

Direction de l'Environnement et de l'Aménagement Littoral
Laboratoire côtier de Saint-Malo

Patrick LE MAO
Aliette CONVENANT
Myriam RUMEBE
Claude LE BEC
Jean-Pierre ANNEZO

Juin 2002

APPORTS TERRIGENES DES EXUTOIRES DU MARAIS DE DOL



PREMIERES INVESTIGATIONS

Numéro d'identification du rapport : Diffusion : libre : <input type="checkbox"/> restreinte : <input checked="" type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/>		date de publication : janvier 2002
Validé par : Claude Le Bec Adresse électronique : Claude.Le.Bec@ifremer.fr		nombre de pages : 22 bibliographie : illustration(s) : langue du rapport : Français
Titre de l'article		
Contrat n° Rapport intermédiaire <input type="checkbox"/> Rapport définitif <input checked="" type="checkbox"/>		
Auteur(s) principal(aux) : LE MAO P., CONVENANT A., RUMEBE M., LE BEC C. et ANNEZO J.P.	Organisme / Direction / Service, laboratoire IFREMER/DOP/LER SM	
Encadrement(s) :		
Cadre de la recherche :		
Destinataire :		
APPORTS TERRIGENES DES EXUTOIRES DU MARAIS DE DOL : PREMIERES INVESTIGATIONS		
Abstract		
Mots-clés : Benthos Words keys		

APPORTS TERRIGENES DES EXUTOIRES DU MARAIS DE DOL PREMIERES INVESTIGATIONS

1- PROBLEMATIQUE

Les apports hydrologiques du marais de Dol se déversent en mer en suivant des biez, et sont tributaires de l'ouverture et de la fermeture de portes à marée.

Ces apports sont acheminés en mer par :

- 2 biez au niveau de Saint - Benoit des Ondes : le canal de allemands
le biez Brillant
- 4 biez au niveau du Vivier sur mer : le Cardequin
le Guyoult (2 points : amont et aval)
les Planches
la Banche

Le but de cette étude est de comprendre la dynamique de ces apports en mer, dont le rythme est commandé par l'ouverture et la fermeture des portes à marées. Cela nécessite de connaître l'évolution des teneurs des produits recherchés et des débits au cours d'un cycle d'ouverture des portes à marée et d'évaluer si les profils de flux sont constants ou soumis à des phénomènes aléatoires plus ou moins contrôlables.

2- PROTOCOLE.

2.1. LES PRELEVEMENTS

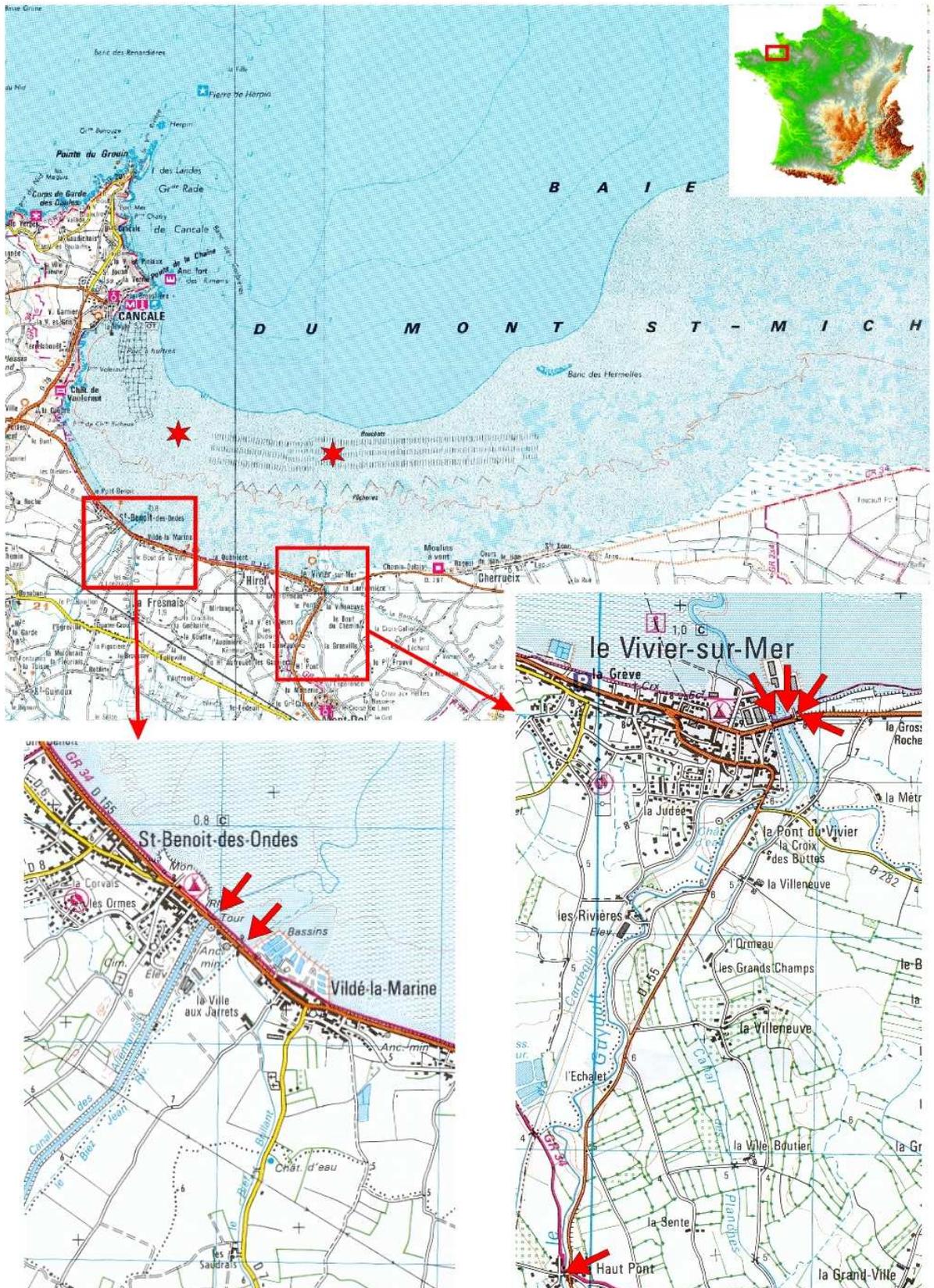
Sur chacun des 6 exutoires, trois prélèvements pour analyse des teneurs en coliformes fécaux thermotolérants et en sels nutritifs ont été effectués par campagne de mesures : un à l'ouverture des portes à marée, les autres 3 heures puis 6 heures après cette ouverture. Sur le Guyoult, un prélèvement a également été effectué au lieu-dit "Le Haut-Pont", très en amont des portes, environ 3 ou 4 heures après l'ouverture de celles-ci.

Des mesures de hauteur d'eau sur les échelles de crue ont été effectuées sur chaque cours d'eau au moment de l'ouverture des portes, puis suivant des périodicité variable:

- toutes les 30 secondes pendant 6 à 7 minutes pour bien comprendre les variations suivant l'ouverture des portes.
- à une ou deux reprises, au milieu et parfois à la fin des périodes de vidange.

Des mesures au débitmètre ont systématiquement été faites à chaque campagne au Haut-Pont sur le Guyoult. Chaque fois que cela était possible, la vitesse du courant a été mesurée a également été mesurée au niveau des exutoires, selon des périodicités variables selon les campagnes de prélèvements.

Localisation des points de mesures en baie du Mont Saint Michel



2.2. LES ANALYSES

Les paramètres mesurés ont été les coliformes fécaux thermotolérants ainsi que les sels nutritifs (nitrate, ammoniacque, phosphore et silice). Pour évaluer la variabilité des teneurs sur un cycle d'ouverture des portes, des prélèvements ont été effectués sur chaque exutoire à l'ouverture des portes, environ 3 heures puis 6 heures après l'ouverture.

2.2.1 Bactériologie (Coliformes fécaux thermotolérants)

Le dénombrement des coliformes thermotolérants s'est effectué sur microplaques MUG/EC. La technique détecte la présence d'*E. Coli* par une enzyme, la glucuronidase présente uniquement chez les *E. Coli*, les *Shigella* et les *Salmonella*. Le substrat déshydraté est le MéthylUmbelliferyl-D-Glucuronide, qui en présence de l'enzyme libère un composé fluorescent révélé dans l'ultraviolet (366 nm). Le dénombrement s'effectue selon la méthode NPP (présence ou absence selon les dilutions successives).

2.2.2. Nutriments

Les nutriments ont été dosés par spectrophotométrie colorimétrique (HACH). Le principe de cette technique est d'obtenir une réaction colorée par complexation de l'élément à doser, à un ligand. L'intensité de la coloration de la réaction dépend de la concentration de l'élément mesuré dans l'échantillon. Cette variation de coloration se traduit par une variation de l'absorbance qui est relié à la concentration par la loi de Beer-Lambert : $Abs = l \cdot C \cdot K$

La lecture s'effectue à une longueur d'onde déterminée en fonction de l'élément recherché (loi de Kirchoff) et la largeur de la cuve étant constante, on obtient une relation proportionnelle entre l'absorbance et la concentration. Ainsi, on a une droite d'étalonnage linéaire passant par l'origine.

L'appareil utilisé est un spectrophotomètre DR/2000 utilisant les méthodes HACH. L'appareil est réglé et calibré au préalable pour une centaine de composés. Chaque composé a un numéro de référence (donné par le constructeur) qui permet l'étalonnage automatique de la machine. Cependant, une vérification est nécessaire de temps en temps pour s'assurer de l'exactitude et de la précision de l'analyse. Un réglage de la longueur d'onde est nécessaire grâce à une molette. Le spectrophotomètre est aussi équipé d'une minuterie interne programmée permettant de surveiller les temps d'agitation et de réaction.

2.2.2.1. Nitrate

L'azote nitrique est dosé selon la méthode de réduction du nitrate au cadmium. La technique employée utilise les réactifs en gélules. Le cadmium métallique réduit le nitrate présent dans l'échantillon et le transforme en nitrite. Le nitrite réagit en milieu acide avec l'acide sulfanilique pour former un sel de diazonium. Ce sel réagit avec l'acide gentisique pour former un complexe coloré ambre. Le complexe coloré est dosé à 500 nm.

A 25 ml d'échantillon, placé dans un flacon colorimétrique, on ajoute le contenu d'une gélule de Nitra Ver 5. Il s'agit ensuite d'agiter pendant 1 minute et de laisser réagir pendant 5 minutes . On procède à un blanc de mesure avec de l'eau échantillonnée , puis à un dosage de la solution complexée. L'appareil indique la concentration en mg/l d'azote nitrique . Pour obtenir le résultat en mg/l de nitrate, le premier résultat est multiplié par 4,43 .

2.2.2.2. Ammoniaque

L'azote ammoniacal est dosé selon la méthode salicylate . La technique employée utilise aussi des réactifs en gélules. Les composés ammoniacaux se combinent avec le chlore pour former la monochloramine. Celle-ci réagit avec le salicylate pour former le 5-aminosalicylate. Ce composé est oxydé en présence d'un catalyseur au nitroprussiate pour former un complexe coloré bleu. Cette coloration est masquée par la couleur jaune du réactif en excès donnant une coloration finale verte. Le solution est dosée à 655 nm.

A 25 ml d'échantillon, placé dans une éprouvette bouchée, on ajoute une gélule de réactif salicylate. Une agitation de une minute est nécessaire pour dissoudre le réactif. On laisse réagir pendant 3 minutes puis on ajoute le contenu d'une gélule de cyanurate alcalin. On agite l'éprouvette pour dissoudre le réactif. 15 minutes sont ensuite nécessaire à la réaction. Le blanc de mesure est réalisé avec 25 ml d'eau désionisée auquel on fait subir le même protocole que l'échantillon. Contrairement aux nitrates, le réactif étant lui aussi coloré, on utilise comme blanc de l'eau désionisée à laquelle on ajoute les réactifs, de façon à supprimer l'absorbance dû à cette coloration. Après dosage, on obtient le résultat en mg/l d'azote ammoniacal . En multipliant par 1.29, le résultat est converti en mg/l de NH_4^+ .

2.2.2.3. Silice

La silice et le phosphate de l'échantillon réagissent avec l'ion molybdate du réactif pour former des complexes jaunes d'acide silicomolybdique et phosphomolybdique. L'addition d'acide citrique décompose préférentiellement le complexe du phosphate. La silice est alors déterminée en mesurant la coloration jaune restante. En raison de la sensibilité de l'analyse au réglage de la longueur d'onde, le chlorure d'holmium est utilisé pour régler celle-ci de façon reproductible. La solution est dosée à 452 nm.

2.3. EVALUATION DES DEBITS

Les débits sont mesurés à l'aide d'un débitmètre OTT à moulinet ; ils se font à chaque fois sur une section de chaque cours d'eau . Différentes vitesses de courant sont mesurées à différentes verticales de la section de la rivière, et à différentes profondeurs. La largeur du cours d'eau et la profondeur au niveau des verticales sont aussi notées. La forme et la composition du fond et des berges sont répertoriées. Toutes ces données subissent un traitement informatique sur les logiciels GWBASIC et JAPPIF pour en sortir le débit. La technique est à 0,77% d'erreurs de la valeur réelle (Boisset, 1991).

Au niveau des portes à marée, la section du cours d'eau a été estimée par lecture directe sur les échelles graduées disposées au niveau des portes. Ces lectures ont été faites sur tous les cours d'eau, excepté le biez Brillant où l'échelle s'est révélée fortement envasée.

3. LES RESULTATS

Il ne s'agit pas ici de présenter l'ensemble des résultats qui seront réunis sous forme de fichiers utilisables par les modélisateurs, mais de présenter quelques situations permettant de comprendre la cinétique des apports et sa variabilité temporelle, tant intra-journalière que saisonnière. Par ailleurs, nous ne nous intéresserons ici qu'aux apports des sels nutritifs, source de la production primaire en baie. Les données de bactériologie seront valorisées dans un autre contexte (programme apports à la mer côtière de l'IFREMER).

3.1. LES TENEURS EN SELS NUTRITIFS

En annexe, l'ensemble des mesures de sels nutritifs effectuées aux exutoires sont présentées par cours d'eau.

Les mesures sont regroupées par ensemble de 3 (rarement 2 ou 4) données correspondant aux trois séries effectuées sur chaque cours d'eau lors de chaque campagne (après l'ouverture des portes, puis 1h30 et 4 heures après).

Dans le cas des exutoires du Vivier-sur-Mer (Banche, Guyoult, Cardequin et Planches) les 7 séries de 3 mesures ont été effectuées les 19/04/2001, 21/05/2001, 19/07/2001, 17/09/2001, 14/11/2001, 14/01/2002 et 12/03/2002. Par contre, les exutoires de Saint-Benoît-des-Ondes n'ont pas été mesurés le 29/04/2001 et nous n'y disposons donc que de 6 séries de mesures.

L'analyse des histogrammes montre déjà quelques tendances générales :

- NO₃ : l'évolution des teneurs est similaire dans les six cours d'eau : après les maxima d'avril et mai 2001, il y a une décroissance généralisée et une stagnation à de très faibles valeurs de novembre 2001 à mars 2002. Ce comportement, très lié aux pluviométries, semble indiquer une origine principalement agricole des nitrates arrivant en baie par les exutoires du marais de Dol.
- NH₄ : les teneurs sont très variables, chaque cours d'eau ayant un comportement saisonnier différent pour l'ammoniaque.
- PO₄ : Les teneurs sont très variables d'un cours d'eau à l'autre (teneurs minimales dans le Guyoult et le canal des Allemands), mais présentent une évolution saisonnière comparable : teneurs maximales en juillet lors de la saison touristique, mettant sans doute en évidence un origine domestique des ces apports.
- SiO₂ : les teneurs sont sensiblement constantes autour de 20 mg/litre, avec quelques exceptions : baisse en juillet, sans doute à cause du développement de diatomées dans les cours d'eau ; très faibles valeur à l'ouverture des portes dans le Biez Brillant, sans doute à cause d'une dilution par des entrées importantes d'eau de mer (portes peu étanches).

3.2. LES DEBITS ET LES FLUX

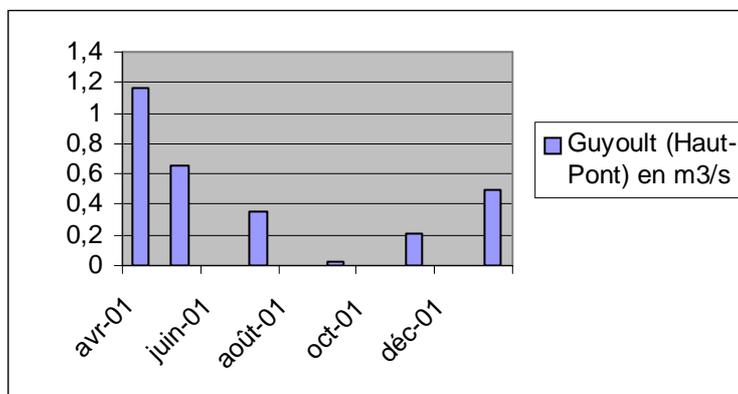
3.2.1. LE GUYOULT

Le Guyoult est très particulier parmi les cours d'eau débouchant en baie : il n'a aucune connexion fonctionnelle avec le marais de Dol, qu'il ne fait que traverser via un chenal aménagé. Son bassin versant de 105 km² en fait l'apport majeur de la partie bretonne de la baie avec le canal des Allemand.

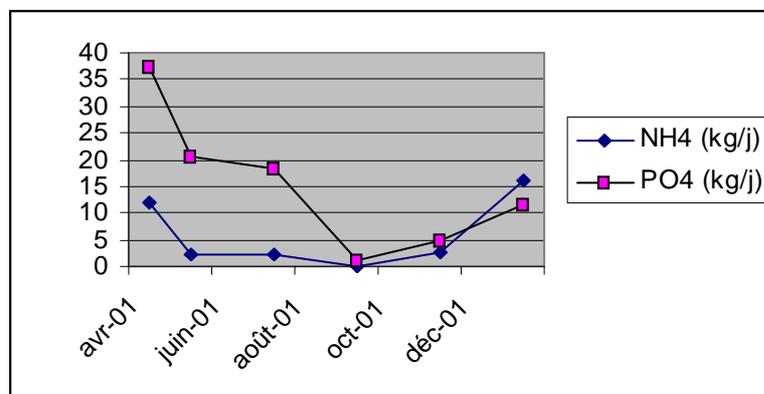
Les prélèvements et mesures ont été faits en deux endroits : à la porte à marée et au lieu-dit Le Haut-Pont. A ce dernier endroit, on peut considéré que l'écoulement est libre et non influencé par la fermeture des portes à marée, il n'existe pas d'affluents entre ce point et l'exutoire en mer.

3.2.1.1. Le Haut-Pont

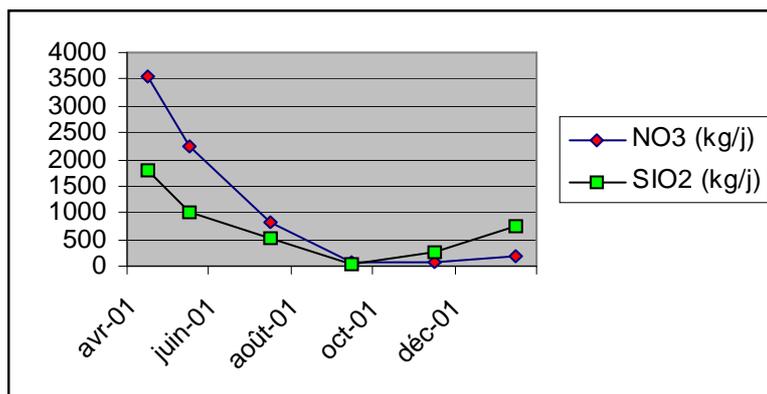
Les débits ont été mesurés au niveau du Haut-Pont (une mesure par campagne, environ 3h30 après l'ouverture des portes à marée). Les résultats obtenus montrent une nette variation saisonnière (figure ci-dessous).



Comme cela est classique sur les cours d'eau d'Ille-et-Vilaine coulant sur sol schisteux, un étiage sévère a été observé en fin d'été (29 litres/seconde !) alors que les « crues » sont nettement printanières (maximum mesuré de 1,17 m³/seconde en avril 2001). Les débits mesurés sur la période d'observation varient donc d'un facteur 40 entre crue et étiage...



Les flux d'ammoniaque culminent de 10 à 15 kg/jour au printemps et en hiver (avril 2001 et janvier 2002). A cette dernière saison les teneurs sont plus déterminantes que les débits pour expliquer ces flux, c'est le contraire au printemps. Les flux de phosphore sont, eux, plus dépendants du débit et atteignent un maximum de 37.4 kg/ jour en avril 2001.



Les flux quotidiens de nitrates et de silice sont beaucoup plus importants puisqu'ils atteignent respectivement 3500 et 1800 kg/jour en période de crue (avril 2001). Les apports sont très dépendants des conditions de débit, plus particulièrement pour la silice dont les teneurs sont assez stables au long de l'année.

3.2.1.2. La porte à marée.

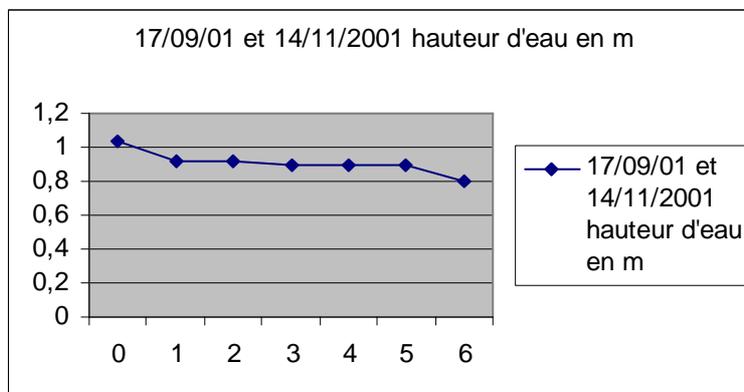
Il n'y a pas eu de mesures de vitesse de courant au niveau des portes à marée du Guyout. La cinétique de vidange a été estimée par lectures sur l'échelle de crue. La cote du radier des portes (0,7 m NGF ne correspond pas à celle du zéro de l'échelle de crue qui se situe à 1,1 m NGF. Il faut donc rajouter 0,40 m à la hauteur lue pour avoir la hauteur d'eau réelle au dessus du radier. Le biez possède deux portes à marée de 2,5 m de large chacune (photo ci-dessous) :



Les portes à marée du Guyout (photo D. Gerla)

Les hauteurs d'eau varient rapidement sur ce cours d'eau qui ne possède pas de fortes capacités de stockage (pas de zone inondable dans le marais) et dont les capacités d'écoulement à la mer sont importantes grâce aux deux portes à marée.

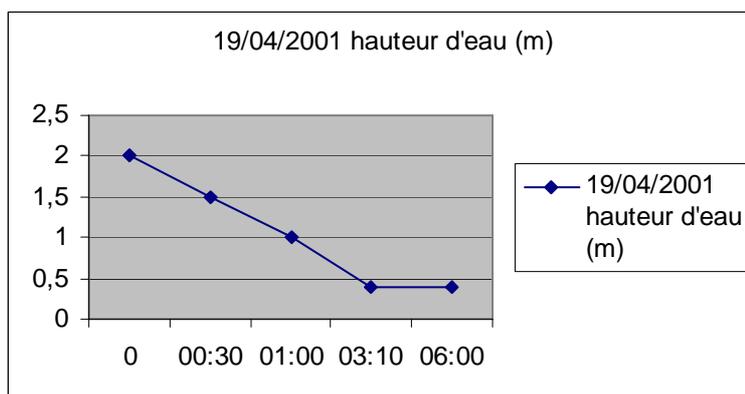
Les 17/09/2001 et 14/11/2001, les évolutions des hauteurs d'eau au dessus du radier ont été strictement identiques pendant les six premières minutes suivant l'ouverture des portes (figure ci dessous).



Après la décroissance observée pendant la première minute, le niveau se stabilise pendant les 4 minutes suivantes, pour lentement décroître à partir de la cinquième minute.

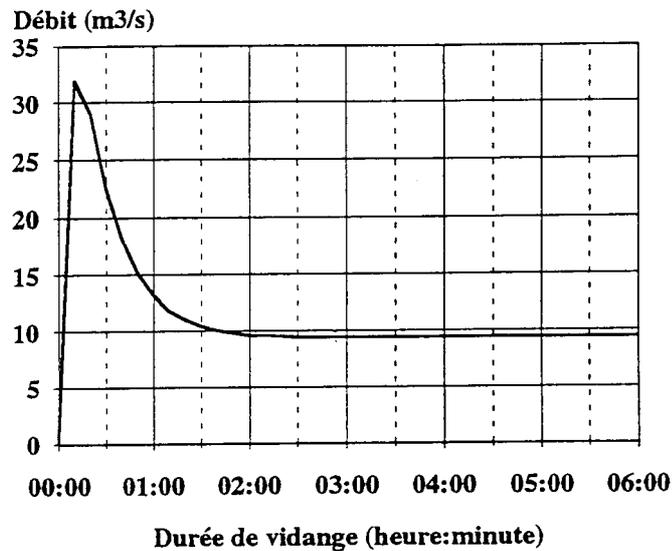
Cette décroissance dure jusqu'à atteindre le niveau dû aux seuls apports de la rivière (débit stabilisé). Le 17/09/2001, 3h15 après l'ouverture des portes, le niveau s'est stabilisé à 0,10 m pour un débit de la rivière de 29 litres par seconde mesuré au Haut-Pont (étiage sévère). Ceci suppose une vitesse de courant d'environ 0.058 m/seconde au niveau des portes à ce moment là.

Le 19/04/2001 (figure ci dessous) le niveau s'est stabilisé entre deux et trois heures après l'ouverture des portes, à 0,40 m au dessus du niveau du radier, pour un débit mesuré au Haut-Pont de 1,17 m³/seconde (crue). La vitesse de courant devait alors être d'environ 0,585 m/seconde au niveau des portes à marée.



Le profil proposé par modélisation par SAUNIER TECHN/SEEG (1996) semble présenter quelques différences par rapport aux observations de terrain (figure ci dessous).

Le Guyoult



En effet, si la phase de stabilisation au niveau du débit de la rivière intervient bien environ deux heures après l'ouverture des portes, les phases précédentes ne semblent pas correspondre : la montée en puissance du débit suivie d'une rapide décroissance semble plutôt être un plateau d'une dizaine de minutes suivi d'une lente décroissance. Toutefois, pour le confirmer il faudrait simultanément mesurer les vitesses de courant et la hauteur d'eau sur l'échelle de crue.

Quoiqu'il en soit, pour estimer les apports à la baie, il faudra, suivant les échelles de modélisation, prendre en compte :

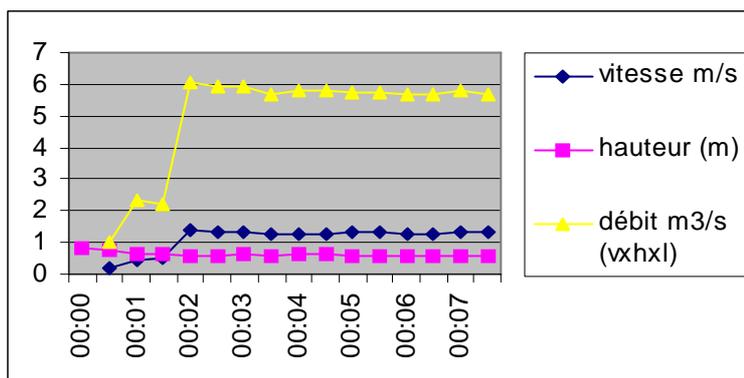
- les évaluations faites au niveau du Haut-Pont lors des simulations sur le moyen et le long terme (de plusieurs jours à plusieurs mois ou années).
- Les cinétiques évaluées au niveau des portes à marées pour une simulation fine sur une journée ou quelques jours.

3.2.2. LE CANAL DES ALLEMANDS

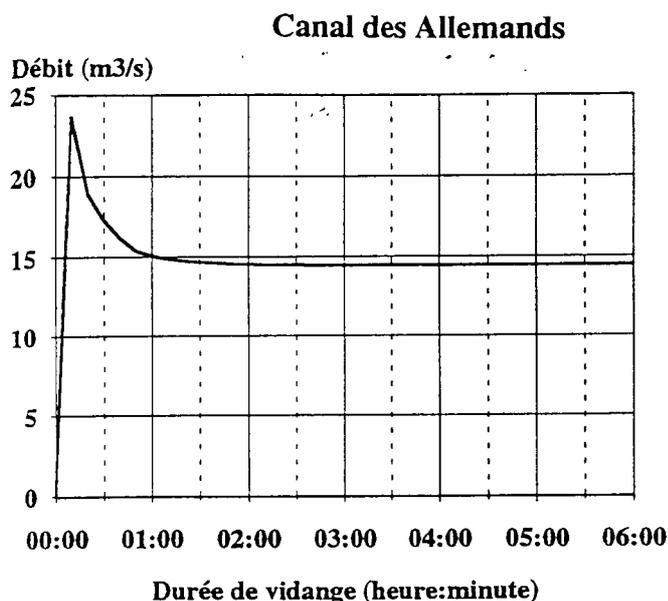
Pour ce cours d'eau, les mesures et prélèvements n'ont été effectués qu'au niveau des portes à marée.

3.2.2.1. Estimation des débits.

Pour estimer les débits, des mesures de vitesse de courant ont été faites au niveau de la porte après son ouverture, en même temps que les hauteurs d'eau étaient notées sur l'échelle de crue située à ce niveau. La cote du radier de la porte à marée (0,3 m NGF) étant la même que celle du zéro de l'échelle de crue, les hauteurs d'eau mesurées à l'échelle étaient directement utilisables pour l'évaluation du débit.



Le 14/01/2002, après l'ouverture des portes, les débits ont augmenté pendant les deux premières minutes pour atteindre un plateau qui a duré pendant les six minutes suivantes (figure ci dessus). Après 4 heures d'écoulement, le débit était revenu à 0,9 m3/seconde, correspondant sans doute au débit stabilisé de la rivière, une fois l'eau stockée éliminée. Ce profil correspond à celui suspecté sur le Guyoult et ne recoupe pas les premières phases de la modélisation proposée par SAUNIER TECHNIA/SEEG (1996), présentée sur la figure ci-dessous :



3.2.2.2. Estimation des flux

Les estimations de flux instantanés faites le 14/01/2002 à deux moments de la période d'ouverture des portes montrent des fortes variations (tableau ci-dessous).

14/01/02	NH4 (g/seconde)	NO3 (g/seconde)	PO4 (g/seconde)	SIO2 (g/seconde)
11:25	7.97	10.18	5.54	148.16
15:05	1.69	2.28	0.79	20.1

Peu après l'ouverture des portes les flux sont importants car ils correspondent à l'élimination des volumes accumulés pendant la coupure du cours d'eau avec la mer. A 15h05, le flux correspond à celui du cours d'eau sur son débit stabilisé.

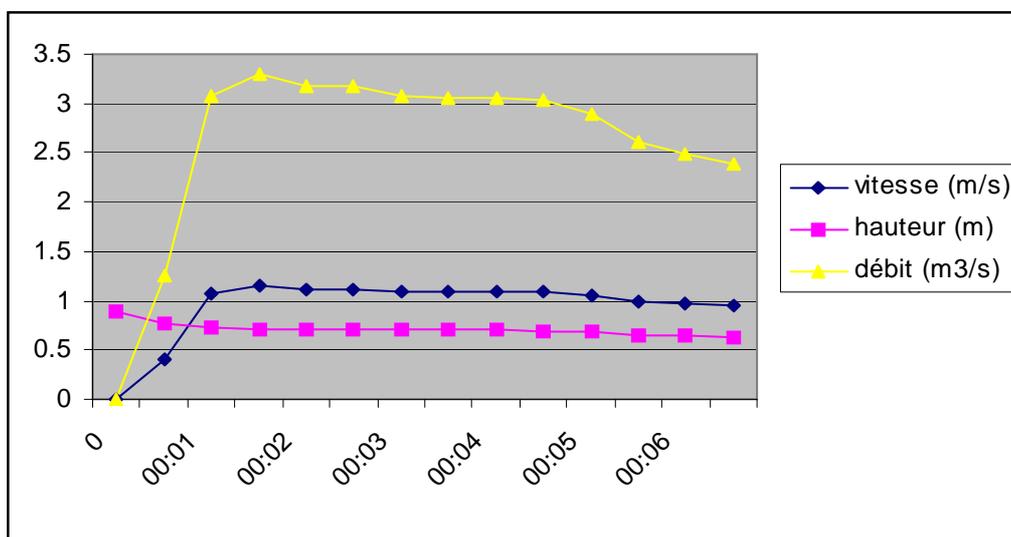
L'effet de chasse qui suit l'ouverture des portes a autorisé des flux instantanés supérieurs de 4 (NH4) à 7 fois (PO4 et SIO2) le flux instantané apporté par le cours d'eau une fois son débit stabilisé... De telles variations sont importantes à prendre en compte lors de modélisation à l'échelle de la journée. Par contre, pour des modélisations sur de plus longue durée, le flux mesuré lors du débit stabilisé (3 à 4 heures après l'ouverture des portes) sont un bon indicateur des apports journaliers: le 14/01/2002 ceux ci pouvaient être estimés en multipliant les flux instantanés de 15h05 par 86400 (tableau ci-dessous)

14/01/02	NH4 (kg/jour)	NO3 (kg/jour)	PO4 (kg/jour)	SIO2 (kg/jour)
	146	197	68	1737

3.2.3. LA BANCHE

3.2.3.1. Les débits

Les débits à l'exutoire ont été estimés le 14/01/2002 (figure ci-dessous). Contrairement aux deux cours d'eau principaux, le Guyoult et le canal des Allemands, il n'y a pas de plateau mais une nette décroissance des flux dans les premières minutes suivant l'ouverture des portes, conformément à la modélisation proposée par SAINIER TECHNA/SEEG (1996).



Trois heures après l'ouverture des portes, le débit n'atteignait plus qu' 1 m3/seconde, ce qui correspond au débit stabilisé du cours d'eau selon les modélisations de SAUNIER TECHNA/SEEG (op. cit.).

3.2.3.2. Les flux.

Des flux instantanés ont été calculés lors du débit stabilisé (3 heures après l'ouverture des portes) le 14/01/2002 (tableau ci-dessous):

	NH4 (mg/s)	NO3 (g/s)	PO4 (mg/s)	SIO2 (g/s)
14/01/02	260	2.4	1380	40

Ces chiffres correspondent à une période d'étiage et les flux restent à estimer sur des cycles de crue et des périodes intermédiaires.

4 DISCUSSION

Les données acquises restent bien incomplètes et des flux instantanés de sels nutritifs restent à acquérir sur la plupart des cours d'eau, sur plusieurs cycles saisonniers. Les mesures devront être faites 3 à 4 heures après l'ouverture des portes lorsque les débits des cours d'eau sont stabilisés au niveau des portes.

Des profils d'évolution des débits sont également à acquérir sur des cycles de vidange complets, au moins sur les biez principaux, pour décrire au mieux l'évolution des flux sur une journée.

Enfin, il faudrait prendre en compte la pénétration d'eau salée dans les biez pendant la fermeture des portes car celles-ci ne sont pas aussi étanches que souhaitées. Pour figurer ce phénomène, quelques mesures ont été effectuées le 14/01/2002 qui montrent que ce phénomène est loin d'être anecdotique en période d'étiage mais reste entièrement à évaluer.

5 EVOLUTION

A terme, le suivi devrait être repris par le conseil général 35 qui souhaite instrumentaliser les prélèvements et automatiser les portes à marée. Il n'en reste pas moins que l'extrême variabilité des apports par les exutoires du marais de Dol, au cours d'un cycle d'ouverture des portes à marées, pose un certain nombre de problèmes non encore résolus qui ne permettent pas la mise en place d'un protocole simple et fiable de prélèvement automatique. En effet, les pratiques d'irrigation des cultures avec l'eau des biez est de nature à perturber les débits de façon plus ou moins aléatoire et non reproductible dans un modèle.

6 BIBLIOGRAPHIE

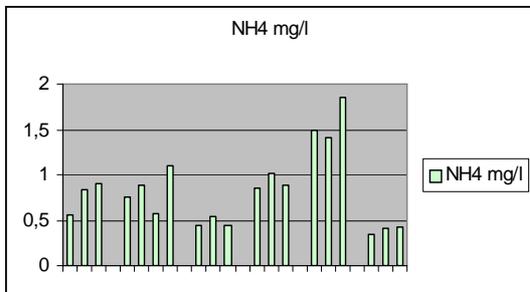
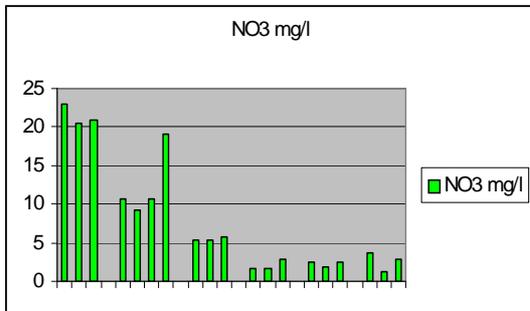
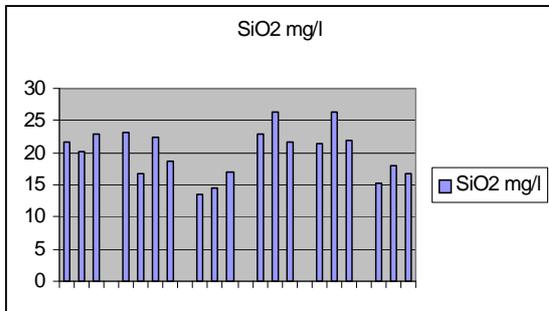
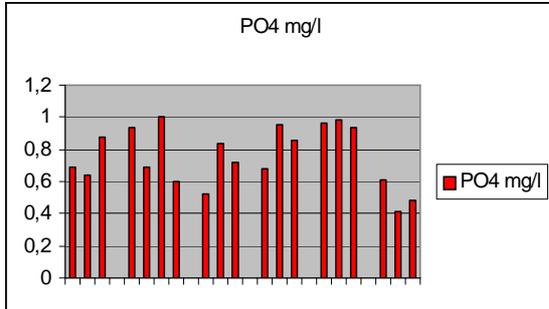
SAUNIER-TECHNA/SEEGT (1996) – *Etude hydrologique du bassin versant littoral et optimisation du fonctionnement hydraulique du marais de Dol*. Rapport SAUNIER/SEEGT, Conseil général 35.

VEDIEU C., ROUSSEL A., JEAN A., YVER F. et FEENY V. (1998) – *Etude méthodologique d'évaluation des flux polluants en baie du Mont-Saint-Michel : rapport de phase2, définition d'une méthodologie*. Rapport B.E.T. SOGETI/Commission interbassin de la baie du Mont-Saint-Michel, 100 p. et annexes.

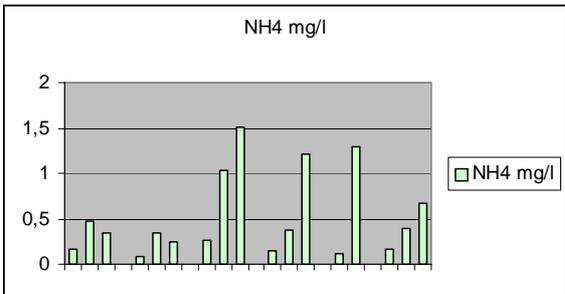
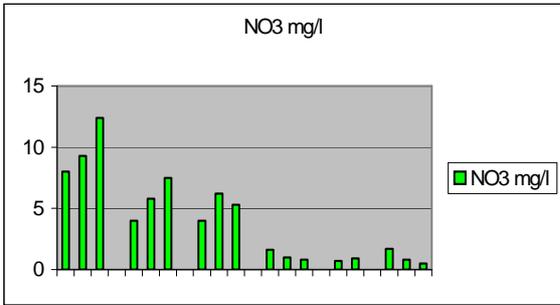
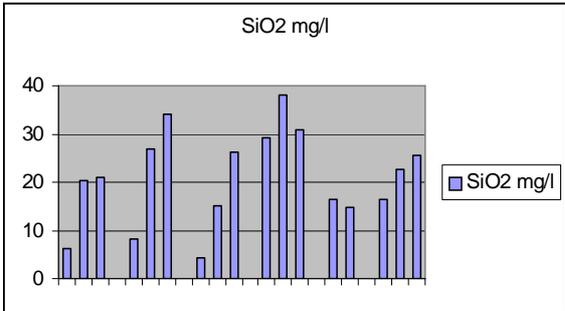
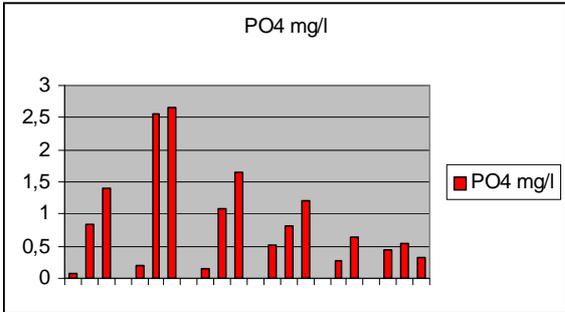
ANNEXES

TENEURS EN SELS NUTRITIFS LORS DES PRELEVEMENTS EFFECTUES SUR LES EXUTOIRES DU MARAIS DE DOL

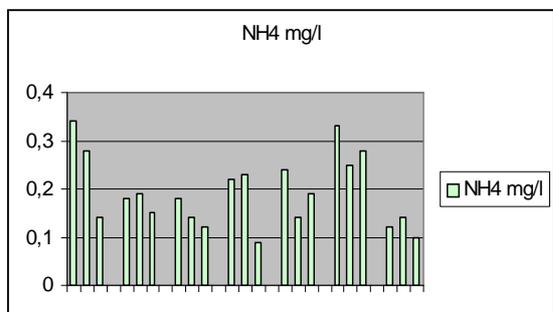
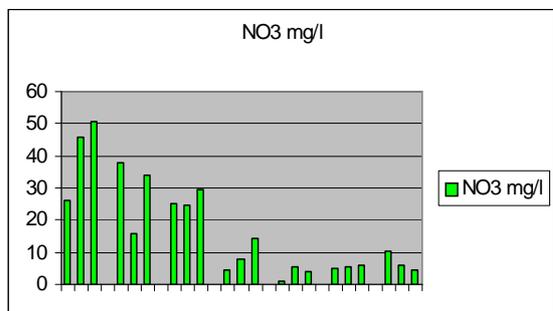
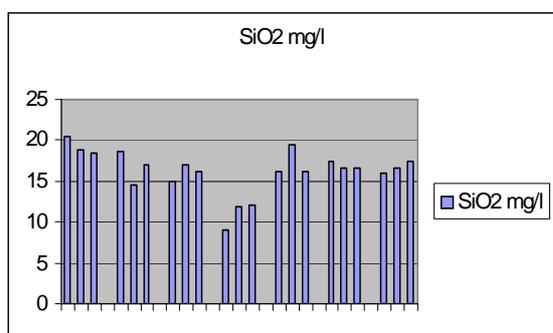
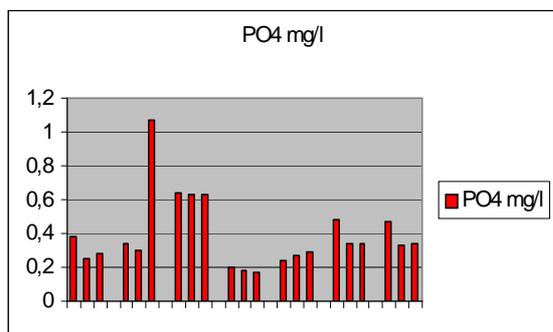
CANAL DES ALLEMANDS



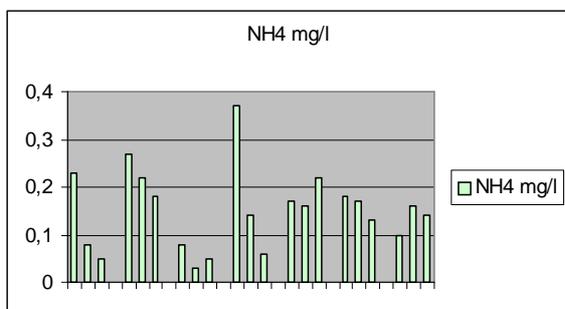
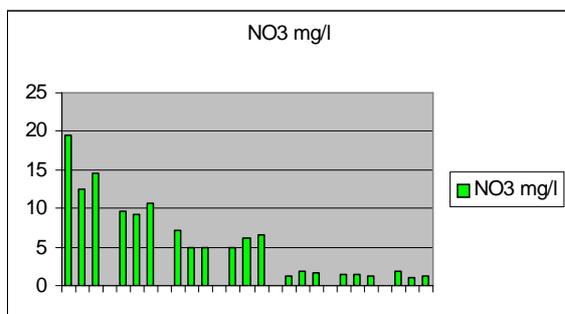
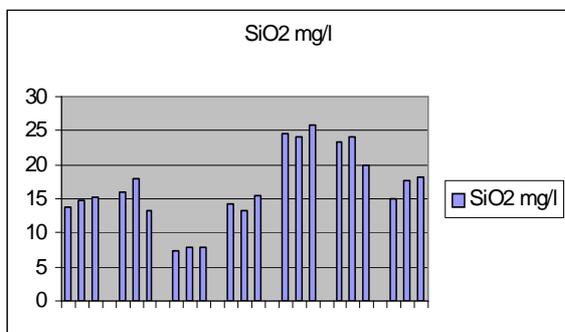
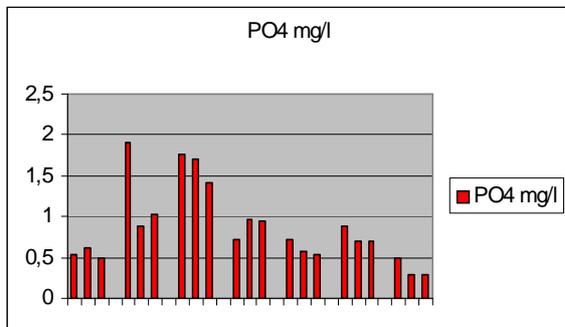
BIEZ BRILLANT



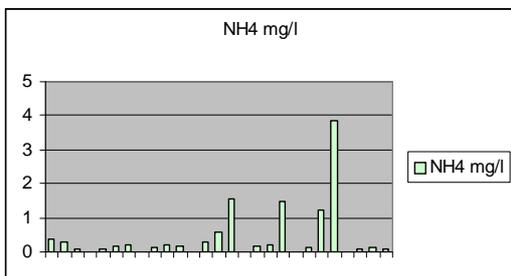
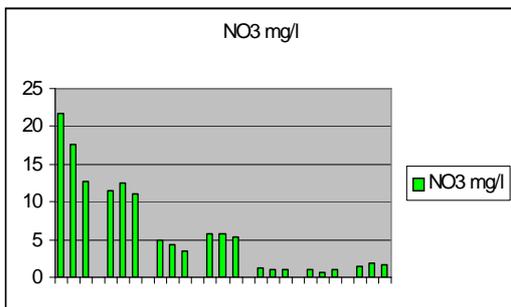
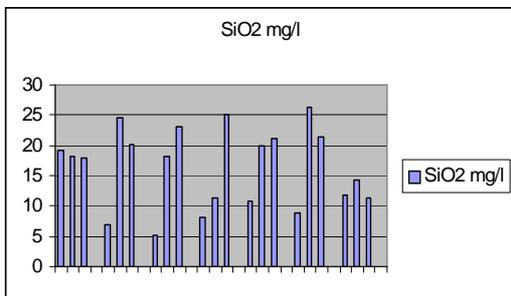
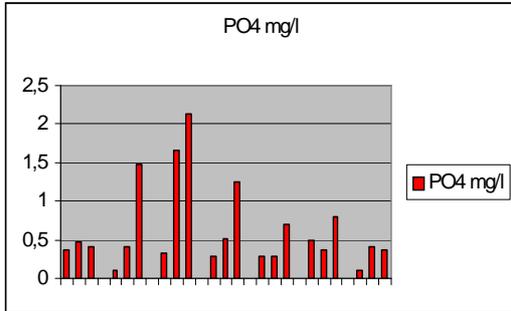
GUYOULT



BANCHE



PLANCHES



CARDEQUIN

