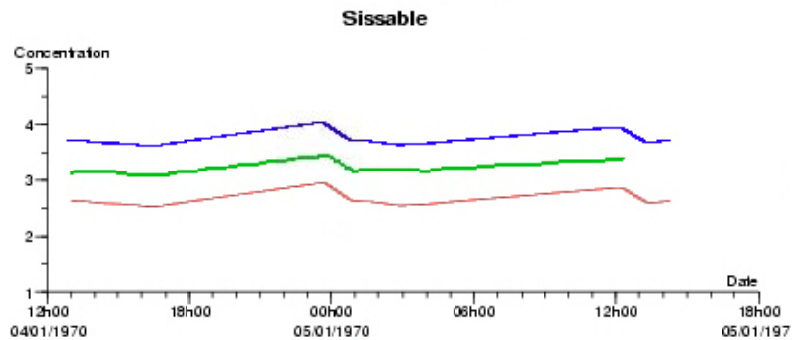
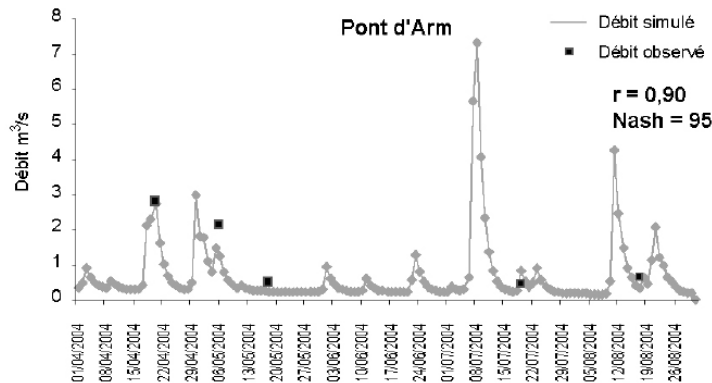
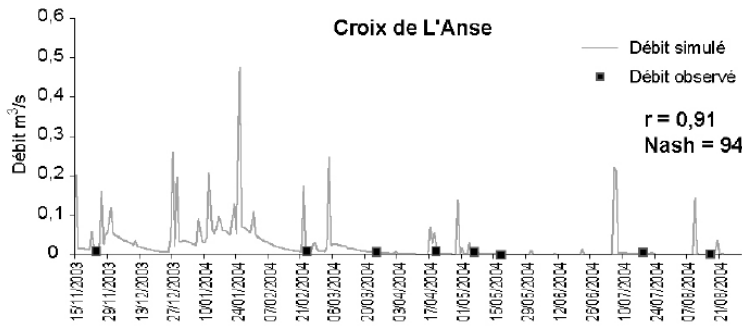
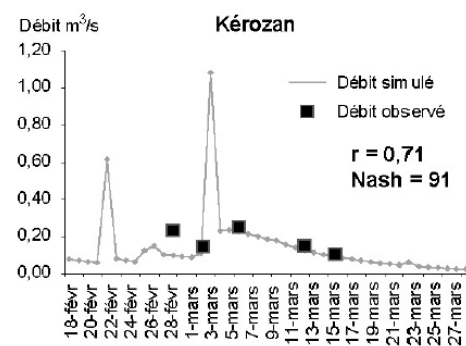
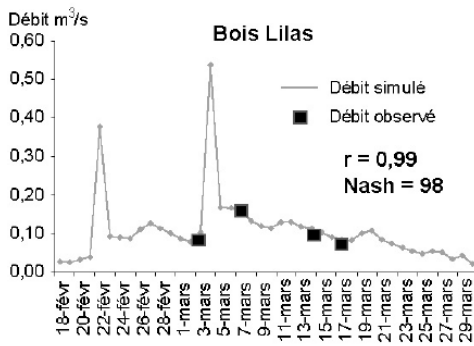
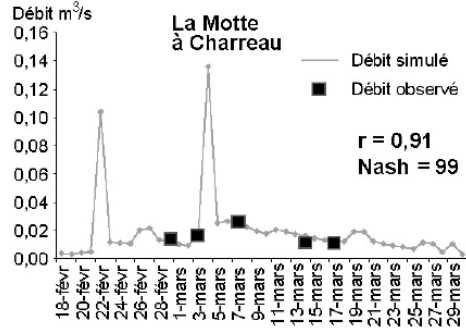
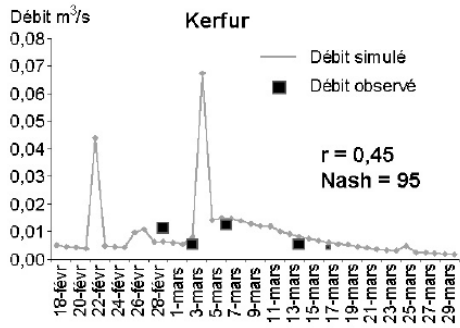


Fig.36 - Evolution de la concentration en *E.coli* au point REMI Sissable en fonction du T90 – Flux représentatifs

Annexe 21

Calage du modèle SWAT : relation simulations-observations

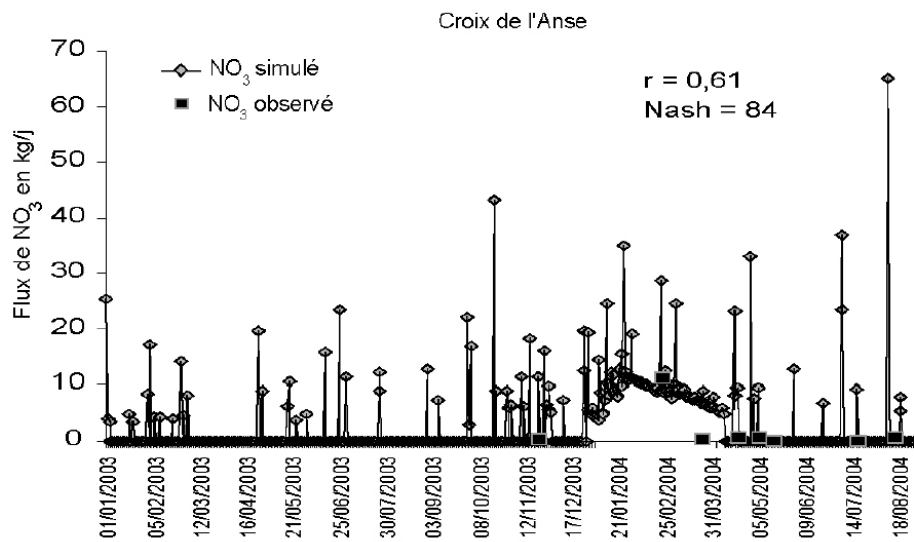
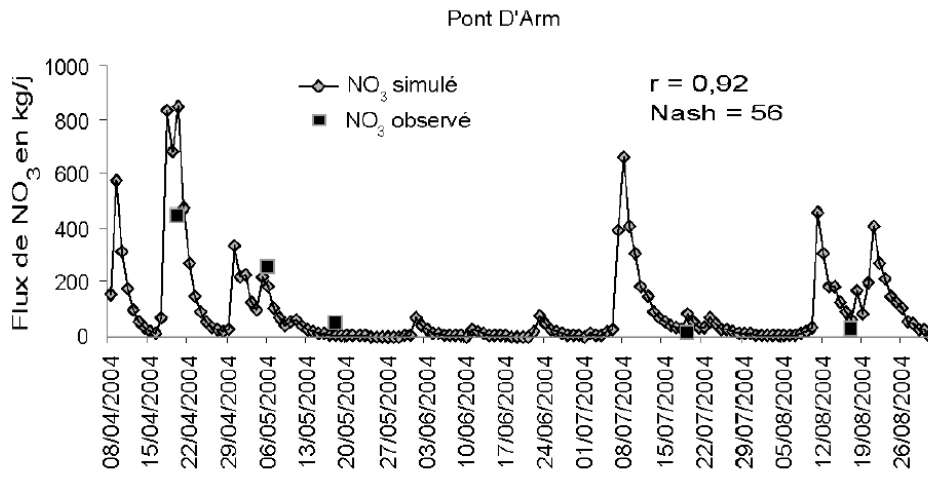
Calage des débits



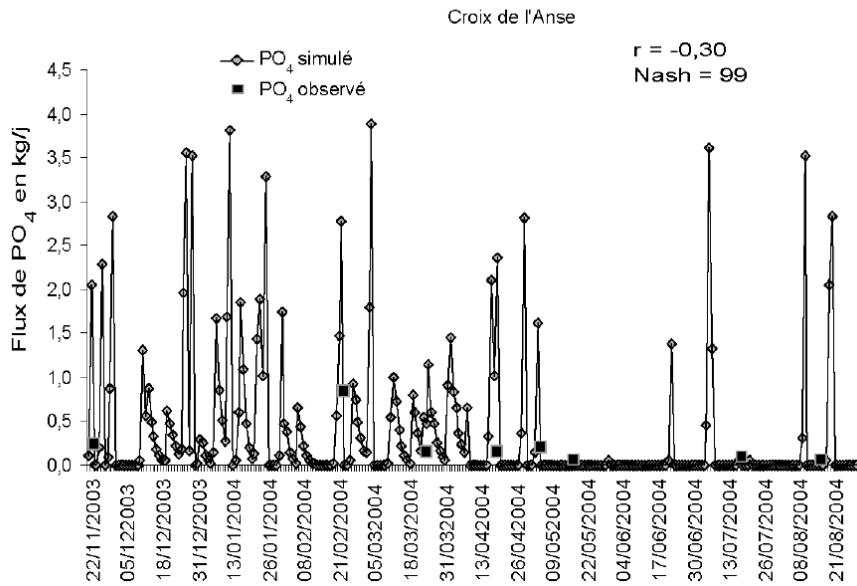
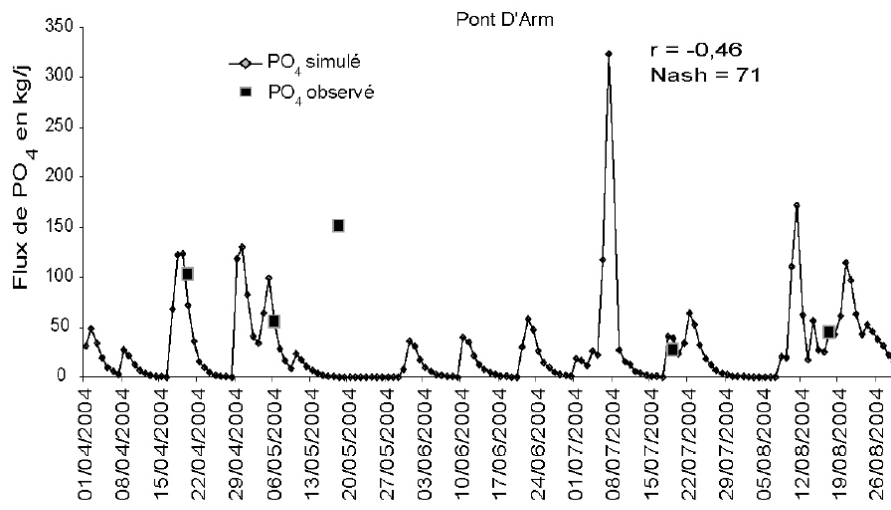
Sources: simulation AVSWAT, Ifremer

C. LOMAKINE - IMAR-2004 © LETG UMR 6554 - CNRS

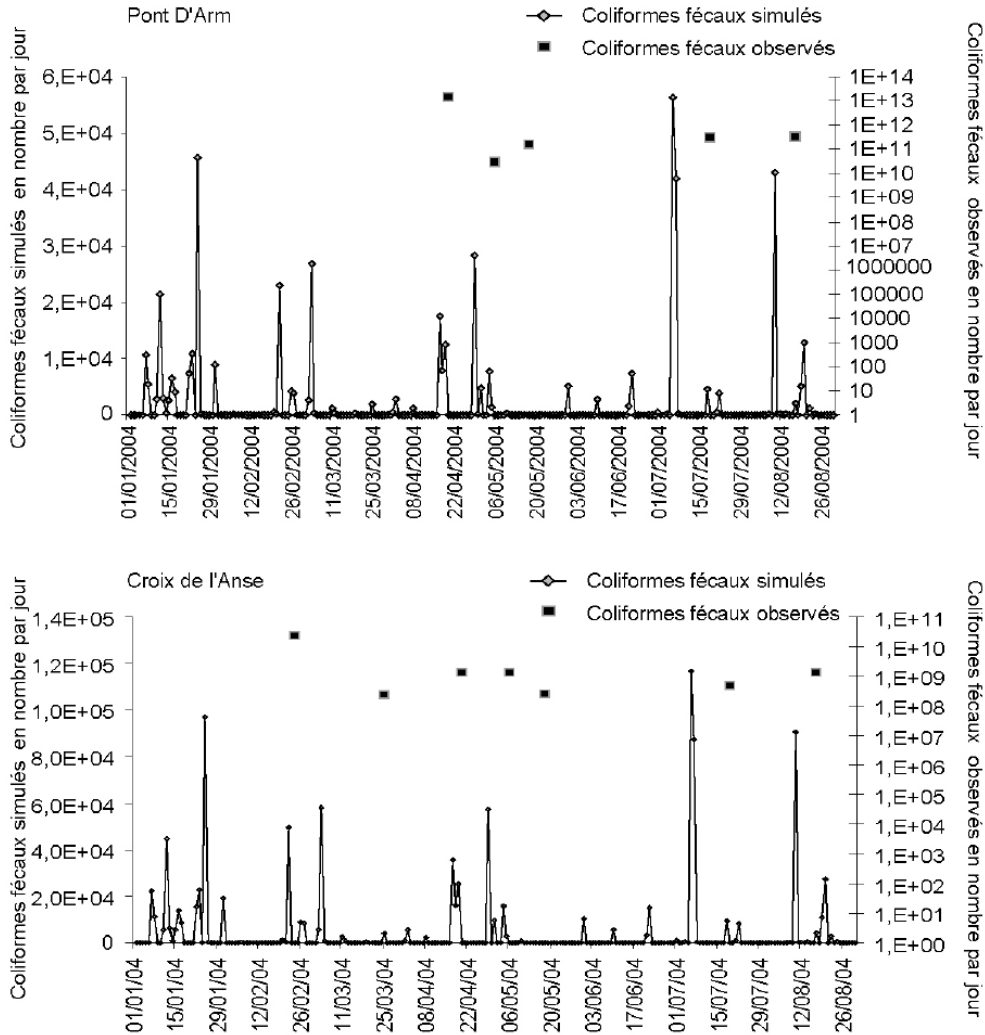
Calage des nitrates



Calage des phosphates



Calage des coliformes fécaux



C. LOMAKINE - IMAR-2004 © LETG UMR 6554 - CNRS

Avertissement : cette simulation présente des flux plus faibles que ceux observés. Les quantités de bactéries pouvant s'évacuer à travers un bassin versant n'étant pas correctement connu, cette donnée a été introduite dans le modèle de manière hypothétique. Une meilleure connaissance de ces bactéries générées par les surfaces urbaines et agricoles doit donc être acquise afin de mieux caler le modèle à l'amont.