

# DEVELOPPEMENT ET EXPLOITATION D'UN MODELE HYDROSEDIMENTAIRE EN TROIS DIMENSIONS SUR L'ESTUAIRE DE LA LOIRE

Lot 1 : Construction et exploitation du modèle

Phase1 : Construction du modèle

Calage couplé  
1711822 R8

Décembre 2009

Programme de restauration de l'estuaire en aval de Nantes - études préalables à la tranche expérimentale - Année 2008



Financé cofinancé par l'Union européenne.  
L'Europe s'engage en faveur de la Loire avec le Fonds européen de développement régional.



Établissement public du ministère  
chargé du développement durable





## PROGRAMME DE RESTAURATION DE LA LOIRE ESTUARIEENNE EN AVAL DE NANTES

### DEVELOPPEMENT ET EXPLOITATION D'UN MODELE HYDROSEDIMENTAIRE EN TROIS DIMENSIONS SUR L'ESTUAIRE DE LA LOIRE

---



LOT 1 – PHASE 1

Calage couplé

DECEMBRE 2009

1 71 1822 R8

Suivi des versions

Définitif	décembre 2009	RWR	V2 – corrections de mise en forme après relecture par le GIP LE
Définitif	décembre 2009	RWR	V1
<b>VERSION</b>	<b>DATE</b>	<b>AUTEUR</b>	<b>COMMENTAIRES</b>

## SOMMAIRE

---

OBJET DE L'ETUDE .....	1
SYNTHESE ET CONCLUSIONS .....	3
1. INTRODUCTION .....	1
1.1. CADRE DU CALAGE .....	1
1.2. SCHEMATISATION DES FONDS DURS .....	2
2. CALAGE SUR LA PERIODE DE CINQ MOIS.....	3
2.1. PARAMETRES UTILISES ET VALEURS RETENUES POUR LE CALAGE.....	3
2.1.1. CALAGE EN CRUE (PEU D'INFLUENCE DE LA CREME DE VASE).....	3
2.1.2. CALAGE SUR LES AUTRES DEBITS .....	5
2.2. RESULTATS HYDRODYNAMIQUES DU CALAGE .....	7
2.3. RESULTATS DU CALAGE COUPLE EN SALINITE ET MES .....	7
3. VERIFICATION SUR LA CRUE DE JANVIER 2004 .....	9
3.1. ANALYSE DE PROFILS VERTICAUX A MONTOIR .....	9
3.1.1. COMPORTEMENT HEURE/ HEURE POUR DIFFERENTES CONDITIONS .....	9
3.1.2. COMPARAISON AUX PROFILS VERTICAUX DE VITESSES A MONTOIR .....	10
3.1.3. COMPARAISON AUX PROFILS VERTICAUX DE SALINITE DANS L'ESTUAIRE .....	11
FIGURES NUMEROTEES PAR CHAPITRE .....	13

## LISTE DES TABLEAUX

---

TABLEAU 1 - FROTTEMENT UTILISE EN CALAGE SIMPLE (HORS CREME DE VASE) .....	4
TABLEAU 2 - FROTTEMENT UTILISE EN CALAGE COUPLE (HORS CREME DE VASE) .....	4

## LISTE DES FIGURES

---

FIG. 1.	SCHEMATISATION DE LA PRISE EN COMPTE DU DEPOT DE VASE SUR LE FROTTEMENT .....	5
FIG. 2.	RESULTAT DE LIGNE D 'EAU A CORDEMAIS EN UTILISANT UNE FENETRE GLISSANTE DE 12H30 SUR LES DEPOTS ET SANS FENETRE GLISSANTE .....	6
FIG. 3.	RESULTAT DE LIGNE D 'EAU A CORDEMAIS EN UTILISANT UNE FENETRE GLISSANTE DE 2 HEURES SUR LES DEPOTS ET SANS FENETRE GLISSANTE .....	6

---

## OBJET DE L'ETUDE

---

Par marché attribué le 29 août 2008, Le GIP Loire Estuaire a confié à SOGREAH une étude portant principalement sur le développement et l'exploitation d'un modèle hydro-sédimentaire en trois dimensions sur l'estuaire de la Loire dans le cadre de son « Programme de restauration de la Loire estuarienne en aval de Nantes ». Ce marché comprend également des prestations d'études de scénarios et de leviers d'aménagement s'appuyant sur ce modèle.

Cette mission confiée par le GIP Loire Estuaire à SOGREAH comprend, en lot 1, la construction et l'exploitation d'un modèle 3D de l'estuaire de la Loire. La phase 1 de ce lot consiste notamment à réaliser la construction et le calage de ce modèle.

Ce second rapport rend compte du calage couplé dans lequel le frottement appliqué sur les fonds est estimé localement en chaque point de calcul en fonction du dépôt de vase calculé simultanément. Le frottement est alors complètement couplé au dépôt.





---

## SYNTHESE ET CONCLUSIONS

---

La construction du modèle couplé a consisté à introduire un fond dur (schématisé) dans le modèle précédent, à lui attacher une carte de frottement fixe et à calculer la rugosité des fonds à chaque pas de temps en prenant en compte les dépôts de vase calculés par le modèle au pas de temps précédent. Ainsi, le modèle couplé devient complètement indépendant de l'état actuel et le frottement est complètement dépendant du dépôt local de vase calculé.

Le calage de ce modèle couplé s'est effectué sur une période de 5 mois. Il a permis de montrer que sur cette période, les niveaux d'eau sont retrouvés de façon très correcte pour toute la gamme de débit simulée. Les résultats sédimentologiques sont même améliorés en termes de remontée de sédiment dans l'estuaire interne par rapport au calage simple.

La vérification sur la crue de janvier 2004 montre que l'apport de la sédimentologie dans les calculs permet :

- une diminution des vitesses dans la zone chargée en sédiment,
- une augmentation de l'intrusion saline.

Dans l'estuaire interne, les profils de MES sont bien représentés (principalement en basse mer) et un peu chargés à pleine mer. L'épaisseur d'eau chargée ayant une concentration plus importante que 2 g/l semble par contre plus importante en nature (environ 2 mètres de plus)

Dans l'estuaire externe, les profils de MES sont plus chargés dans le modèle qu'en nature certainement du fait de l'initialisation.

Le modèle couplé donne au final des résultats similaires ou améliorés par rapport au calage simple sur l'état actuel. Le modèle couplé étant totalement indépendant de l'état actuel, il peut être exploité sur des scénarios faisant intervenir des modifications majeures de la morphologie de l'estuaire.



---

## 1. INTRODUCTION

---

### 1.1. CADRE DU CALAGE

Dans le cadre de cette étude deux types de modèles sont construits :

- **Un modèle dit « général »** mis en place dans le lot 1, qui permettra de simuler la dynamique estuarienne à l'échelle de l'estuaire.
- **Un modèle dit « raffiné »** mis en place dans pour le lot 2 qui basé sur le modèle général viendra raffiner la zone d'intérêt ce qui permettra de fournir des résultats à l'échelle estuarienne et des résultats à l'échelle du levier.

**Ce rapport fait référence au modèle « général »** de la Loire dans son état actuel, c'est-à-dire le modèle conçu pour le « Lot 1 ». Tout au long de cette note, il sera simplement nommé le « modèle ».

Il est prévu d'effectuer deux types de calage sur ce modèle :

- **Un calage dit « simple »** : le calage dit simple signifie que le frottement appliqué dans l'estuaire est appliqué en fonction de la position connue de la crème de vase pour un débit donné. Ce modèle est une première étape de calage, et les résultats de ce modèle ne sont valables que si la géométrie et la bathymétrie utilisées de l'estuaire ne modifient pas fortement la position de la crème de vase connue dans l'état actuel.
- **Un calage dit « couplé »** : ce qui signifie que le frottement lié à la crème de vase est appliqué localement en chaque point de calcul en fonction du dépôt de vase. Le frottement est alors complètement couplé au dépôt. Ce modèle est alors complètement exploitable pour n'importe quelle configuration de l'estuaire.

#### **Ce rapport fait référence au calage « couplé »**

Le modèle global a été calé en hydrodynamique, salinité et MES en calage simple (rapport de calage simple 1711822-R1) sur une période longue de 5 mois. Un test de sensibilité sur la profondeur du chenal de navigation en calage simple a montré l'importance de la prise en compte de la bonne cote des fonds durs pour continuer l'étude.

Nous avons donc profité du calage couplé pour introduire les 'fonds durs' (Mesuris 2008) de façon schématique dans la bathymétrie du modèle. Le calage s'est effectué la période de 5 mois utilisée lors du calage simple : voir

chapitre 2. La vérification du calage s'est effectuée sur la crue de janvier 2004: voir chapitre 3.

## 1.2. SCHEMATISATION DES FONDS DURS

Le différentiel entre les levés 'Mesuris 2008' qui sont le plus représentatifs des 'fonds durs' et le MNTU 2002 étendu a été reporté dans le modèle sous forme de 6 zones schématiques avec un abaissement caractéristique : **figures 1.1 à 1.4**

Zone 1 : Pk -15 à -2, abaissement de 0,75m sous la cote -10mCM

Zone 2 : Pk -2 à 9.5, abaissement de 1,55m sous la cote -10mCM

Zone 3 : Pk 11.5 à 18, abaissement de 0.5m sous la cote -4mCM

Zone 4 : Pk 24 à 36, abaissement de 0,75m sous la cote -4mCM

Zone 5 : Pk 41.5 à 44.5, abaissement de 0,5m sous la cote -4mCM

Zone 6 : Pk 45.5 à 51.5, abaissement de 1m sous la cote -4mCM

---

## 2. CALAGE SUR LA PERIODE DE CINQ MOIS

---

Le calage du modèle se fait obligatoirement sur une période longue, pour avoir une expulsion suffisante des conditions initiales en sédiment et une mise en régime de la dynamique estuarienne. Le test de 5 mois utilisé en calage simple est donc repris dans le cas du calage couplé.

### 2.1. PARAMETRES UTILISES ET VALEURS RETENUES POUR LE CALAGE

Pour caler le modèle, nous travaillons sur plusieurs paramètres à la fois :

- Le frottement de l'estuaire sans vase (correspondant à un frottement lorsque la crème de vase est expulsée en crue),

Il faut noter que le calage du frottement dans ce cas devrait être le même qu'en calage simple, puisque la crème de vase est expulsée en crue. Cependant, l'approfondissement du chenal de navigation en tenant compte des fonds durs issus des levés Mesuris, et la correction du placement du marégraphe de Nantes à Chantenay (voir rapport calage simple 1711822-R1) impliquent de réelles modifications sur :

- la diminution locale du frottement suivant la hauteur de dépôt des vases,
- la définition de la hauteur de dépôt à prendre en compte.

#### 2.1.1. CALAGE EN CRUE (PEU D'INFLUENCE DE LA CREME DE VASE)

Si l'on récapitule dans un tableau les frottements appliqués dans le calage simple en l'absence de vase on obtiendrait (fonds 2002 basés sur le toit de la crème de vase et marégraphe de Nantes placé à Nantes Belem au lieu de Chantenay Usine Brulée.) :

PK/débits	125 m3/s	200 m3/s	800 m3/s	2000 m3/s	4000 m3/s	frottement
AVAL	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	nikuradse
PK11	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	nikuradse
PK13	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	nikuradse
PK14.5-10m	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	nikuradse
PK14.5	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	nikuradse
PK25	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	nikuradse
PK38	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	nikuradse
PK52	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	nikuradse
PK52.75	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	nikuradse
PK53	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	nikuradse
PK53.75	0.4	1	0.4	0.4	1	nikuradse
PK56	0.8	2	0.8	0.8	2	nikuradse
PK56.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.1	nikuradse
PK61	0.6	0.6	0.6	0.6	0.1	nikuradse
PK61+10m	23	23	27	27	33	Strickler
PK62.5	23	23	27	27	33	Strickler
PK70.5	23	23	27	27	33	Strickler
PK72	90	60	42	40	51	Strickler
AMONT	90	60	42	40	51	Strickler

Tableau 1 - FROTTEMENT UTILISE EN CALAGE SIMPLE (HORS CREME DE VASE)

Le tableau actualisé en tenant compte des modifications de fond et de placement de marégraphe donne :

Pks/débits	125	200	800	2000	4000	frottement
AVAL	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	nikuradse
PK14.5	<b>0.002</b>	<b>0.002</b>	<b>0.002</b>	<b>0.002</b>	<b>0.002</b>	nikuradse
PK25	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	nikuradse
PK38	<b>0.2</b>	<b>0.2</b>	<b>0.2</b>	<b>0.2</b>	<b>0.2</b>	nikuradse
PK52.75	<b>0.35</b>	<b>0.35</b>	<b>0.35</b>	<b>0.35</b>	<b>0.35</b>	nikuradse
PK53.75	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	nikuradse
PK61	0.6	0.6	0.6	0.6	<b>0.6</b>	nikuradse
PK61+10m	23	23	27	27	<b>30</b>	strickler
PK70.5	23	23	27	27	<b>30</b>	strickler
PK72	42	42	42	<b>42</b>	<b>42</b>	strickler
AMONT	42	42	42	<b>42</b>	<b>42</b>	strickler

Tableau 2 - FROTTEMENT UTILISE EN CALAGE COUPLE (HORS CREME DE VASE)

En gras sont indiquées les valeurs qui ont été modifiées par rapport au calage simple.

Pour la partie amont à Nantes : Pk 53 à la partie la plus amont, il s'agit d'une réharmonisation (demande suite à la réunion d'expert du 15/05/2009) des frottements en fonction des débits (qui n'est pas due au calage couplé). En effet, il a été montré dans le calage simple, que pour certains débits, des frottements assez irréalistes ont du être appliqués à l'amont pour caler sur les lignes d'eau. Manifestement, cela montrait une incohérence de la bathymétrie modélisée et de la ligne d'eau mesurée (avec principalement un effet d'incision du lit à l'étiage). Le respect du volume oscillant étant plus important que le résultat de la ligne d'eau à l'amont pour l'objectif fixé à ce modèle, un frottement cohérent a été privilégié.

Pour la partie aval de Nantes, il s'agit d'une augmentation du frottement par rapport au calage simple, principalement due au fait que le chenal de navigation a été rabaissé et que le marégraphe de « Nantes » se positionne à Chantenay et non à Nantes Belem.

### 2.1.2. CALAGE SUR LES AUTRES DEBITS

Sur les débits inférieurs aux débits de forte crue, l'influence de la crème de vase sur les niveaux d'eau se fait ressentir de manière plus importante. C'est à cette étape que les paramètres d'interaction dépôt de crème de vase et frottement peuvent être réglés.

Les valeurs retenues suite au calage sont :

- Le frottement de la vase est fixé à un  $k_s$  de  $2.10^{-5}$ , comme dans le calage simple. La hauteur de dépôt qui est prise en compte correspond aux 12 premières couches de sédiment (40g/l à 300g/l) correspondant à la crème de vase liquide plus la crème de vase dite « stricto-sensu ».
- L'influence de la vase sur le frottement est prise en compte à partir de 0,5 cm de dépôt et l'influence est totale au dessus de 1 cm de dépôt.

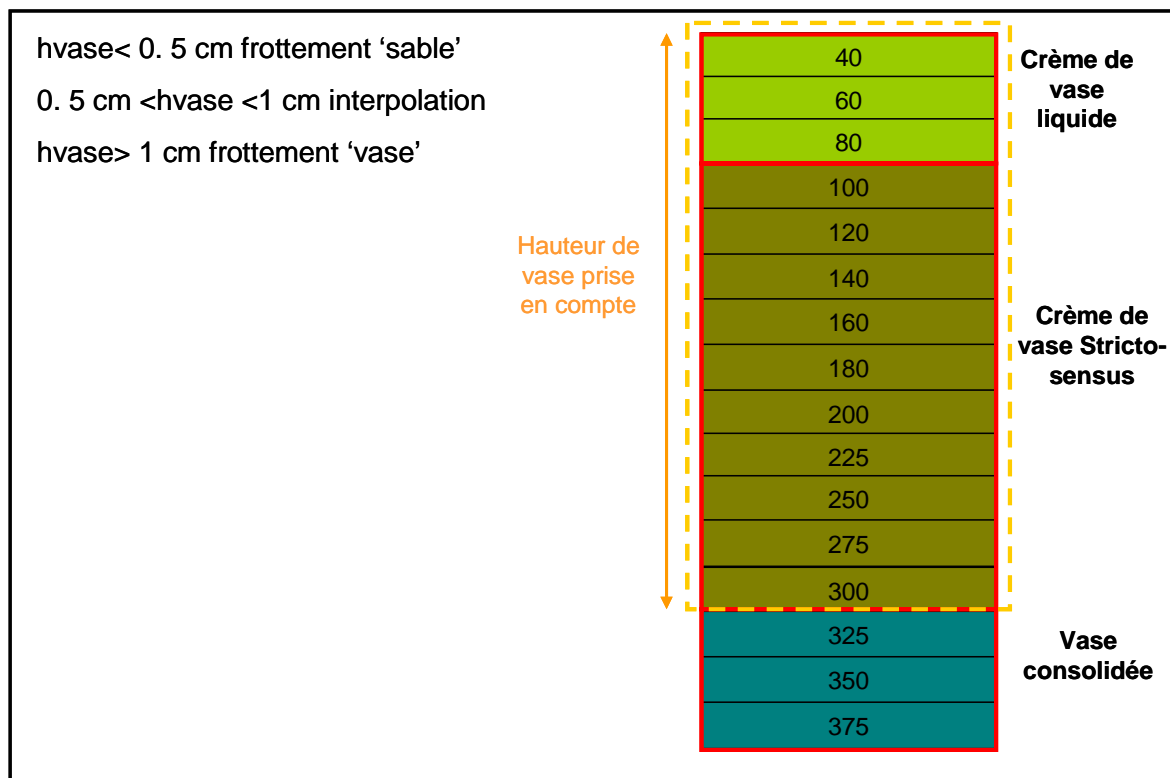
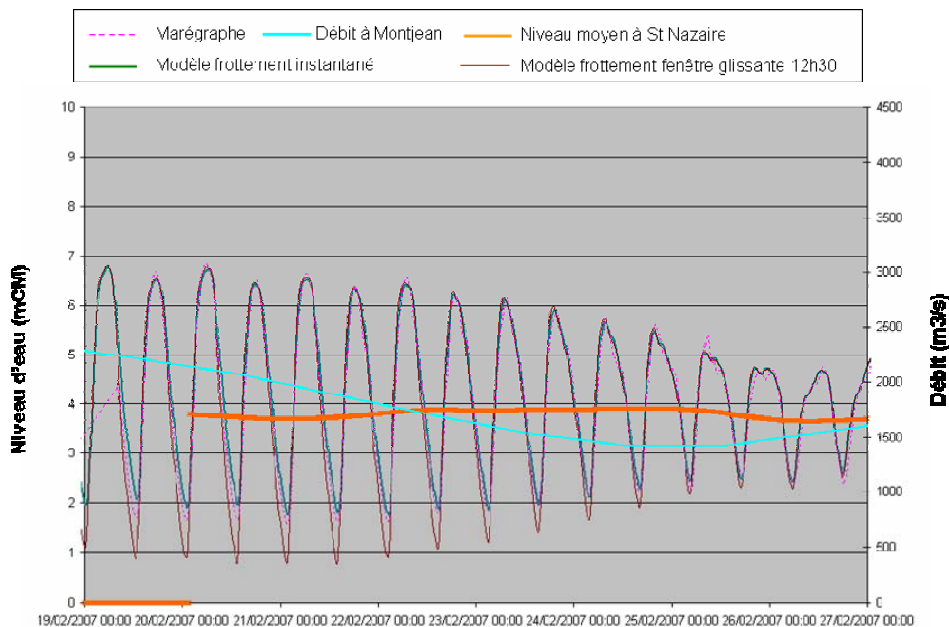


Fig. 1. SCHEMATISATION DE LA PRISE EN COMPTE DU DEPOT DE VASE SUR LE FROTTEMENT

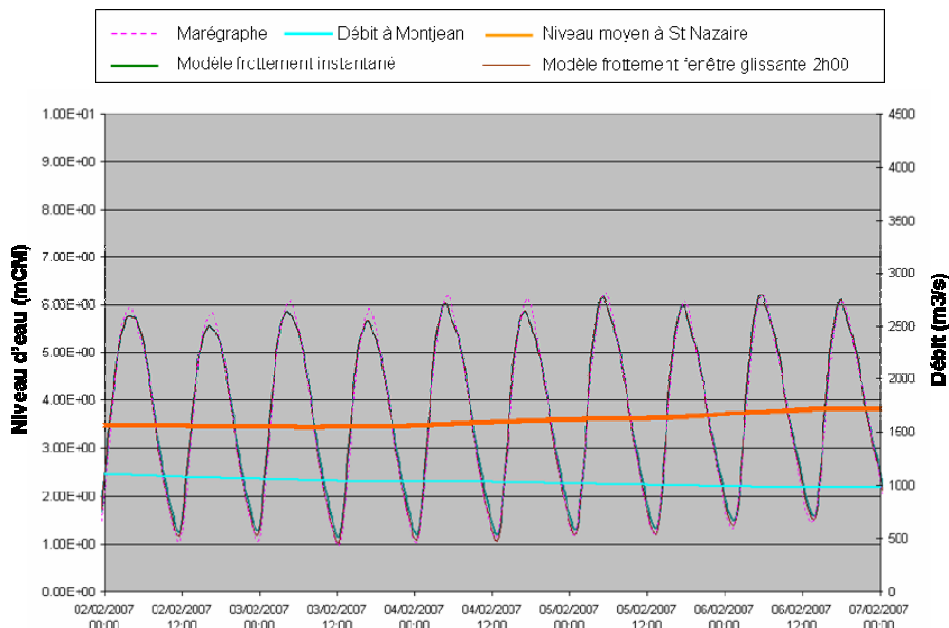
De plus, il a été montré lors de la réunion du 14 décembre 2009 que la prise en compte de l'épaisseur de vase à chaque pas de temps (10s) sur le frottement est un peu brutale et

qu'une fenêtre glissante sur les pas de temps précédents permettrait de lisser quelque peu les résultats. Il avait été proposé d'utiliser une fenêtre glissante de 12h30 (échelle temporelle de la marée), mais il s'avère que l'influence est trop importante, comme par exemple à Cordemais (basses mers calculées trop basses par rapport à la mesure):



**Fig. 2. RESULTAT DE LIGNE D'EAU A CORDEMAIS EN UTILISANT UNE FENETRE GLISSANTE DE 12H30 SUR LES DEPOTS ET SANS FENETRE GLISSANTE**

Le test avec une fenêtre glissante de 2 heures (figure ci-dessous) donne de meilleurs résultats. Les résultats obtenus avec une fenêtre glissante de 1h étant très proche de ceux obtenus avec 2 heures, nous avons privilégié la fenêtre glissante la plus petite soit 1heure.



**Fig. 3. RESULTAT DE LIGNE D'EAU A CORDEMAIS EN UTILISANT UNE FENETRE GLISSANTE DE 2 HEURES SUR LES DEPOTS ET SANS FENETRE GLISSANTE**



## 2.2. RESULTATS HYDRODYNAMIQUES DU CALAGE

Les résultats en niveau pour le calcul de 5 mois est présenté pour les marégraphes de Donges, Cordemais, Le Pellerin, Chantenay et Mauves:

**figures 2.1 à 2.5** : niveaux d'eau sur la période du 18/01/2009 au 19/03/2009

**figures 2.6 à 2.10** : niveaux d'eau sur la période du 19/03/2009 au 18/05/2009

**figures s 2.11 à 2.15** : zoom pour un débit avoisinant 500 m<sup>3</sup>/s

**figures 2.16 à 2.20** : zoom pour un débit compris entre 1000 et 1500 m<sup>3</sup>/s

**figures 2.21 à 2.25** : zoom pour un débit compris entre 1500 et 2250 m<sup>3</sup>/s

**figures 2.26 à 2.30** : zoom pour un débit compris entre 2250 et 4000 m<sup>3</sup>/s

Comme dit précédemment, le calage s'est effectué en premier lieu sur la période de crue (lorsque la vase est le plus à l'aval possible). Le changement de lieu du marégraphe dit « Nantes » à Chantenay, et l'approfondissement du chenal de navigation, implique des frottements plus importants dans la zone comprise entre Cordemais et Nantes. La valeur de Nikuradse passe d'une valeur comprise entre 0,05 et 0,1m entre les PK 25 et 52 en calage simple, à une valeur comprise entre 0.05 et 0,35m.

Les **figures 2.26 à 2.30** montrent le calage en crue, lorsque la vase est à l'aval. Les résultats sont de bonne qualité jusqu'à Le Pellerin. A Chantenay les résultats sont corrects, mais on souhaiterait froter encore un peu plus lors de la phase de décrue pour augmenter le niveau de marée basse, mais cela viendrait en contradiction avec les résultats obtenus par la suite pour des débits plus faibles, il s'agit donc là d'un compromis.

Les résultats sont corrects tout au long de l'estuaire dès les débits de 1000 à 1500 m<sup>3</sup>/s: **figures 2.16 à 2.20**.

Les **figures 2.11 à 2.15**, montrent les résultats pour des faibles débits : période où le frottement faible de la vase prend son plein effet sur la zone comprise entre Cordemais et Nantes. La prise en compte du frottement de la vase permet alors une très bonne représentation de la marée.

Le calage couplé au sens 'hydrodynamique' (puisque seules les données des marégraphes le permettent) est réalisé, il faut maintenant vérifier le comportement global hydro-sédimentaire et halin du modèle couplé.

## 2.3. RESULTATS DU CALAGE COUPLE EN SALINITE ET MES

Les **figures 3.1, 3.2 et 3.3** présentent les cubatures effectuées sur ce calcul. On note que la remontée des sédiments après la crue (comme en calage simple) se retrouve en calage couplé et de manière amplifiée (augmentation de + 800 000 tonnes de sédiment dans les sections 7891011). Le bouchon vaseux suite à la crue atteint jusqu'à 500 000 tonnes.

Les **figures 3.4 à 3.7** présentent la comparaison des mesures du réseau en continu en surface à Paimboeuf et Le Pellerin avec les résultats du modèle.

Il n'est pas noté de différence notable dans cette comparaison avec les résultats obtenus dans le calage simple, ce qui est encourageant. Cela veut dire que la position de la crème de vase, imposée dans le calage simple par le débit est quasiment retrouvée en calage couplé.

---

## 3. VERIFICATION SUR LA CRUE DE JANVIER 2004

---

Nous allons vérifier le comportement du modèle couplé sur des profils verticaux comme il a été effectué dans le calage simple (hydrodynamique et salinité) sur la crue de janvier 2004. Les résultats entre calage simple (hydrodynamique et salinité) et calage couplé (hydrodynamique, salinité et sédimentologie) sont comparés afin d'observer la modification apportée par la sédimentologie.

### 3.1. ANALYSE DE PROFILS VERTICAUX A MONTOIR

#### 3.1.1. COMPORTEMENT HEURE/ HEURE POUR DIFFERENTES CONDITIONS

Des extractions ont été effectuées au niveau de Montoir dans le chenal de navigation sur la période de Janvier 2004.

Des profils verticaux de vitesse et de salinité ont été sortis de PM-5 à PM +6 pour 4 combinaisons de coefficient de marée et de débit **figures 4.1, 4.2, 4.3 et 4.4** :

- 2 janvier 2004 : coefficient 42, débit à Montjean : 1310 m<sup>3</sup>/s
- 9 janvier 2004 : coefficient 77, débit à Montjean : 1120 m<sup>3</sup>/s
- 24 janvier 2004 : coefficient 95, débit à Montjean : 4310 m<sup>3</sup>/s
- 29 janvier 2004 : coefficient 41, débit à Montjean : 4240 m<sup>3</sup>/s

Cet ensemble de figures décrit le comportement vertical du modèle dans le chenal de navigation en vive-eau et morte-eau pour deux gammes de débits:1200 et 4200 m<sup>3</sup>/s.

Le comportement du modèle est conforme aux attentes avec notamment de fortes inversions de vitesse dans la partie inférieure de la colonne d'eau lors des périodes de jusant. L'asymétrie flot / jusant est donc très marquée en fond de chenal dans tous les cas, et elle est amoindrie dans le cas de la vive-eau cumulée avec le débit de pointe de crue ce qui est compréhensible. Cette forte asymétrie de fond s'analyse en parallèle avec les fortes stratifications de salinité observées dans le chenal de navigation à Montoir et décrites dans ces mêmes figures. Ces profils verticaux expliquent de même le fort piégeage sédimentaire dans le chenal de navigation pour ces débits que ce soit dans le modèle comme en nature.

On notera avant d'effectuer la comparaison entre les deux modèles, que dans le cas du modèle couplé, le fond dur du chenal de navigation est plus profond que dans le cas du modèle en calage simple (approfondissement schématisé selon les levés Mesuris, voir paragraphe 2). De plus, le premier point de calcul dans le modèle couplé correspond à la cote du fond au dessus du dépôt: la hauteur comprise entre le premier point de calcul et la cote de fond dur correspond donc à l'épaisseur totale de crème de vase.

La comparaison entre modèle simple (hydrodynamique et salinité) et modèle couplé (hydrodynamique, salinité et sédimentologie) montre que dans le modèle couplé:

- Les inversions de vitesses ne sont pas intensifiées temporellement, par contre les vitesses de fond sont bien amoindries par la présence de sédiment (que ce soit en flot comme en jusant).
- Les salinités mesurées sont plus importantes au fond dans tous les cas ce qui témoigne d'une intrusion saline plus importante, malgré le fait que les vitesses soient diminuées au fond : augmentation de 1 à 2g/l sur les maxima atteints au fond, et une forte augmentation des minima atteints lors des renverses en fin de flot.
- Pour les MES, en morte-eau, les profils sont assez peu marqués au jusant, par contre ils le deviennent au flot avec une épaisseur de couche d'eau de 0,5 à 1m chargée de sédiment dont la concentration est comprise entre 1 et 40g/l.
- Pour les MES, en vive-eau, les profils sont marqués en jusant comme en flot, avec une épaisseur de couche d'eau chargée de sédiment comprise entre 1 et 40g/l, qui varie entre 1 et 5 m d'épaisseur.

### 3.1.2. COMPARAISON AUX PROFILS VERTICAUX DE VITESSES A MONTOIR

La comparaison aux mesures n'est pas triviale étant donné que l'ADCP fixe lors de la campagne de mesure se trouve hors du chenal de navigation, ce qui ne permet pas d'apprécier la dynamique verticale de l'écoulement principal. C'est pourquoi, les figures des radiales de Montoir ont été ajoutées pour compléter l'information. Malheureusement, comme discuté en réunion de comité d'experts, nous n'avons pas d'extraction au centre du chenal pour effectuer une comparaison directe autre que visuelle.

La position des mesures et le point de comparaison du modèle sont répertoriés dans les **figures 4.5**.

Les mesures du 24 janvier 2004 sont comparées sur les **figures 4.6 à 4.10**.

Sur chaque figure est présenté :

- dans l'encadré à gauche : le profil vertical de vitesse au centre du chenal dans le modèle (courbes rouges) avec le résultat à +ou- 15 minutes, le profil vertical hors chenal issu de l'ADCP fixe de Montoir (courbes bleues). En haut le modèle en calage simple, en bas le modèle en calage couplé.
- dans l'encadré à droite : les coupes des radiales en direction et intensité issues de l'ADCP embarqué.

On note un bon comportement général du modèle que ce soit :

- au niveau du placement de pic d'intensité de vitesse dans la colonne d'eau (**figures 4.6** : en fond de chenal, **figures 4.7** : au milieu de la colonne d'eau, **figures 4.8, 4.9 et 4.10** : en surface)

- au niveau de la répartition verticale des directions (lorsqu'il ya de l'intensité), avec même la reproduction de doubles inversions de direction sur la verticale

La comparaison entre modèle couplé et modèle simple donne principalement une diminution des vitesses dans la zone chargée en sédiment.

### 3.1.3. COMPARAISON AUX PROFILS VERTICAUX DE SALINITE DANS L'ESTUAIRE

La comparaison de profils verticaux de salinité s'est effectuée par rapport à des profils ponctuels issus des campagnes de radiales du 21, 22, 24, 28 et 29 janvier 2004. La position de chaque radiale est présentée en **figures 4.11**.

Les **figures 4.12 et 4.13** comparent les profils de salinité à Mindin et Montoir à pleine mer et basse mer.

Les profils de salinité sont peu modifiés. Les profils de MES ont une bonne allure en comparaison aux mesures, avec un bon ordre de grandeur et une forme correcte de profil (principalement à basse mer, avec généralement une MES surestimée à pleine mer). Par contre, on notera que la saturation à 2g/l mesurée par les turbidimètres se trouve plus haute (environ 2m) que dans le modèle, ce qui laisse supposer une couche d'eau chargée plus importante en nature (ou un fond plus haut en nature).

Les **figures 4.14 et 4.15** comparent les profils de salinité dans l'estuaire externe en flot et jusant.

Au niveau des profils de salinité dans l'estuaire externe, l'apport de la sédimentologie améliore la représentation des profils verticaux.

Globalement, les profils de MES dans l'estuaire externe sont plus chargés qu'en nature, cependant l'initialisation du modèle (identique à celle présentée pour les calages sur 5 mois) est volontairement très chargée dans la partie aval et externe de l'estuaire. Ces profils sont donc discutables.



FIGURES NUMEROTEES PAR CHAPITRE





Fig. 1.1

### Abaissement des fonds dans le chenal de navigation

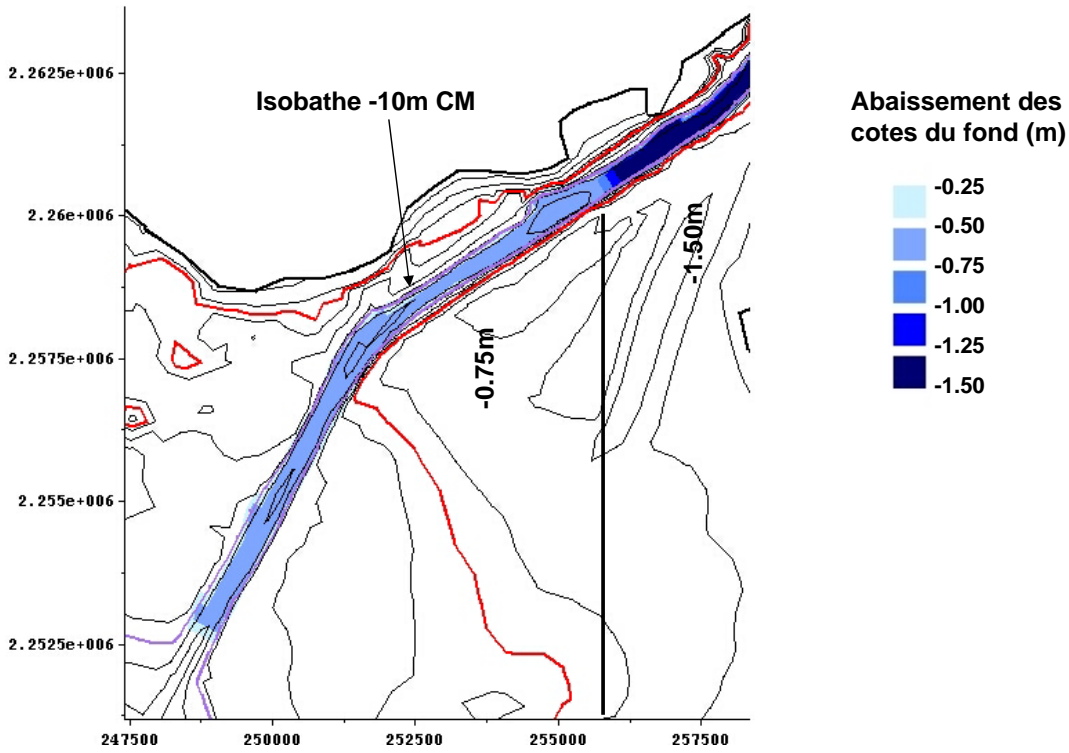


Fig. 1.2

### Abaissement des fonds dans le chenal de navigation

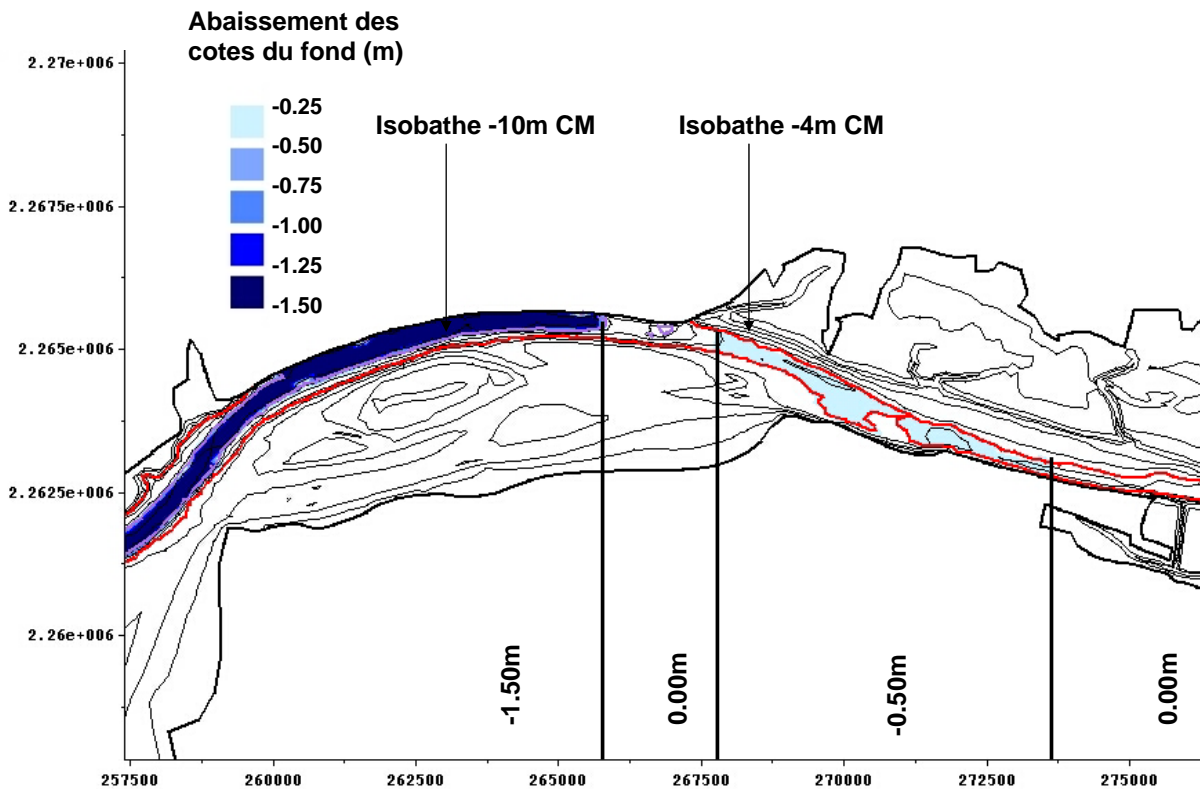




Fig. 1.3

### Abaissement des fonds dans le chenal de navigation

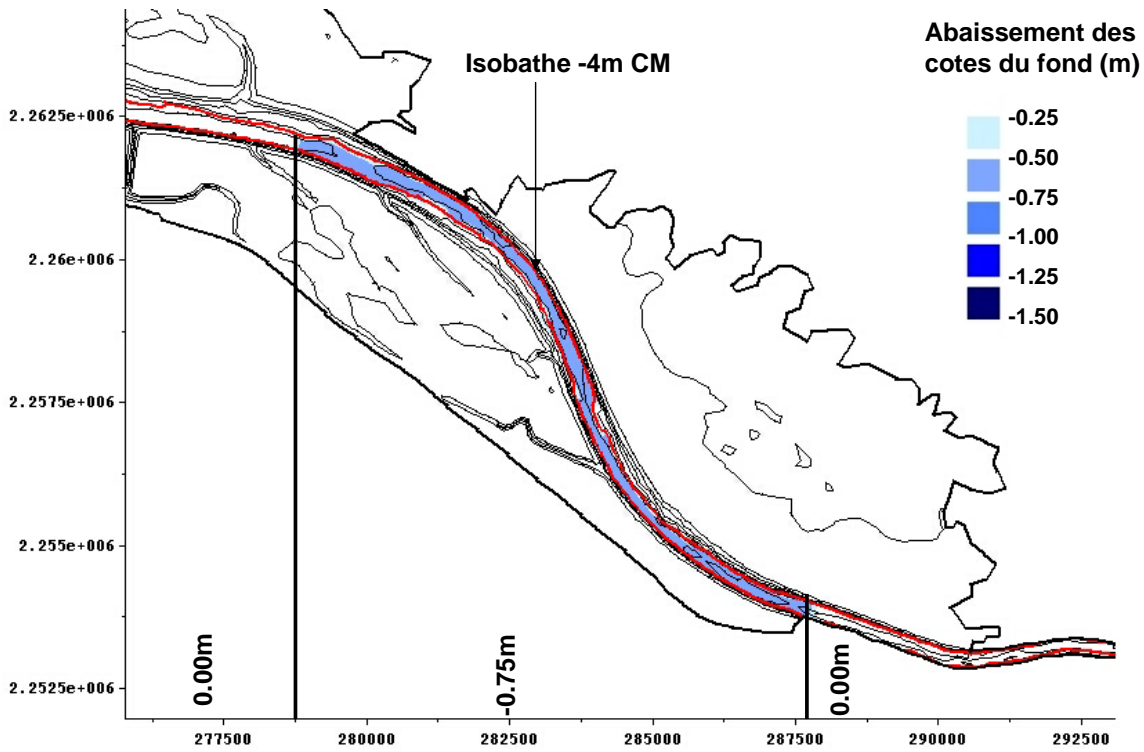


Fig. 1.4

### Abaissement des fonds dans le chenal de navigation

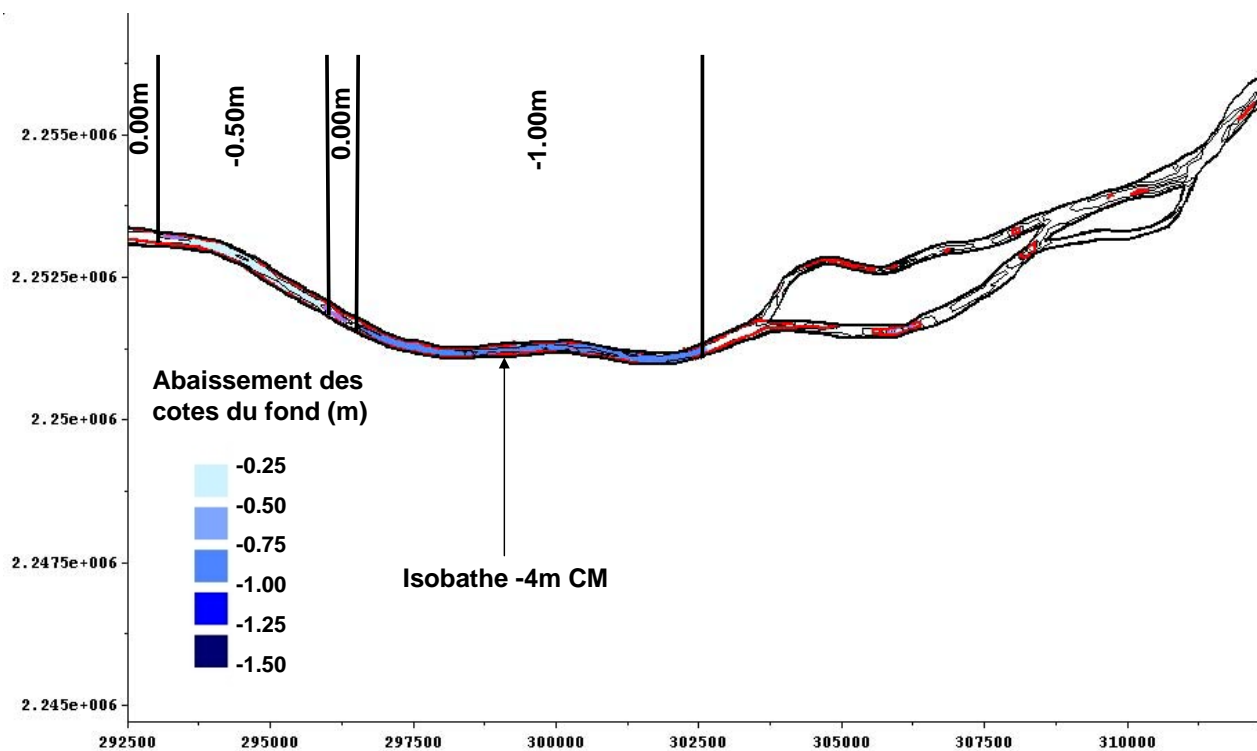


Fig. 2. 1

Calage couplé : Donges 18/01/2009 au 19/03/2009

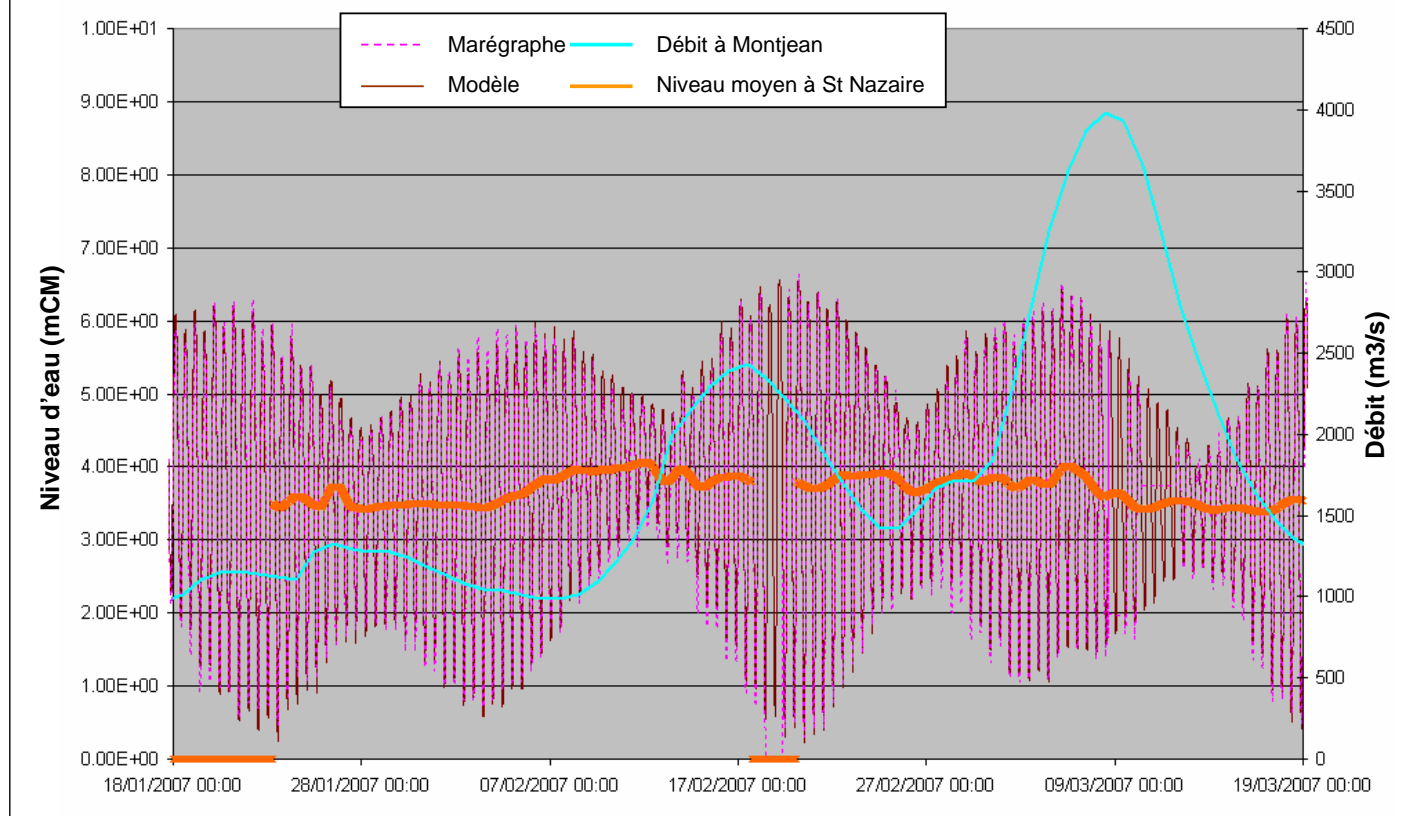


Fig. 2. 2

Calage couplé : Cordemais 18/01/2009 au 19/03/2009

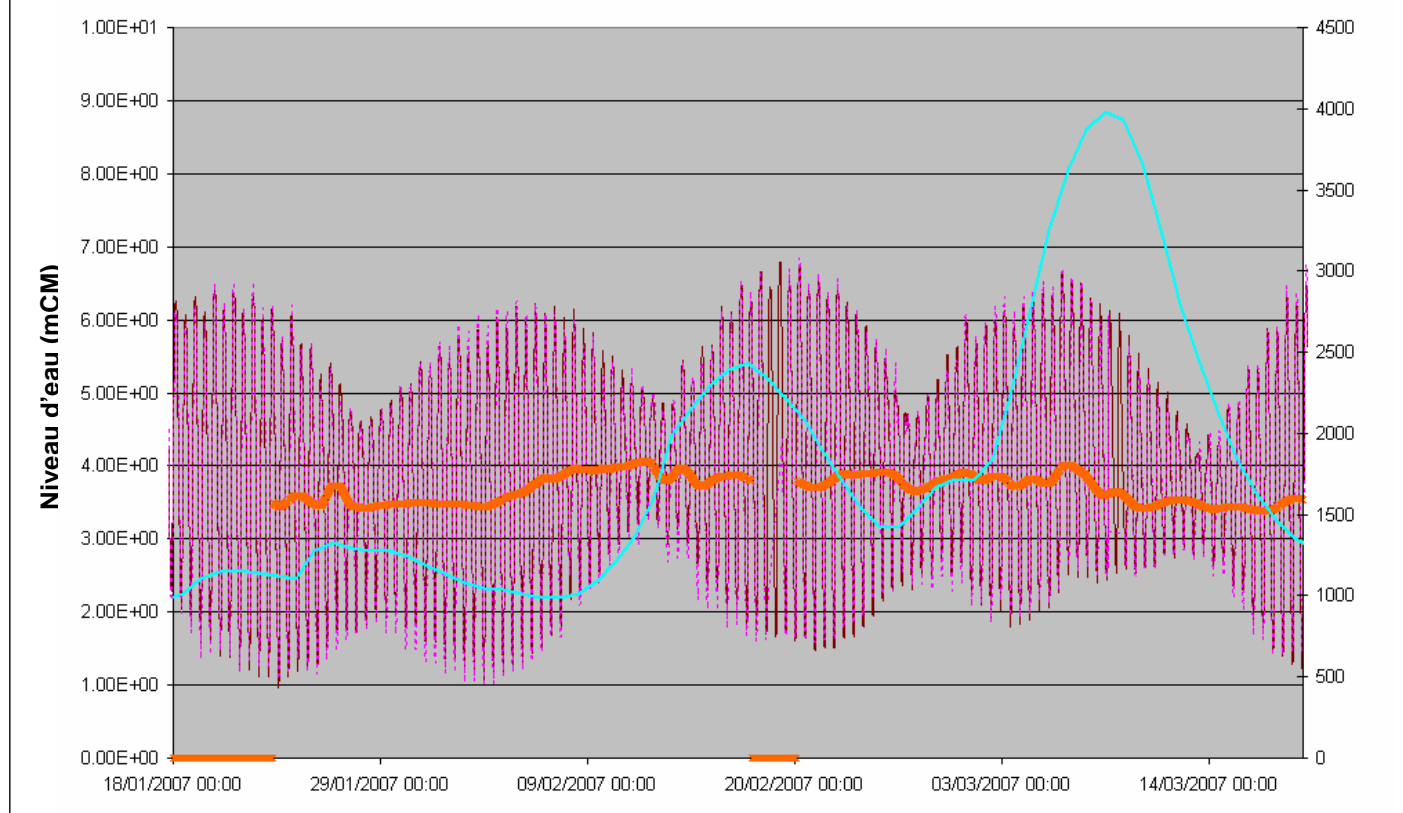


Fig. 2.3

## Calage couplé : Le Pellerin 18/01/2009 au 19/03/2009

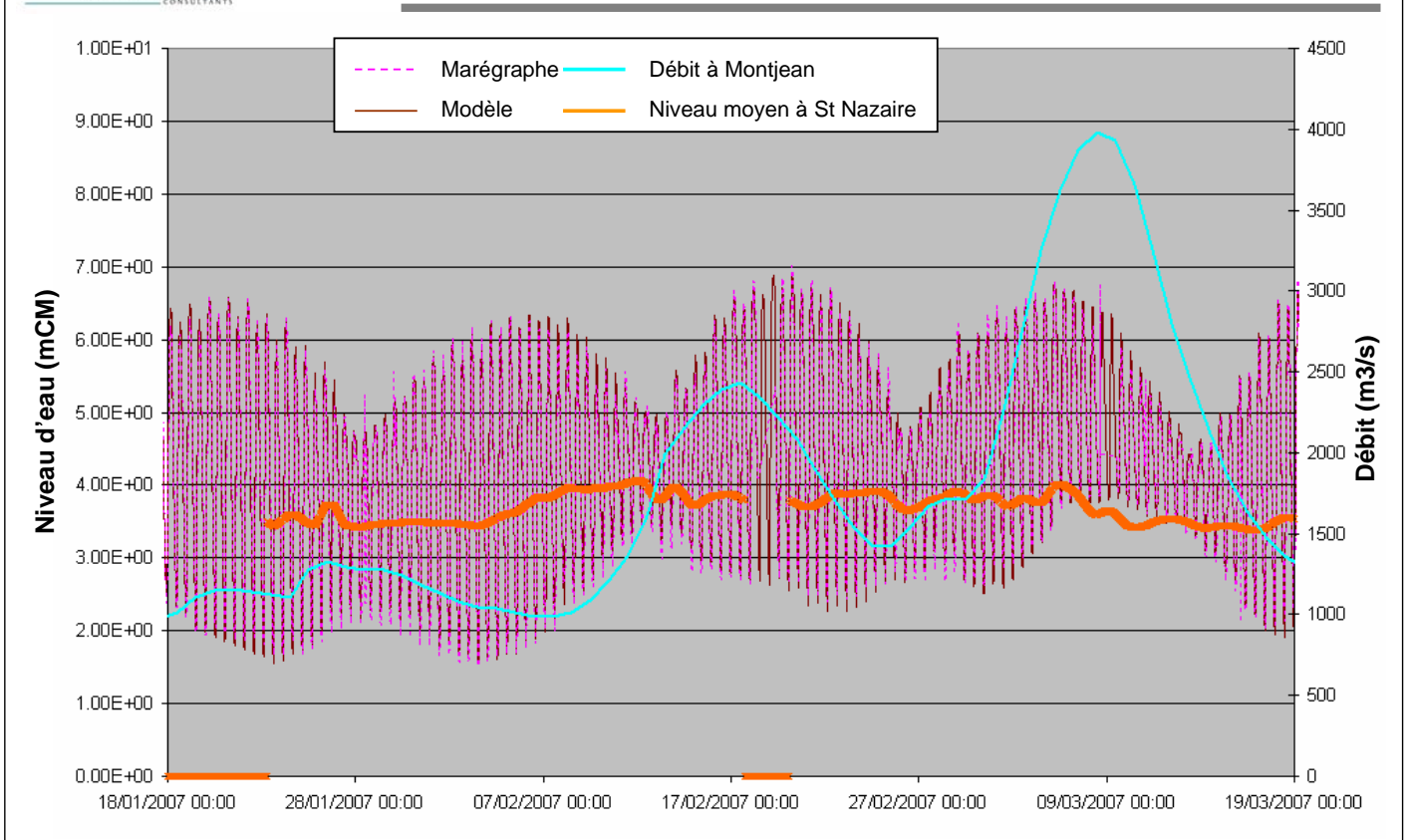


Fig. 2.4

## Calage couplé : Chantenay 18/01/2009 au 19/03/2009

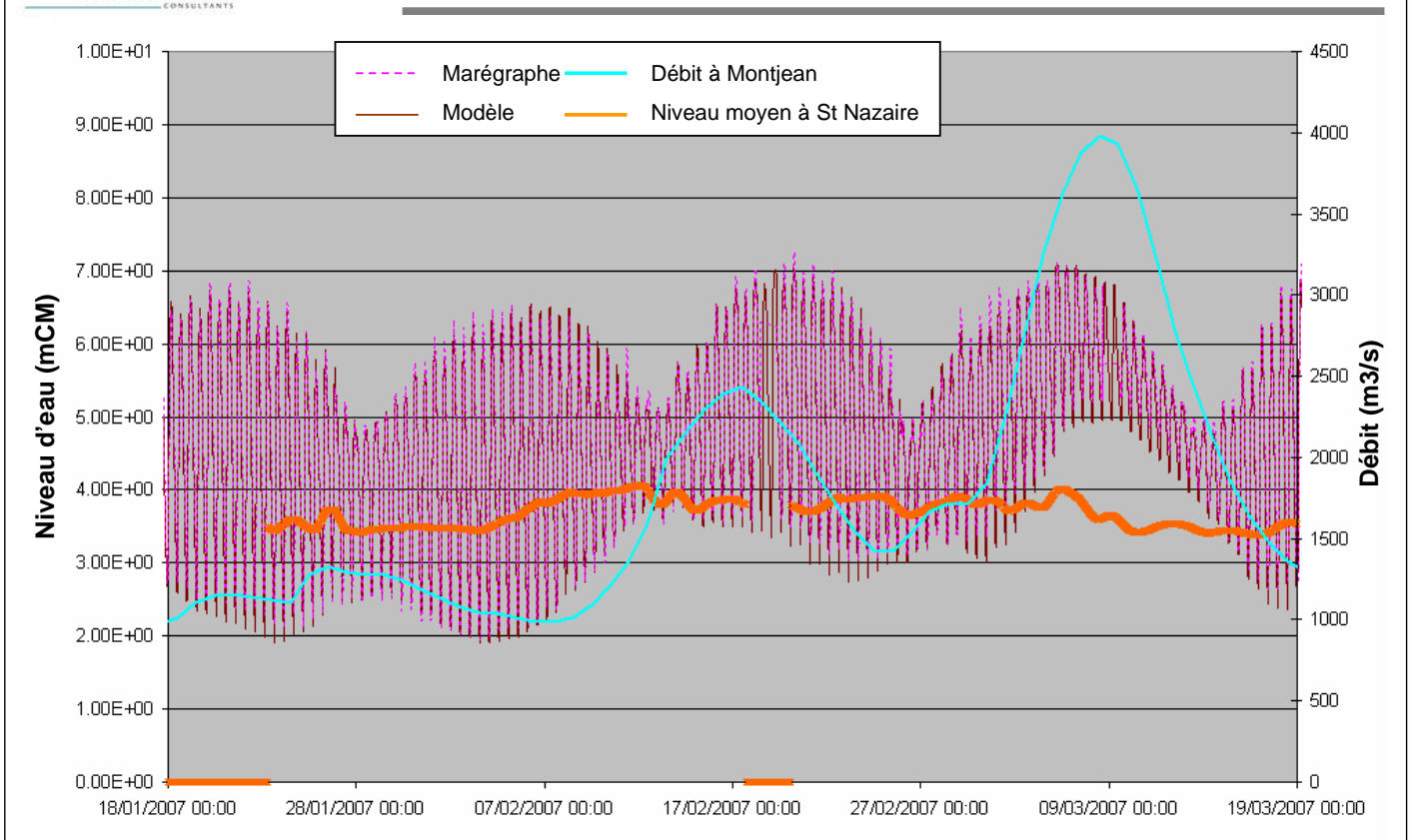


Fig. 2. 5

## Calage couplé : Mauves 18/01/2009 au 19/03/2009

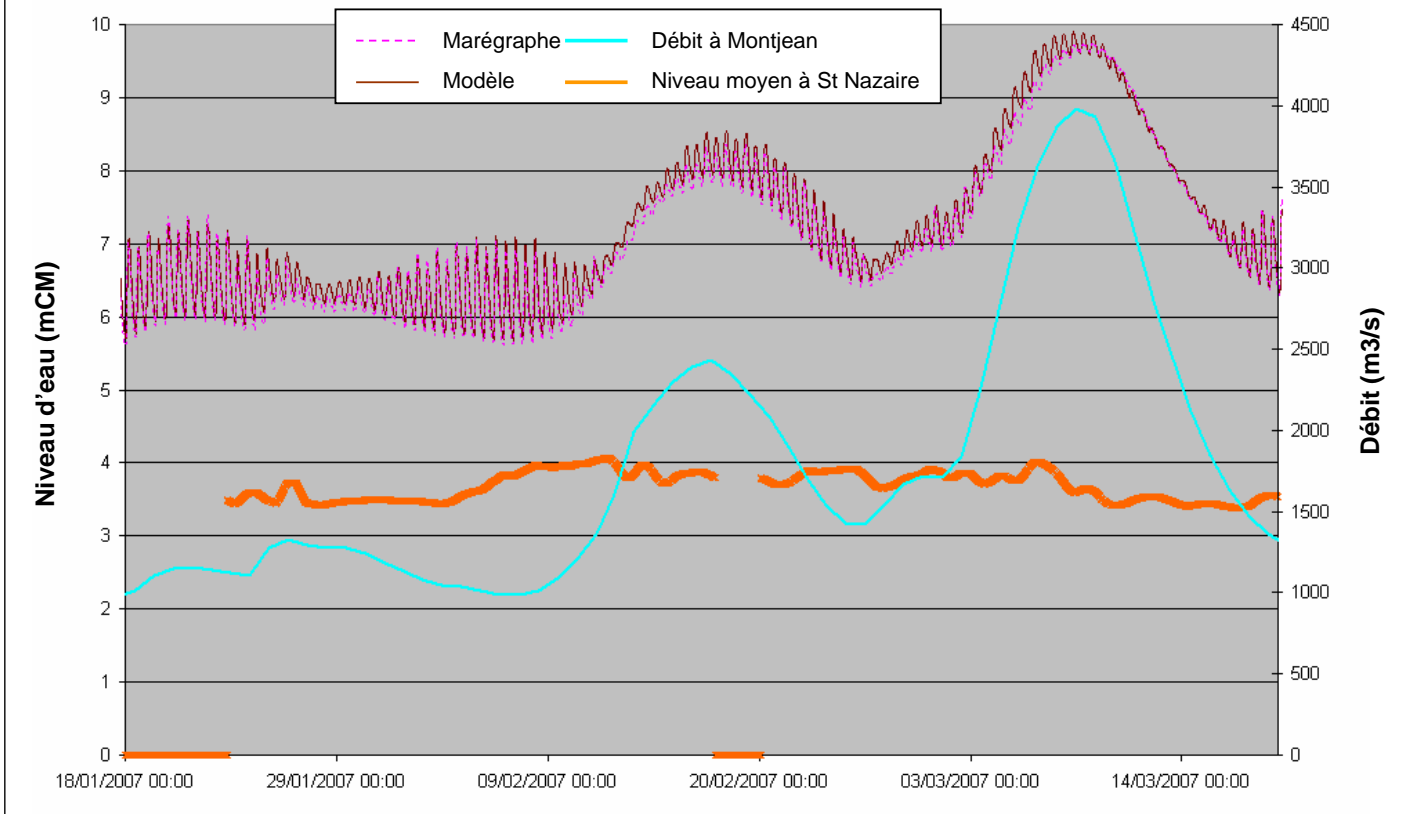


Fig. 2. 6

## Calage couplé : Donges 19/03/2009 au 18/05/2009

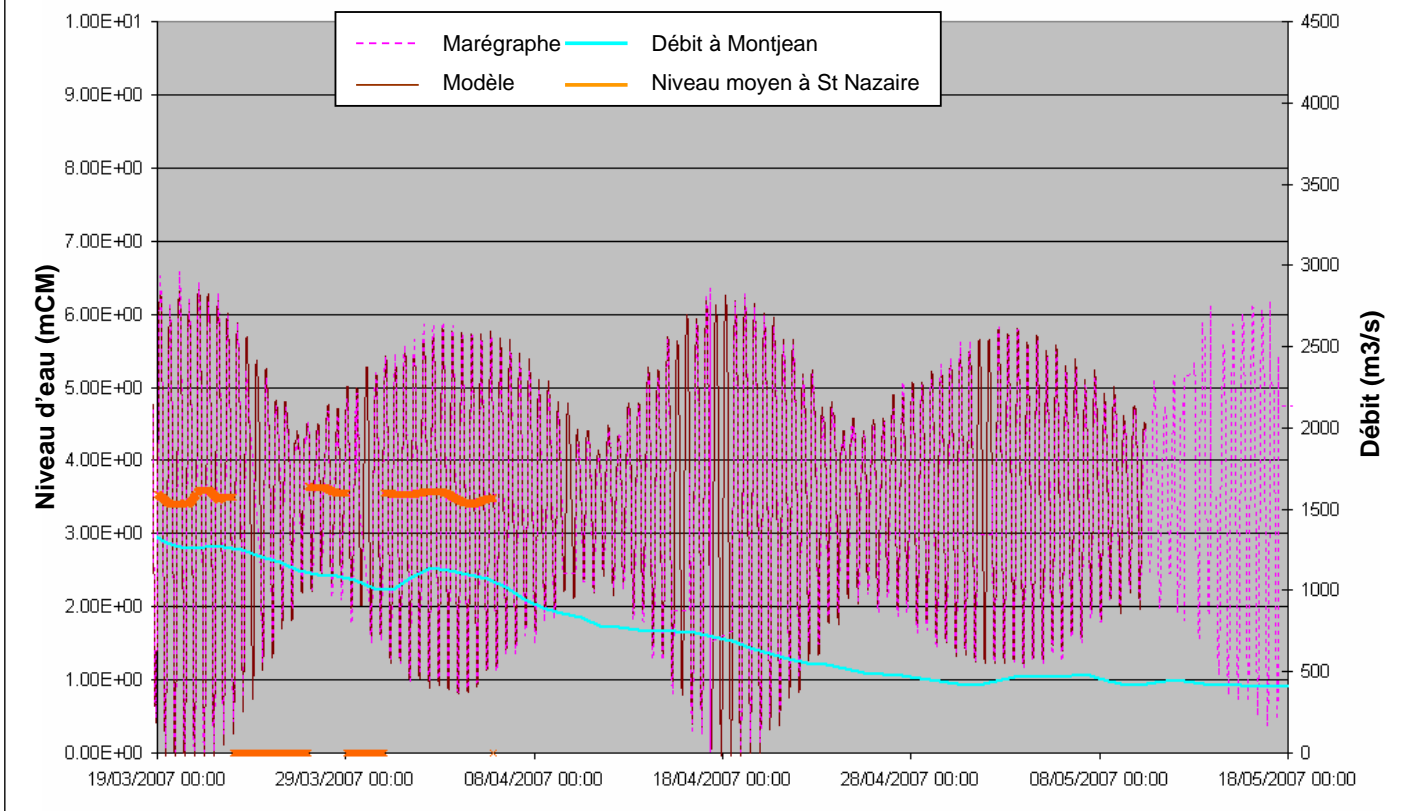




Fig. 2. 7

Calage couplé : Cordemais 19/03/2009 au 18/05/2009

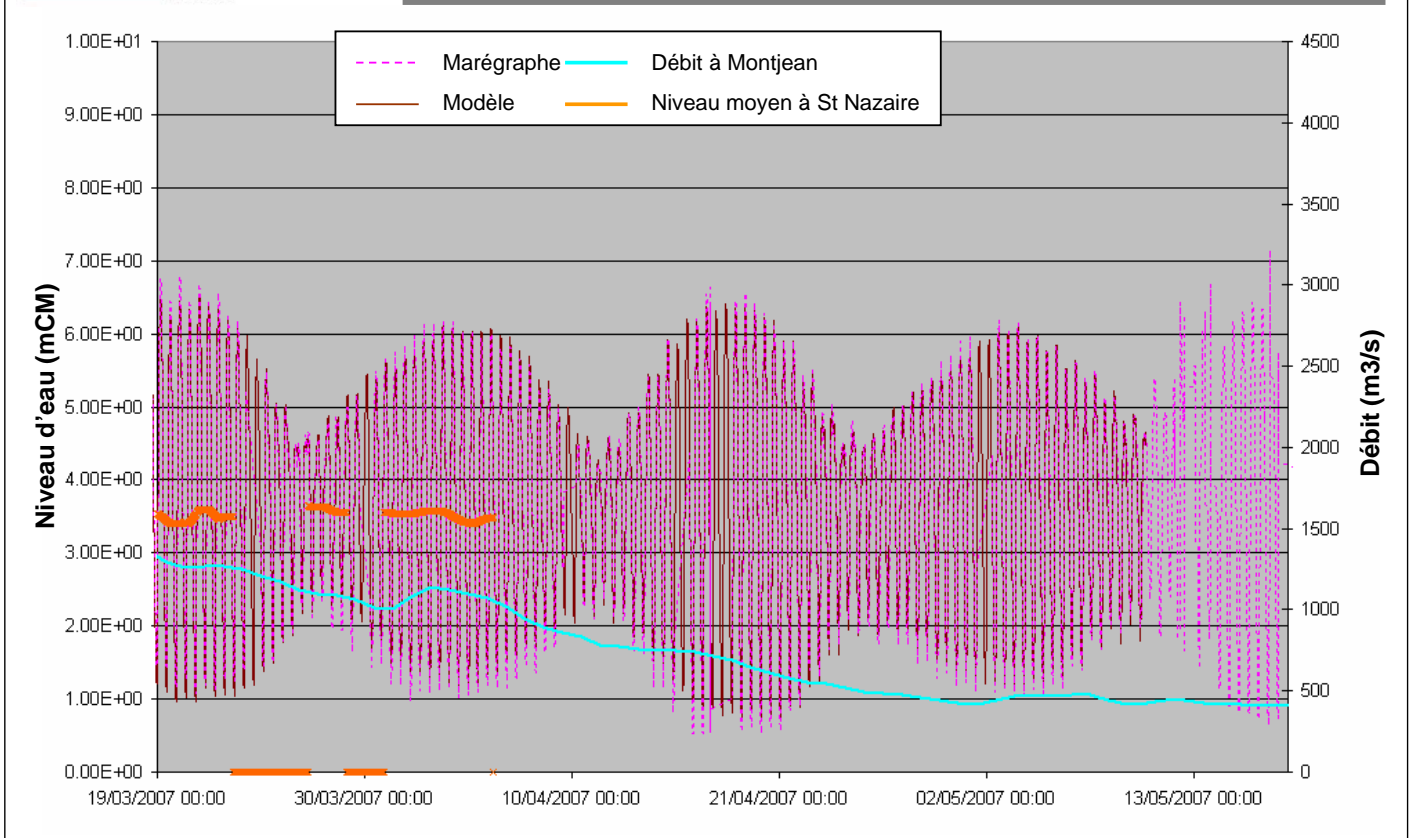


Fig. 2. 8

Calage couplé : Le Pellerin 19/03/2009 au 18/05/2009

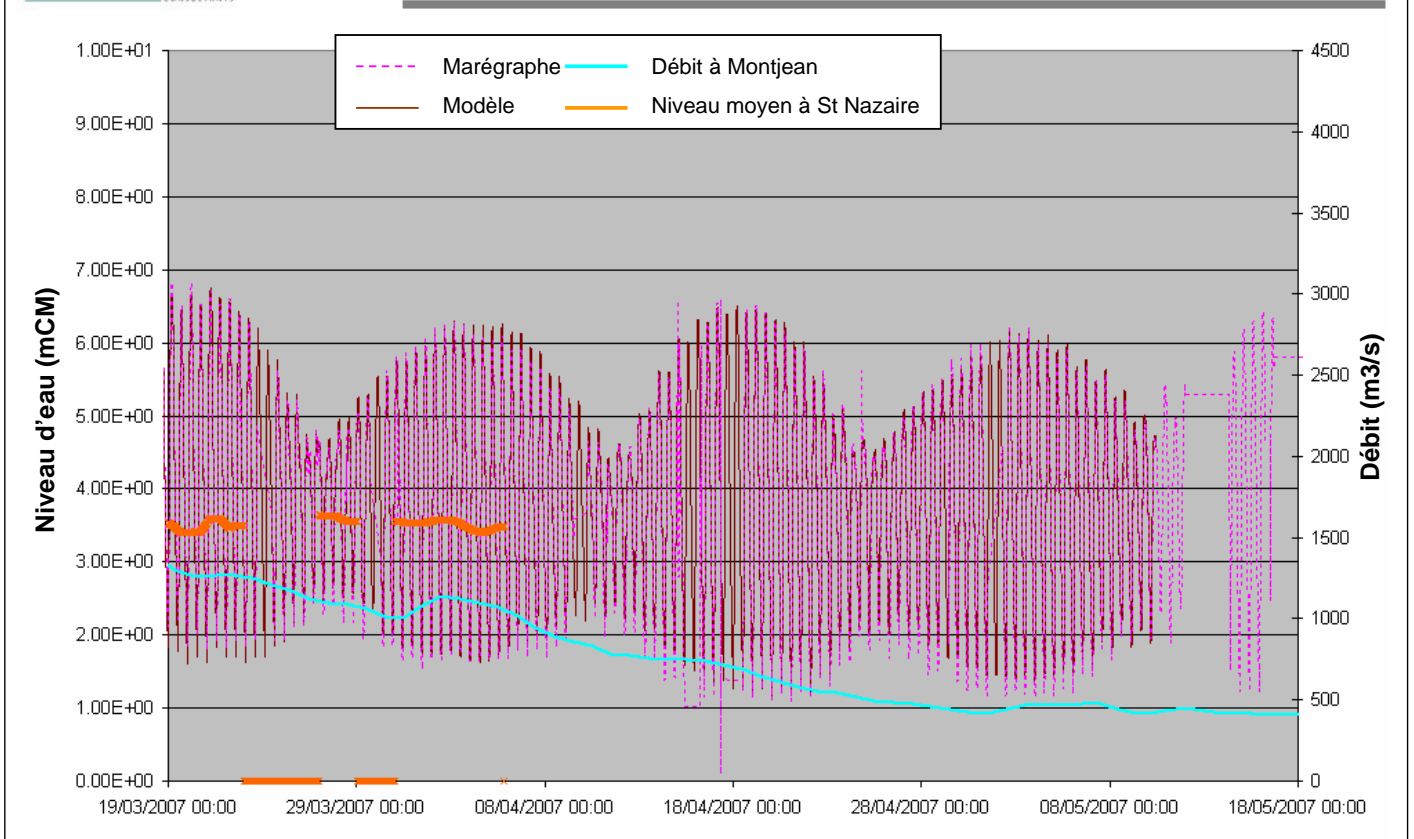


Fig. 2. 9

Calage couplé : Chantenay 19/03/2009 au 18/05/2009

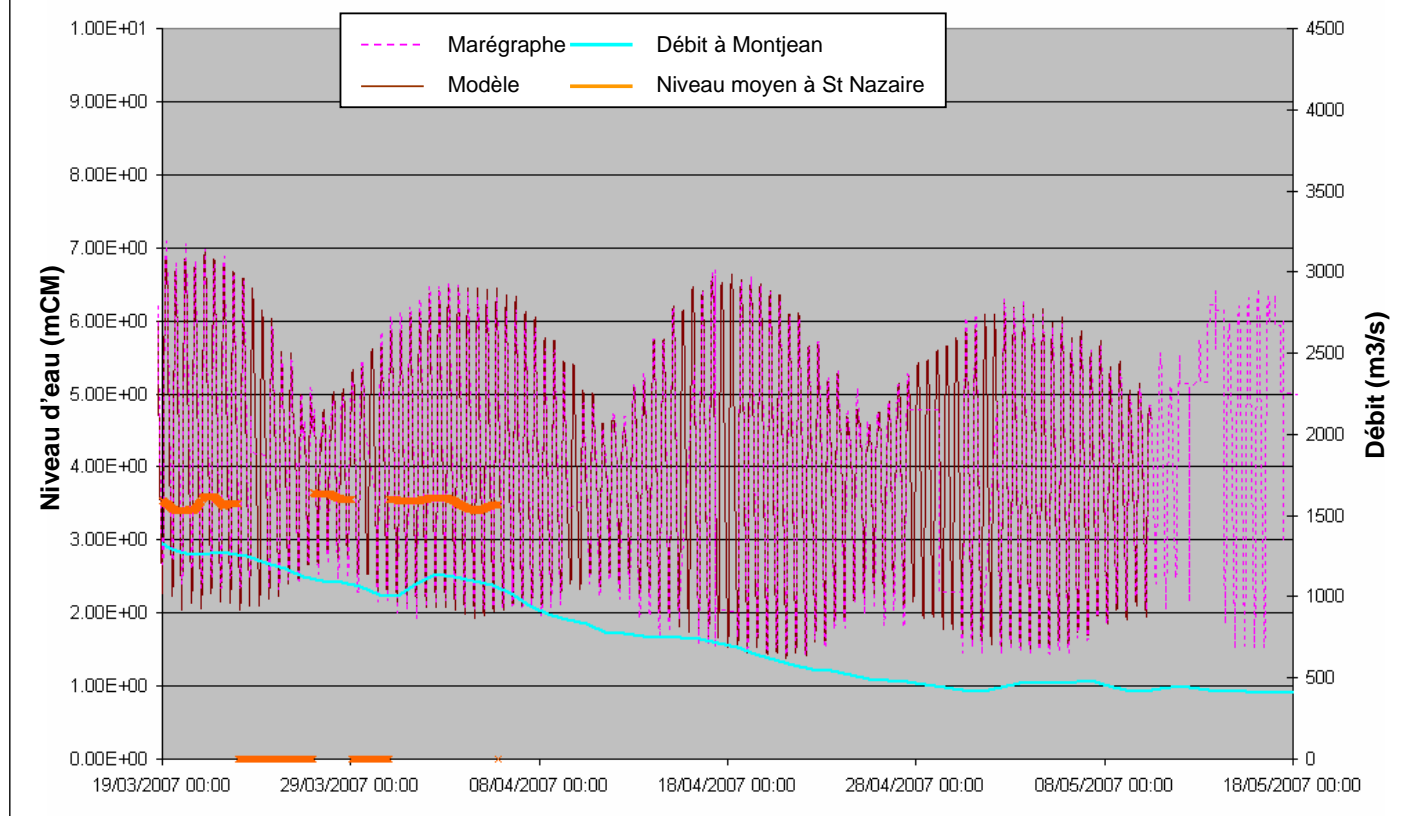


Fig. 2. 10

Calage couplé : Mauves 19/03/2009 au 18/05/2009

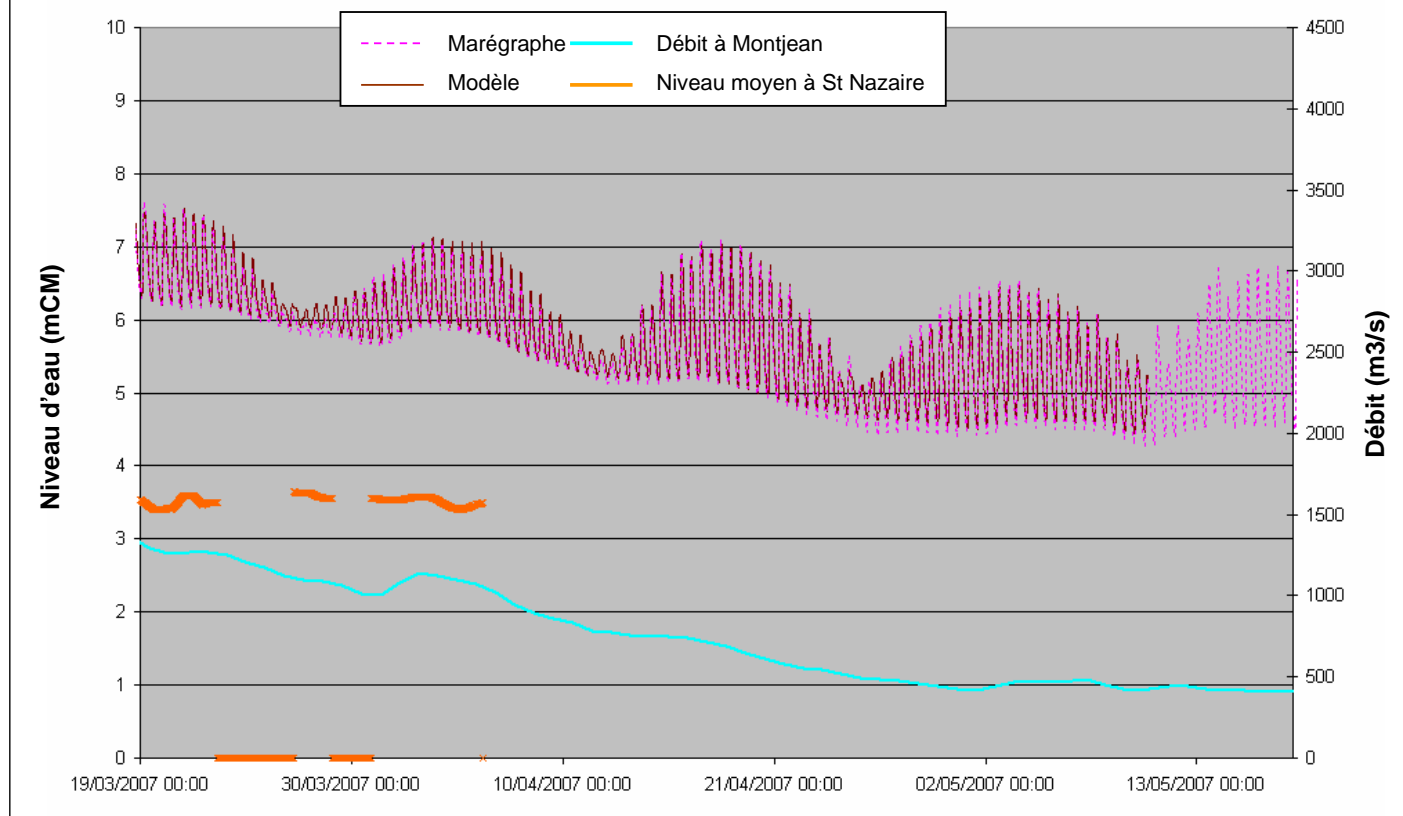


Fig. 2. 11

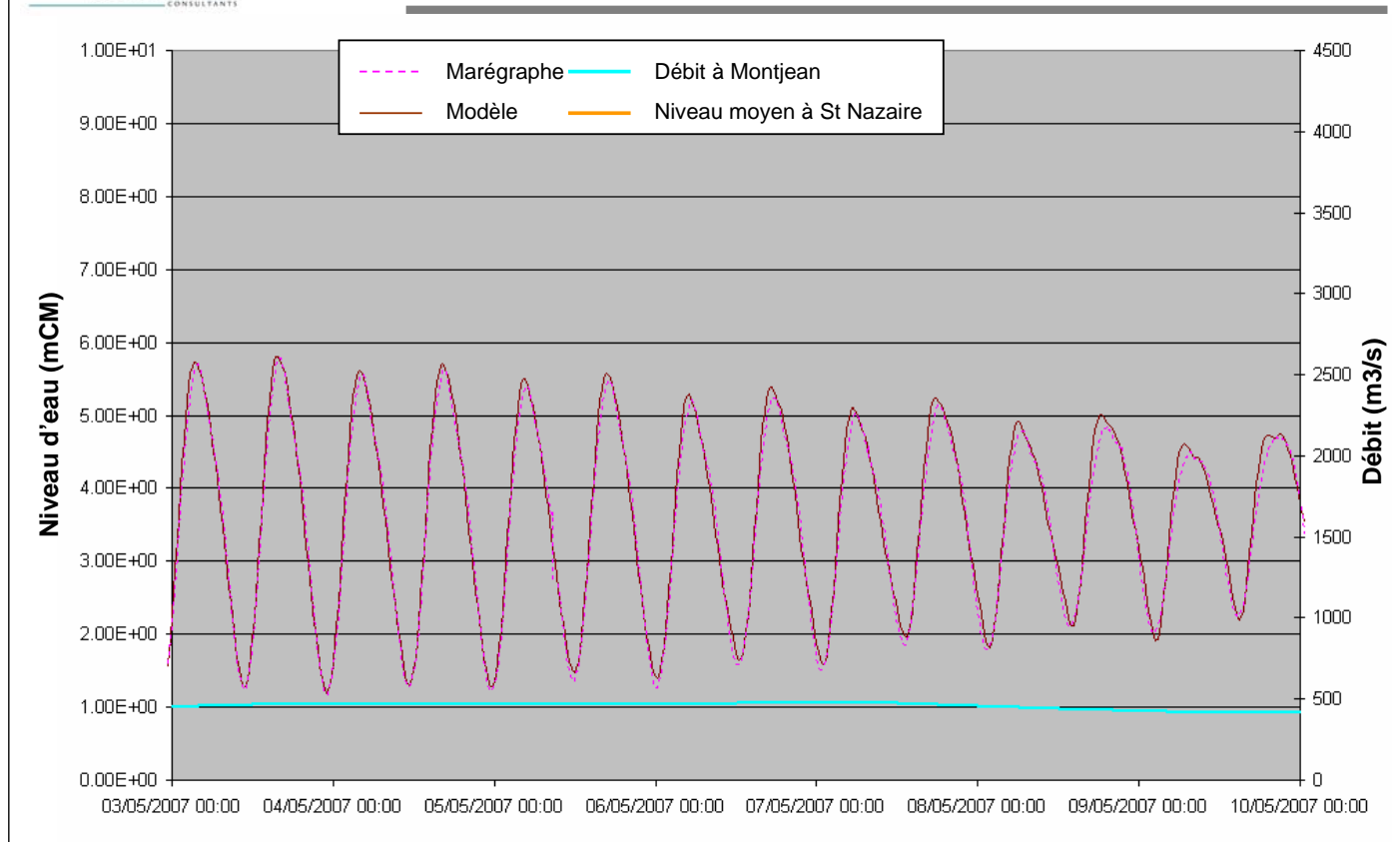
Calage couplé : Donges Q= 500 m<sup>3</sup>/s

Fig. 2. 12

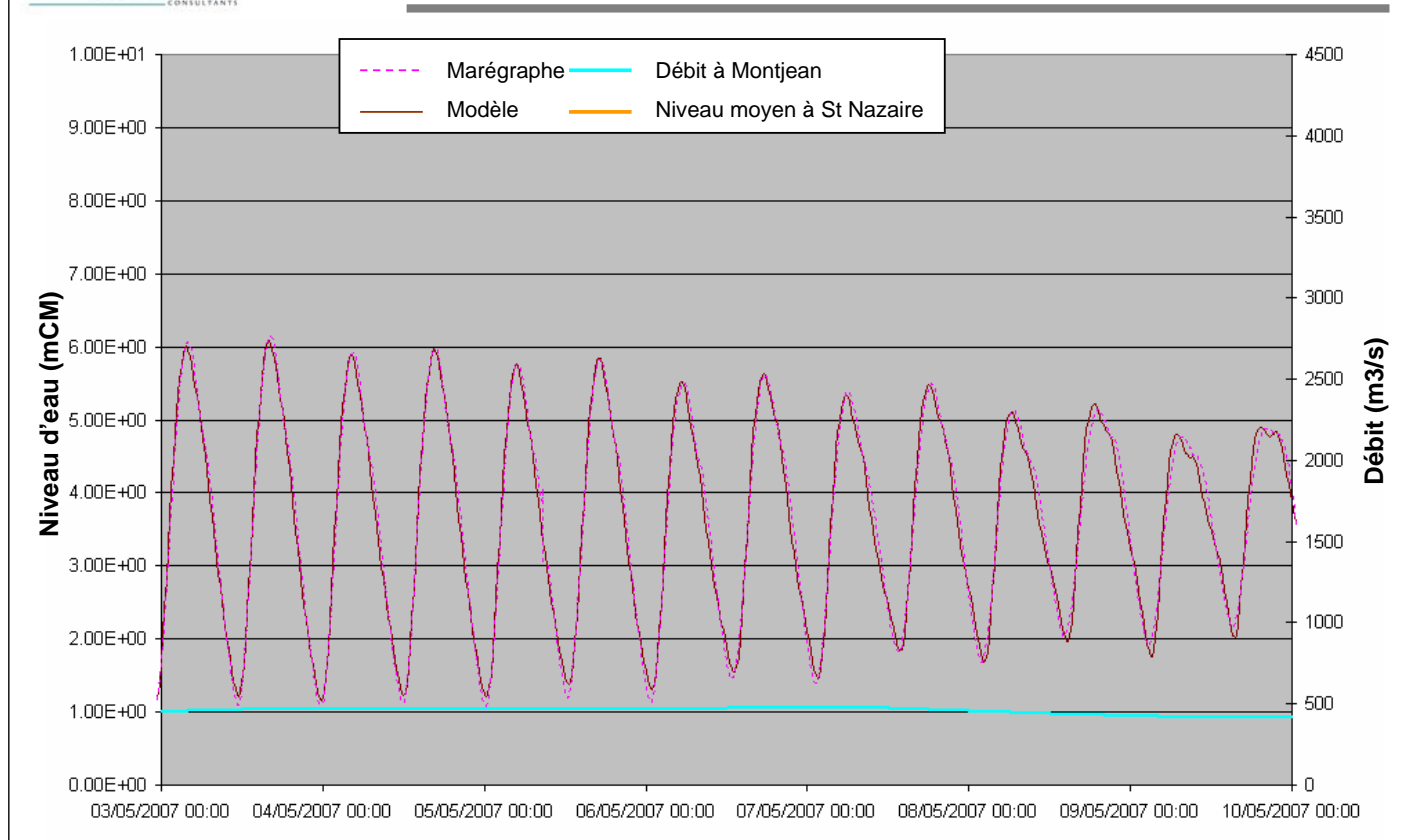
Calage couplé : Cordemais Q= 500 m<sup>3</sup>/s





Fig. 2. 13

Calage couplé : Le Pellerin Q= 500 m3/s

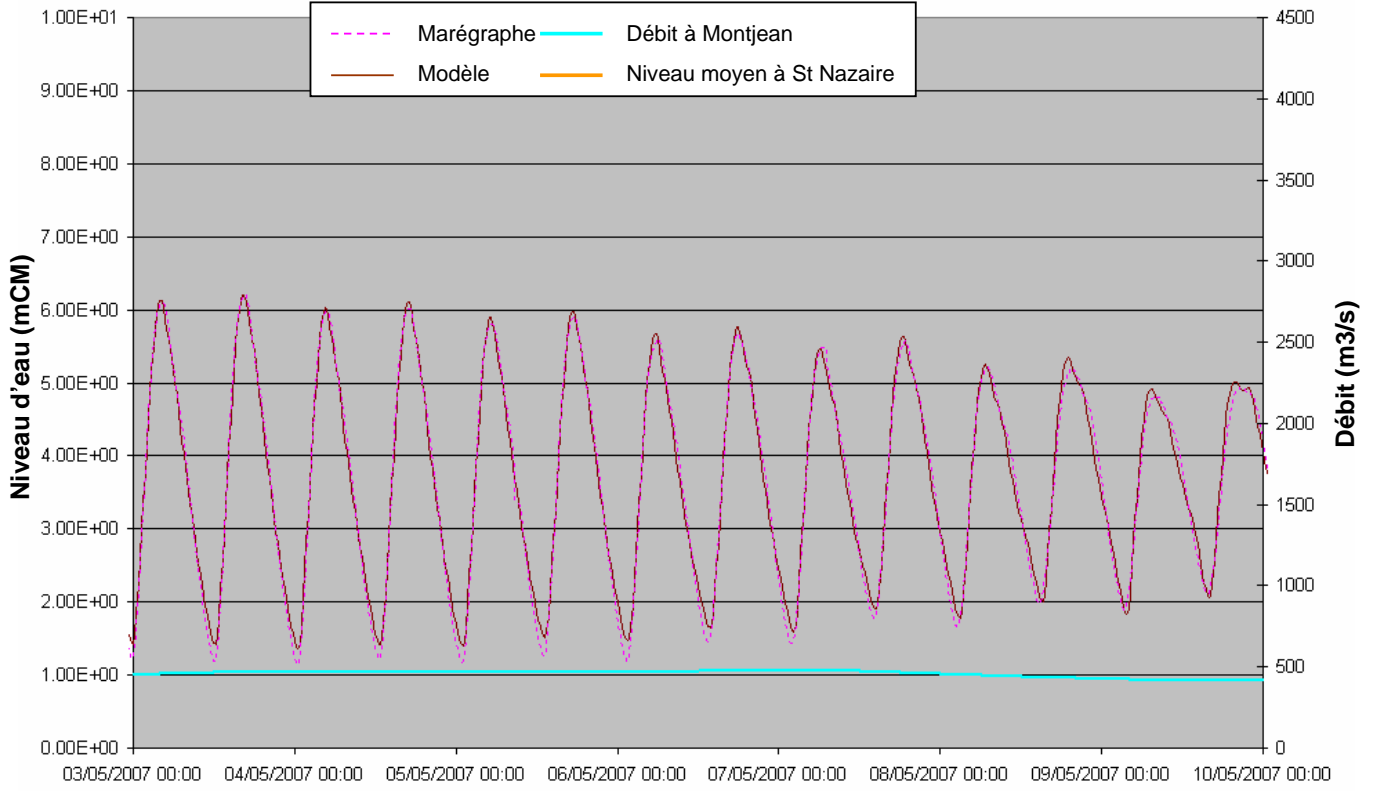
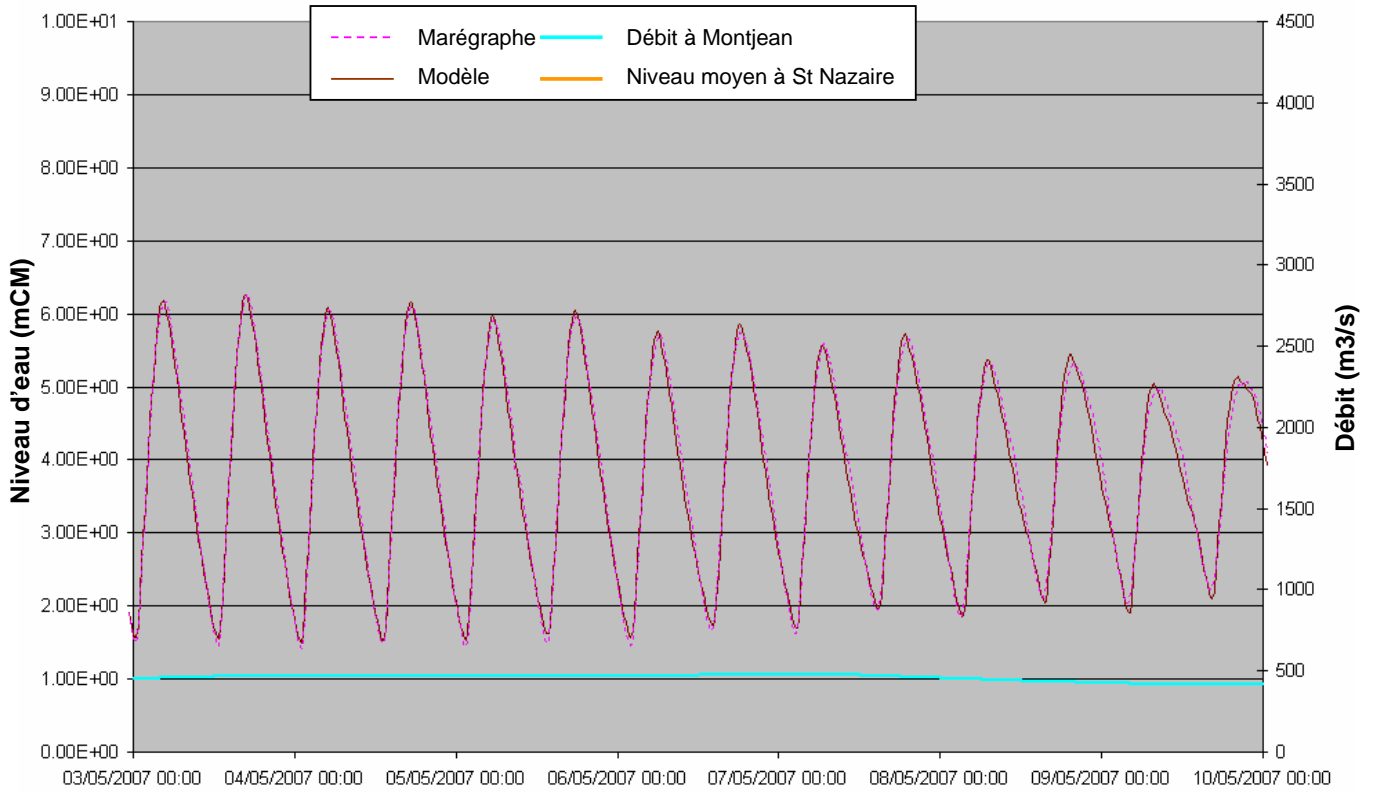


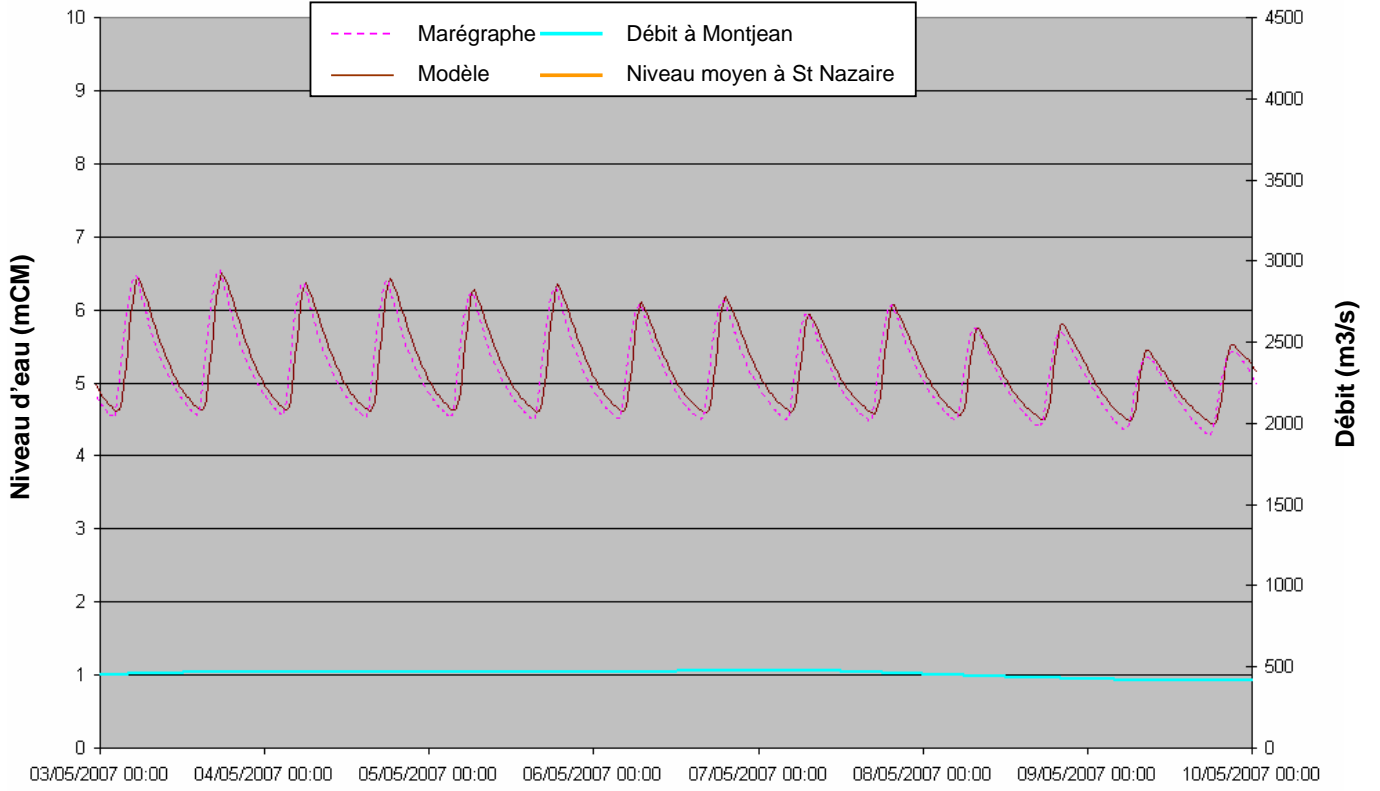
Fig. 2. 14

Calage couplé : Chantenay Q= 500 m3/s



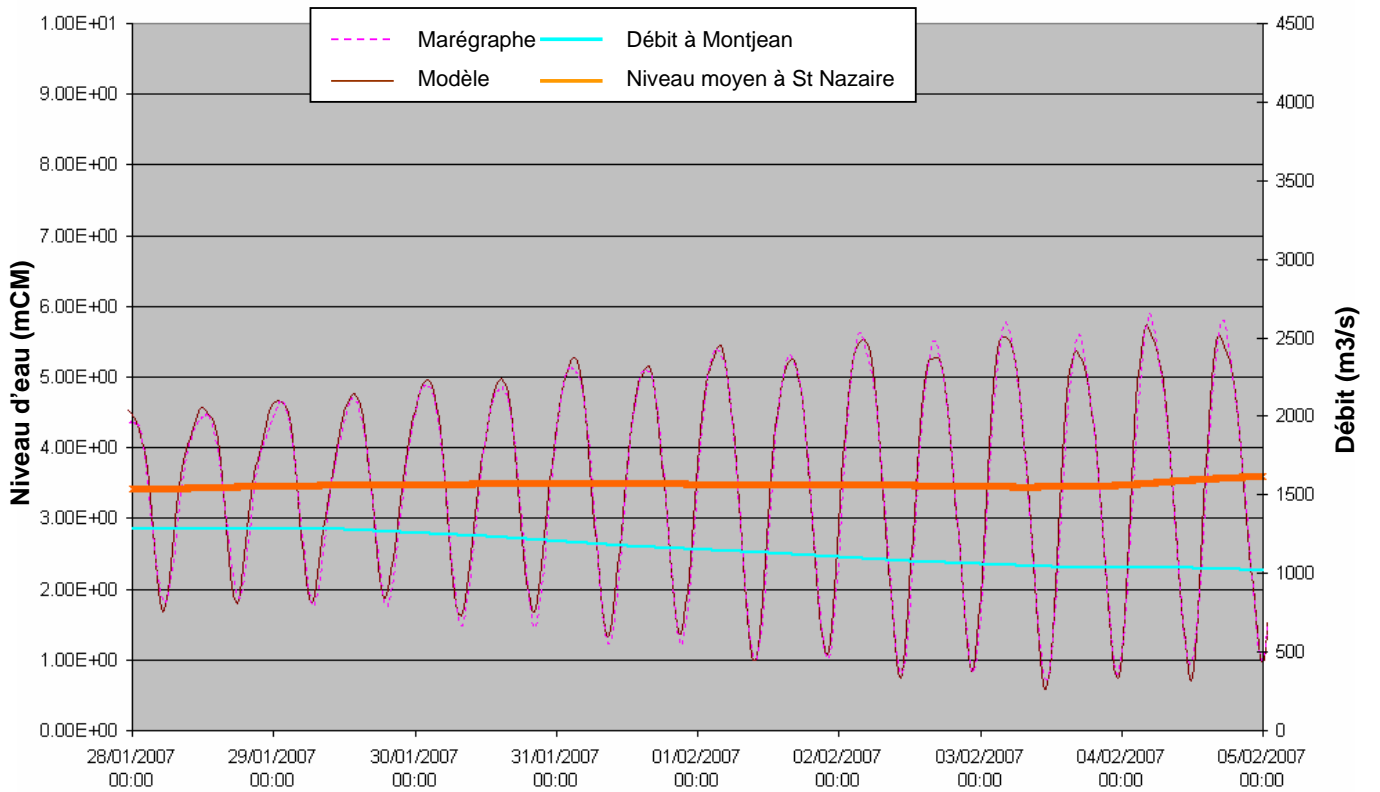
**Fig. 2. 15**

**Calage couplé : Mauves Q= 500 m3/s**



**Fig. 2. 16**

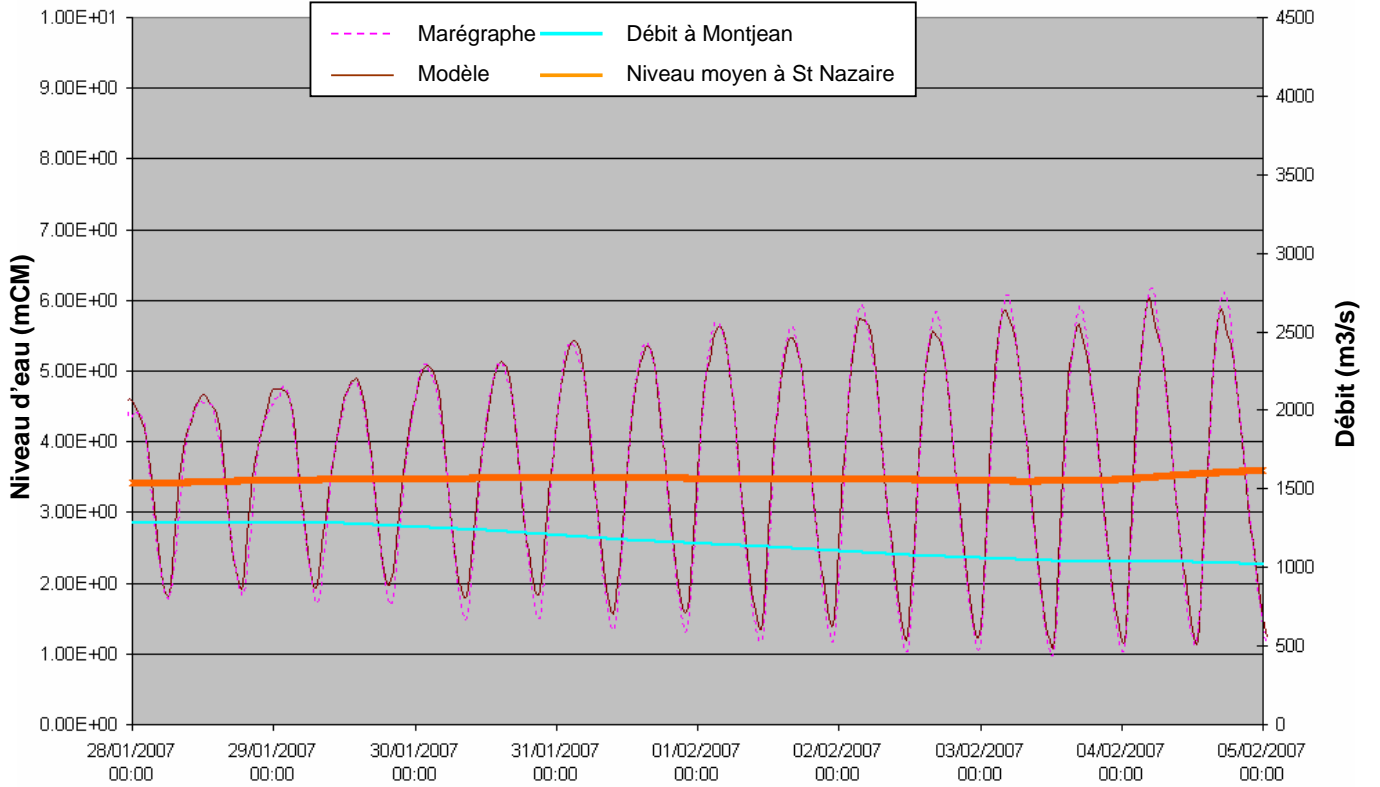
**Calage couplé : Donges Q= 1000 à 1500 m3/s**





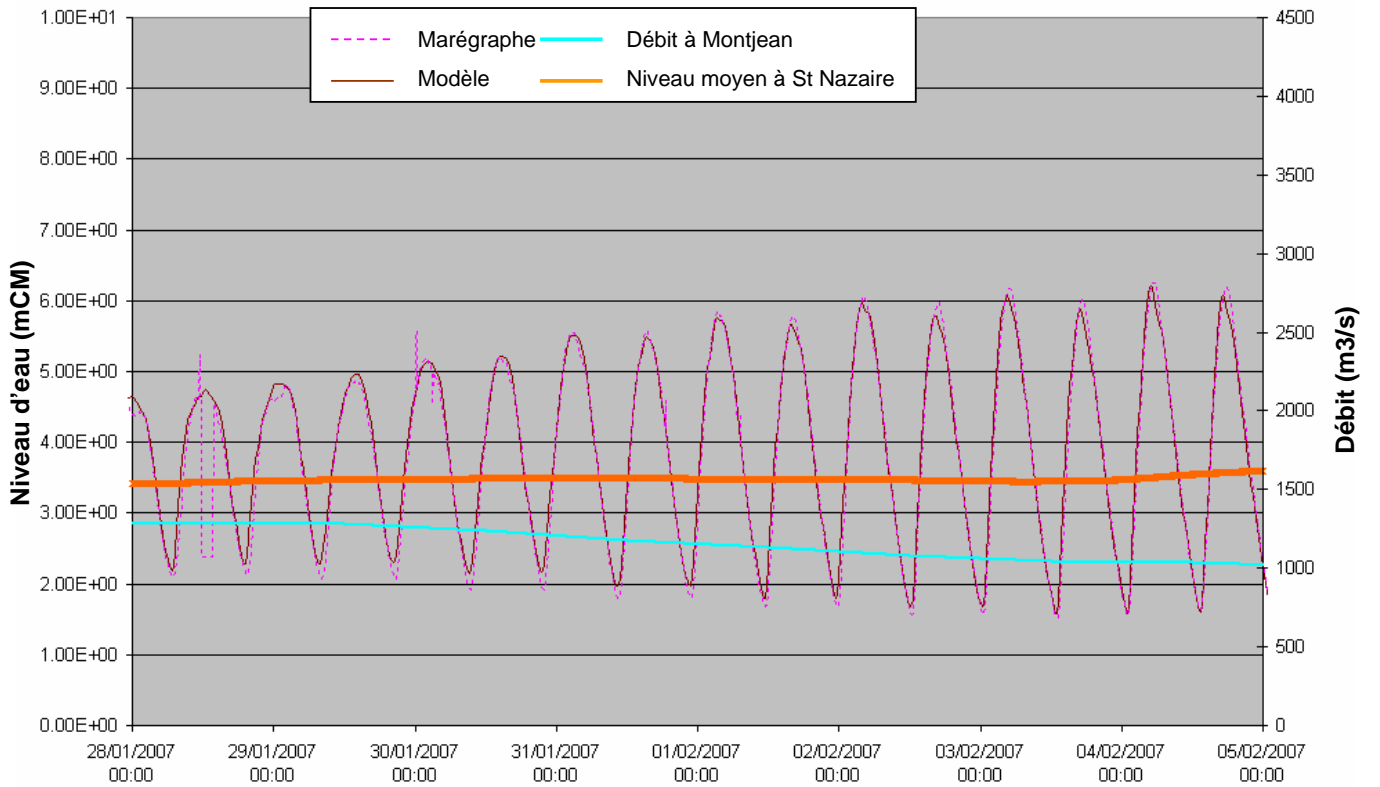
**Fig. 2. 17**

**Calage couplé : Cordemais Q= 1000 à 1500 m3/s**



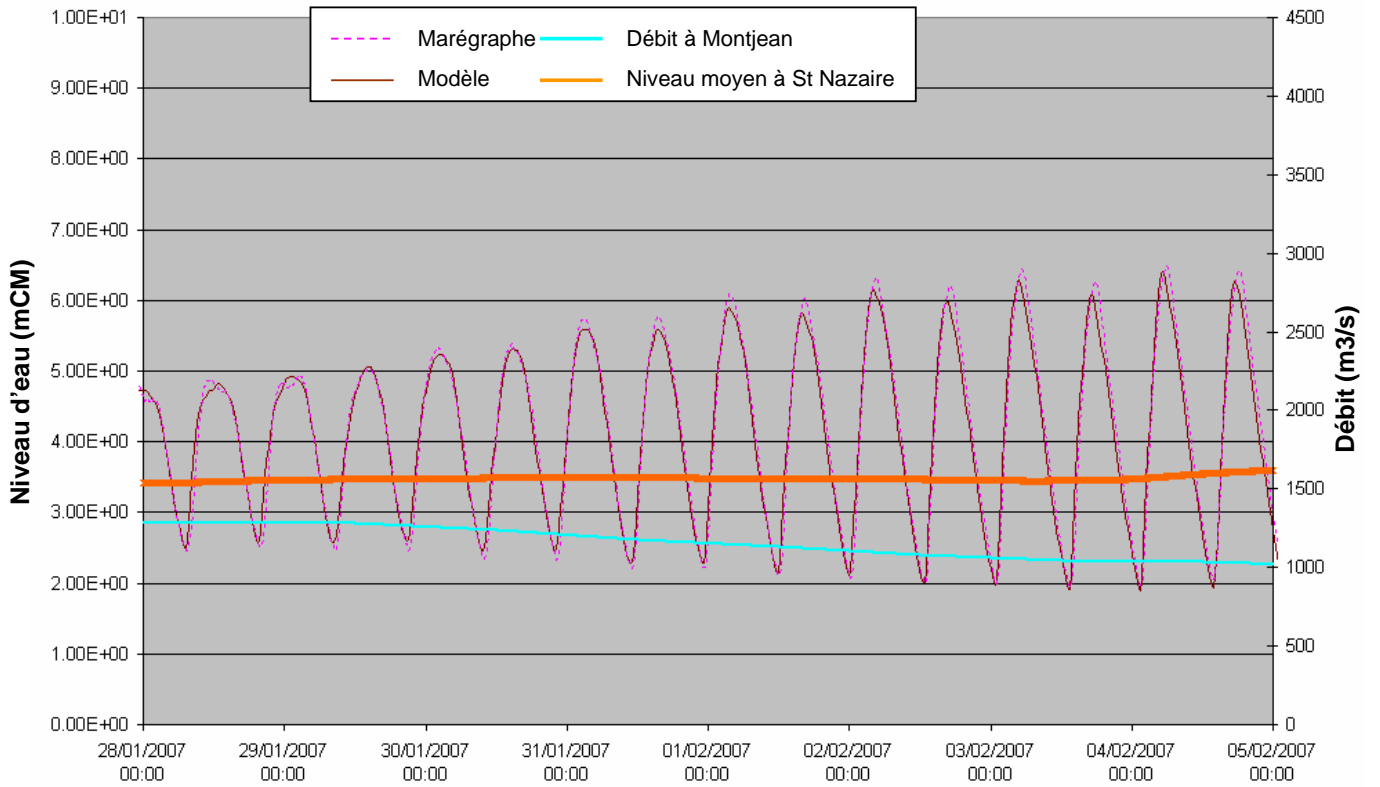
**Fig. 2. 18**

**Calage couplé : Le Pellerin Q= 1000 à 1500 m3/s**



**Fig. 2. 19**

**Calage couplé : Chantenay Q= 1000 à 1500 m3/s**



**Fig. 2. 20**

**Calage couplé : Mauves Q= 1000 à 1500 m3/s**

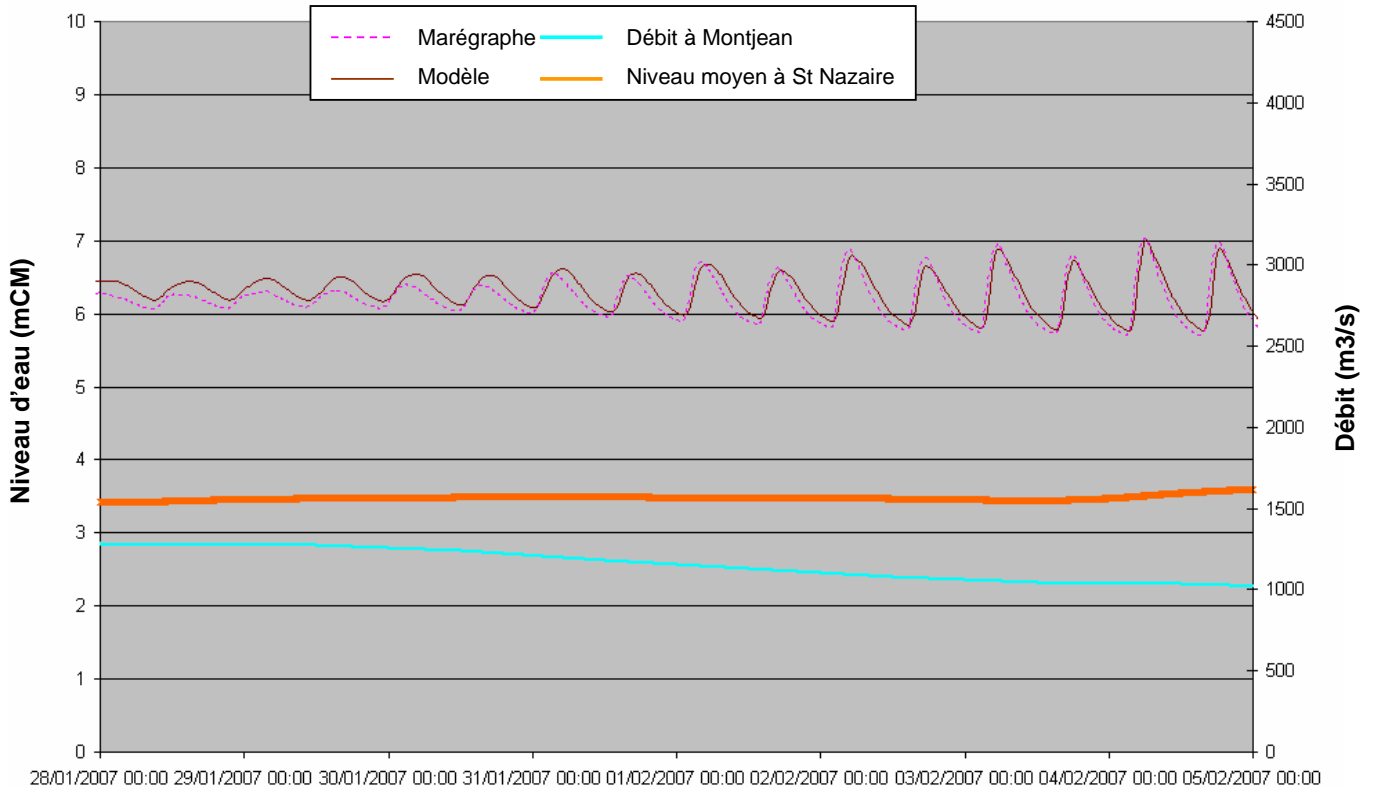




Fig. 2. 21

Calage couplé : Donges Q= 1500 à 2250 m3/s

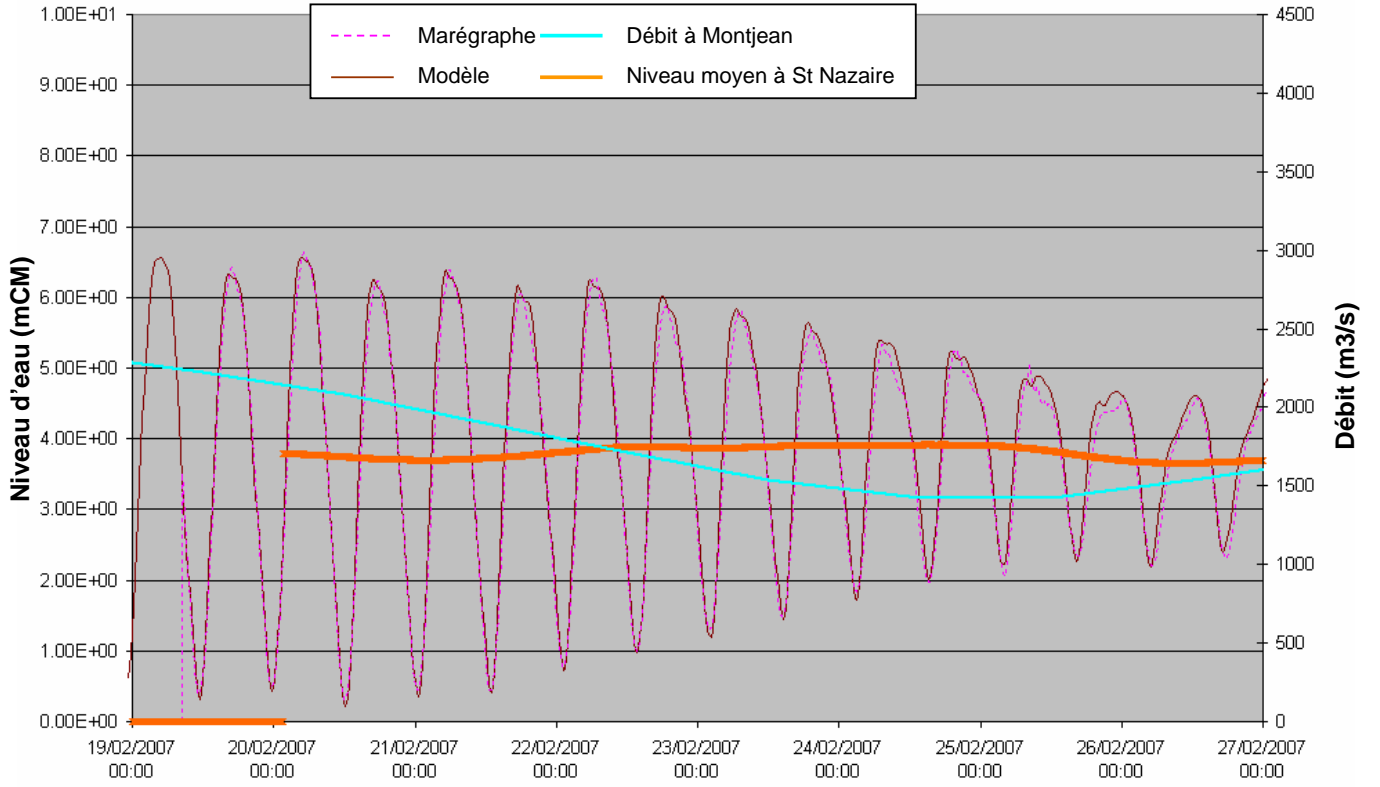
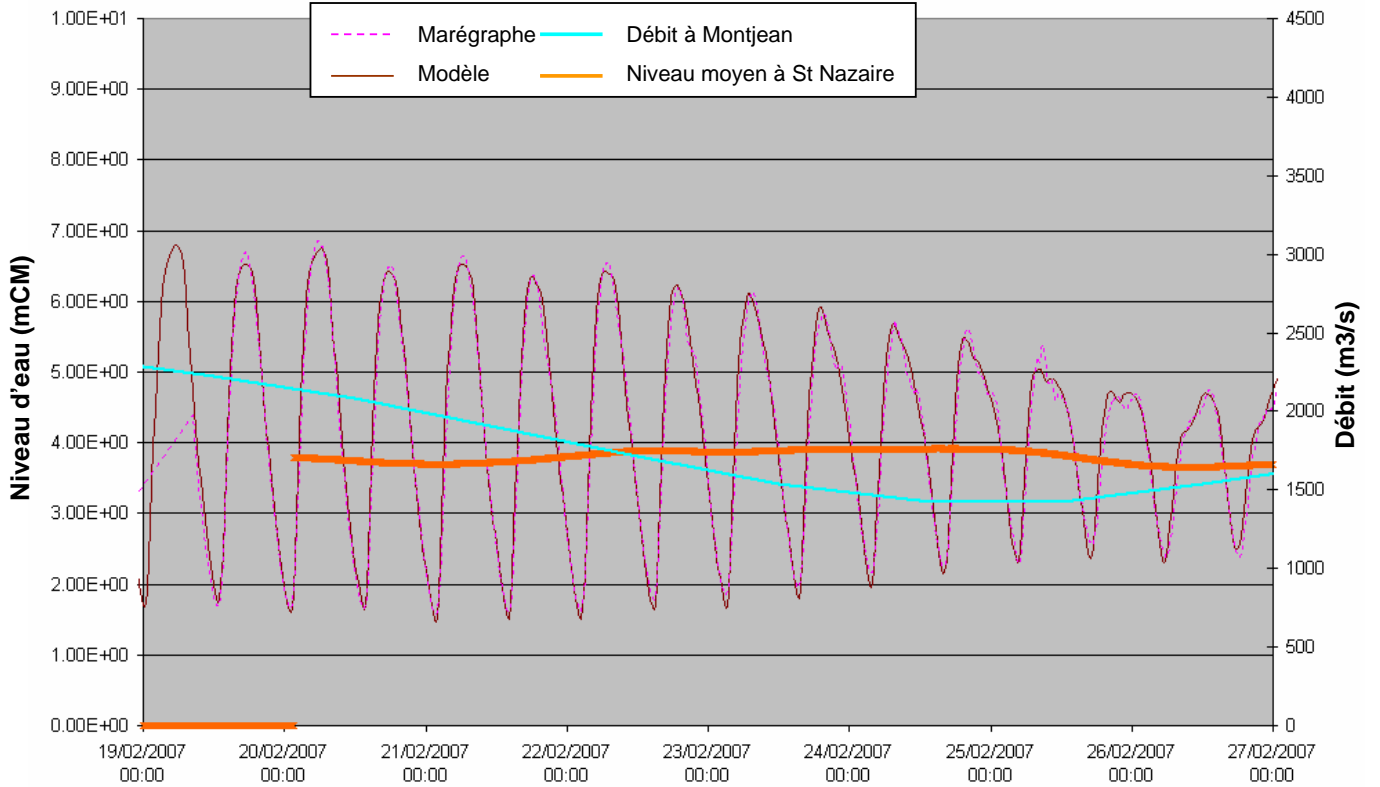


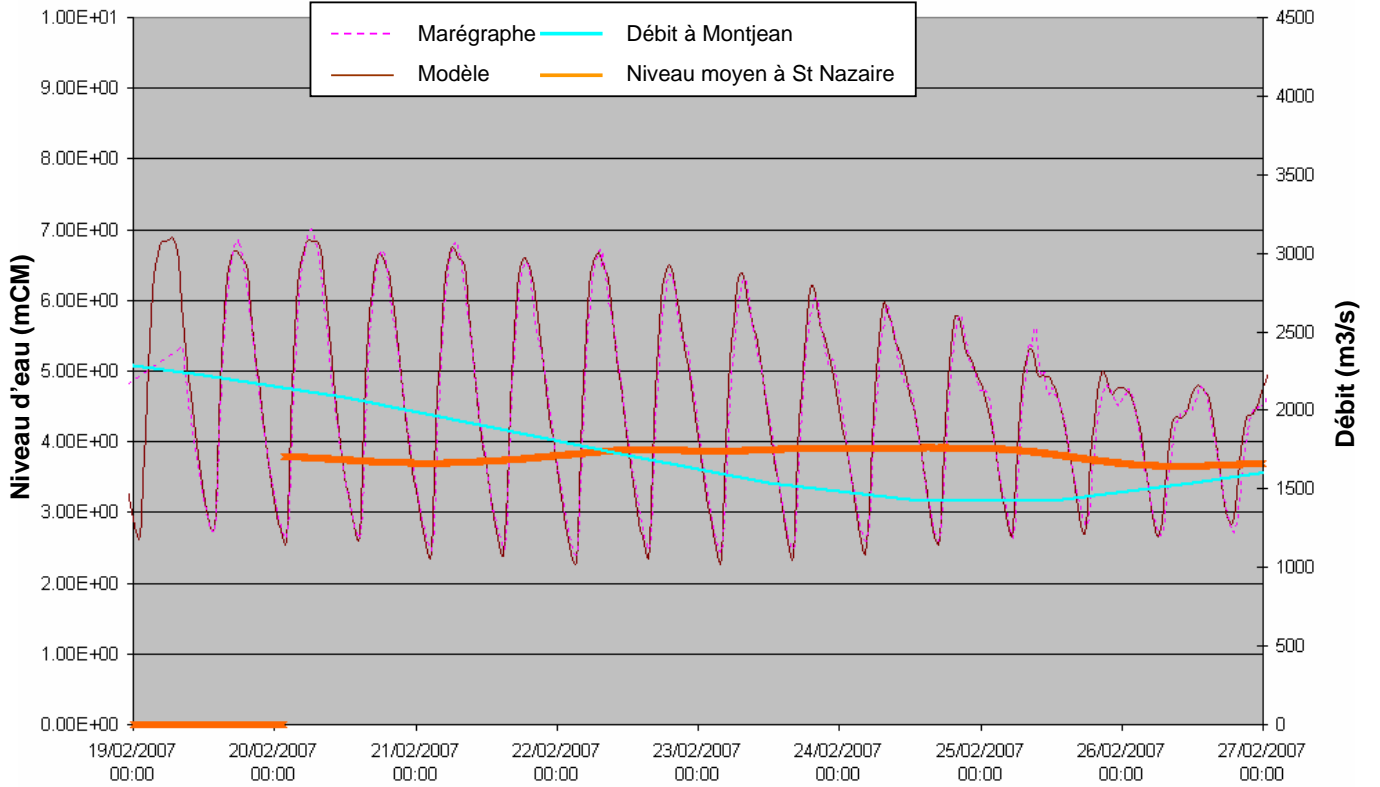
Fig. 2. 22

Calage couplé : Cordemais Q= 1500 à 2250 m3/s



**Fig. 2. 23**

**Calage couplé : Le Pellerin Q= 1500 à 2250 m<sup>3</sup>/s**



**Fig. 2. 24**

**Calage couplé : Chantenay Q= 1500 à 2250 m<sup>3</sup>/s**

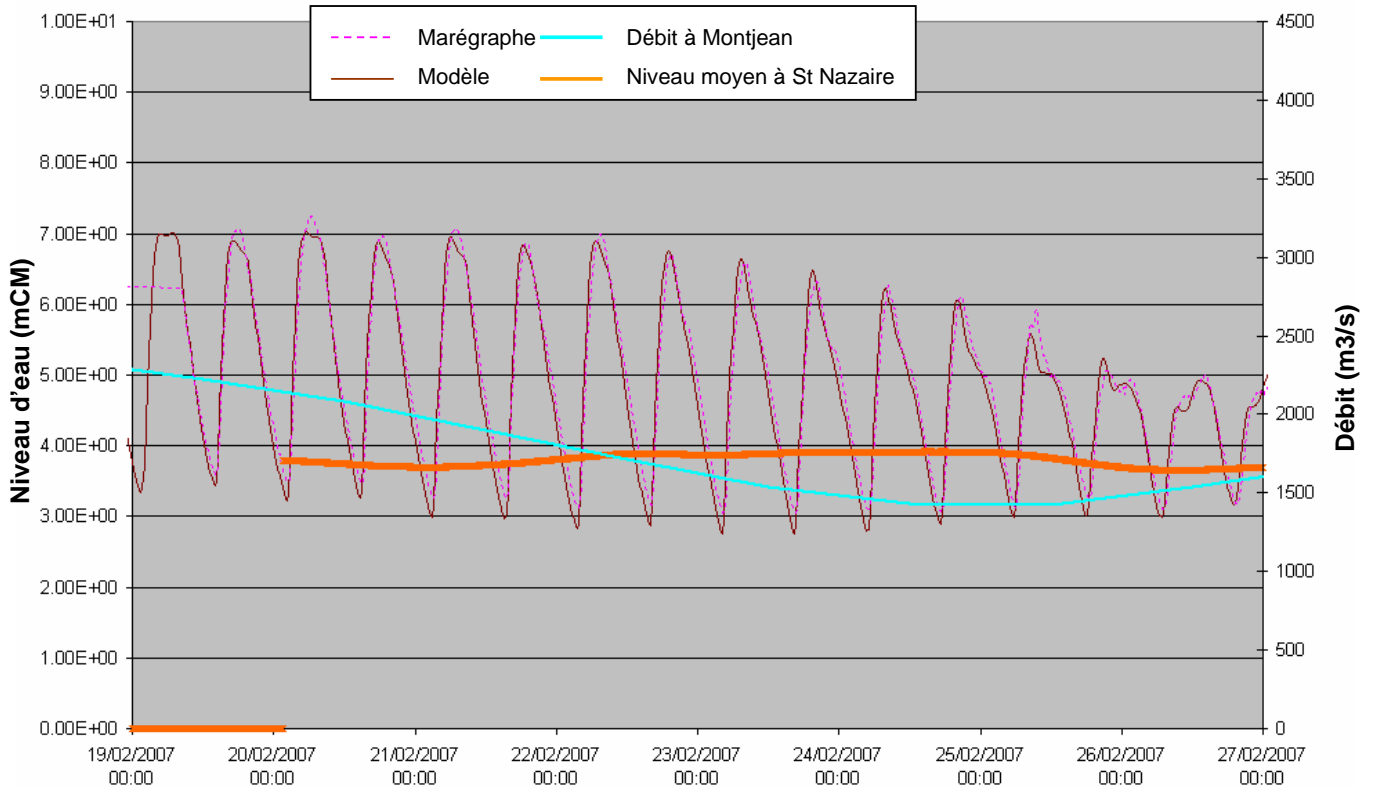


Fig. 2. 25

Calage couplé : Mauves Q= 1500 à 2250 m<sup>3</sup>/s

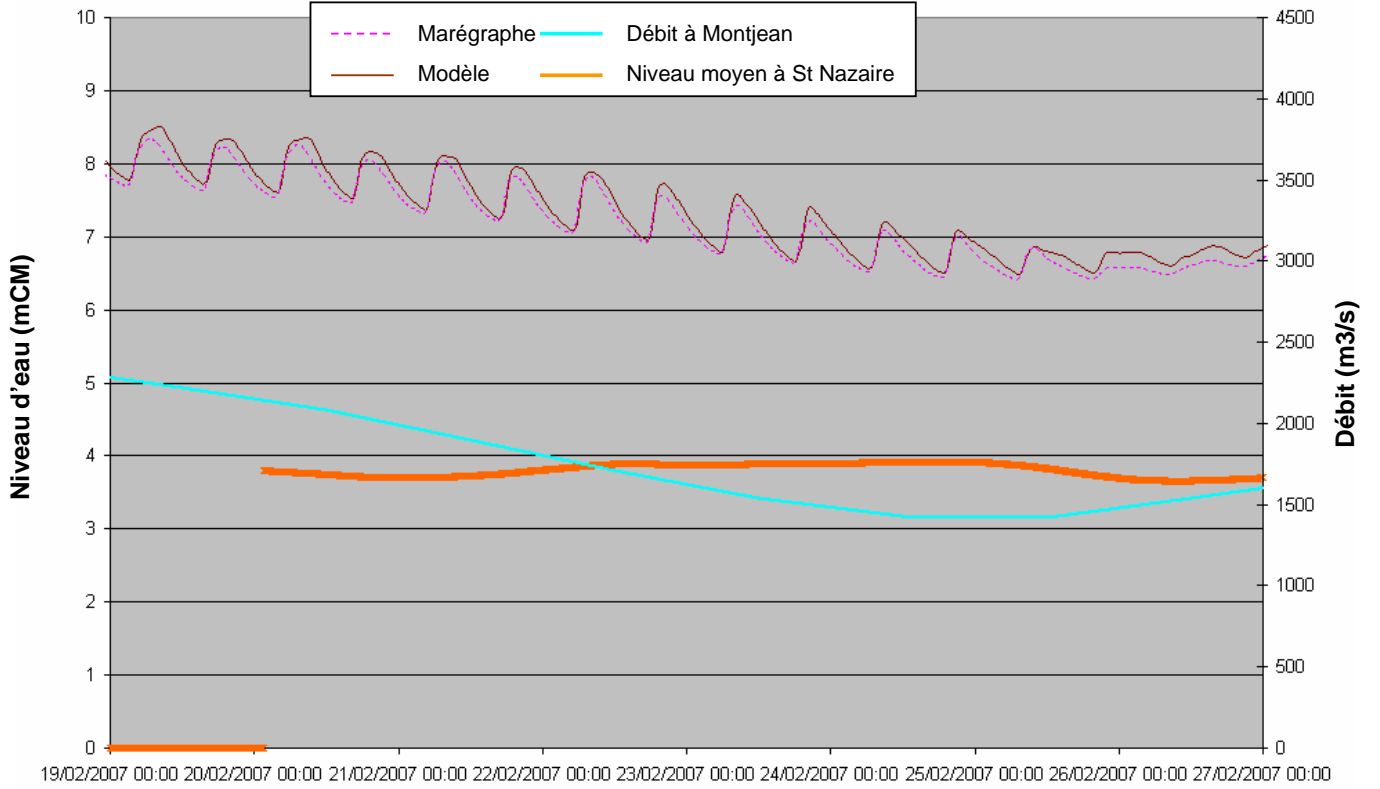


Fig. 2. 26

Calage couplé : Donges Q= 2250 à 4000 m<sup>3</sup>/s

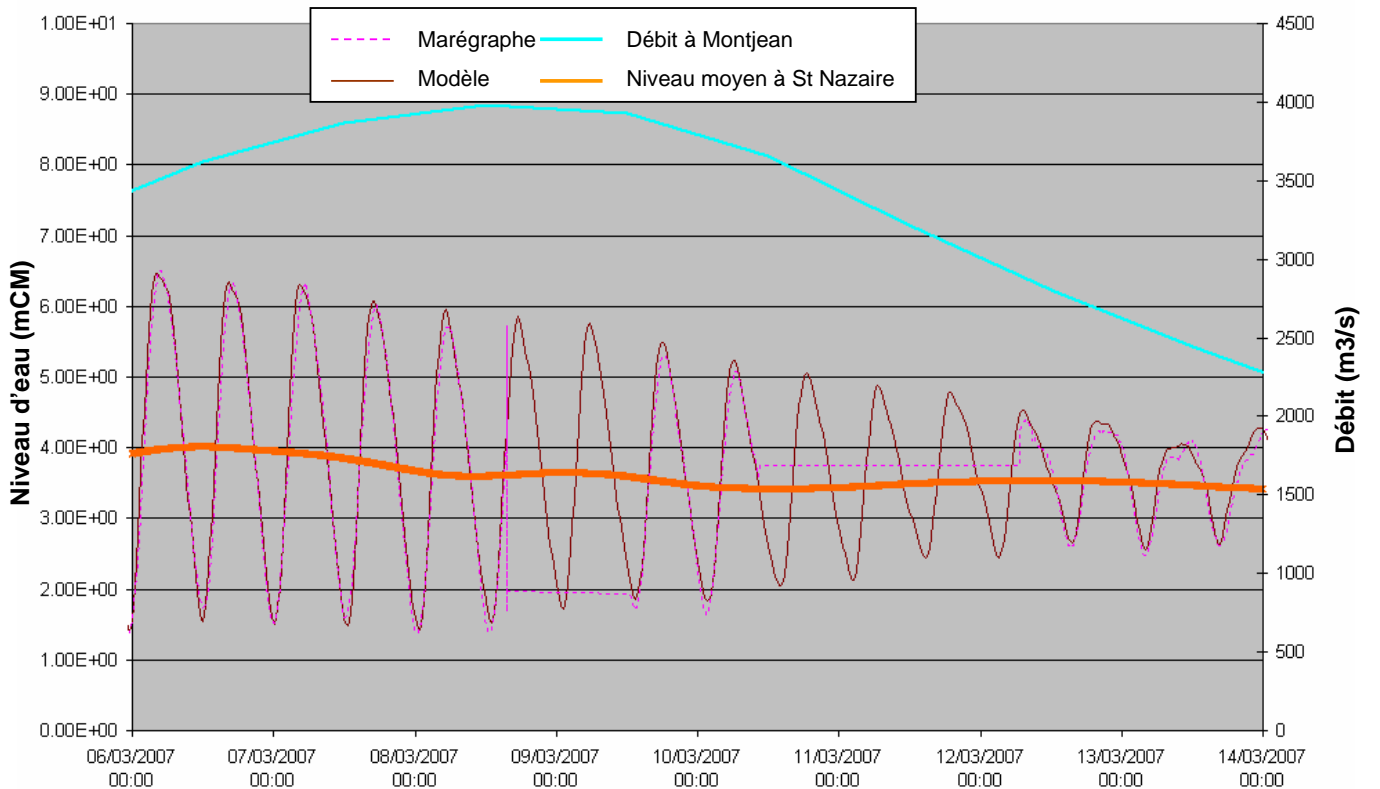




Fig. 2. 27

Calage couplé : Cordemais Q= 2250 à 4000 m<sup>3</sup>/s

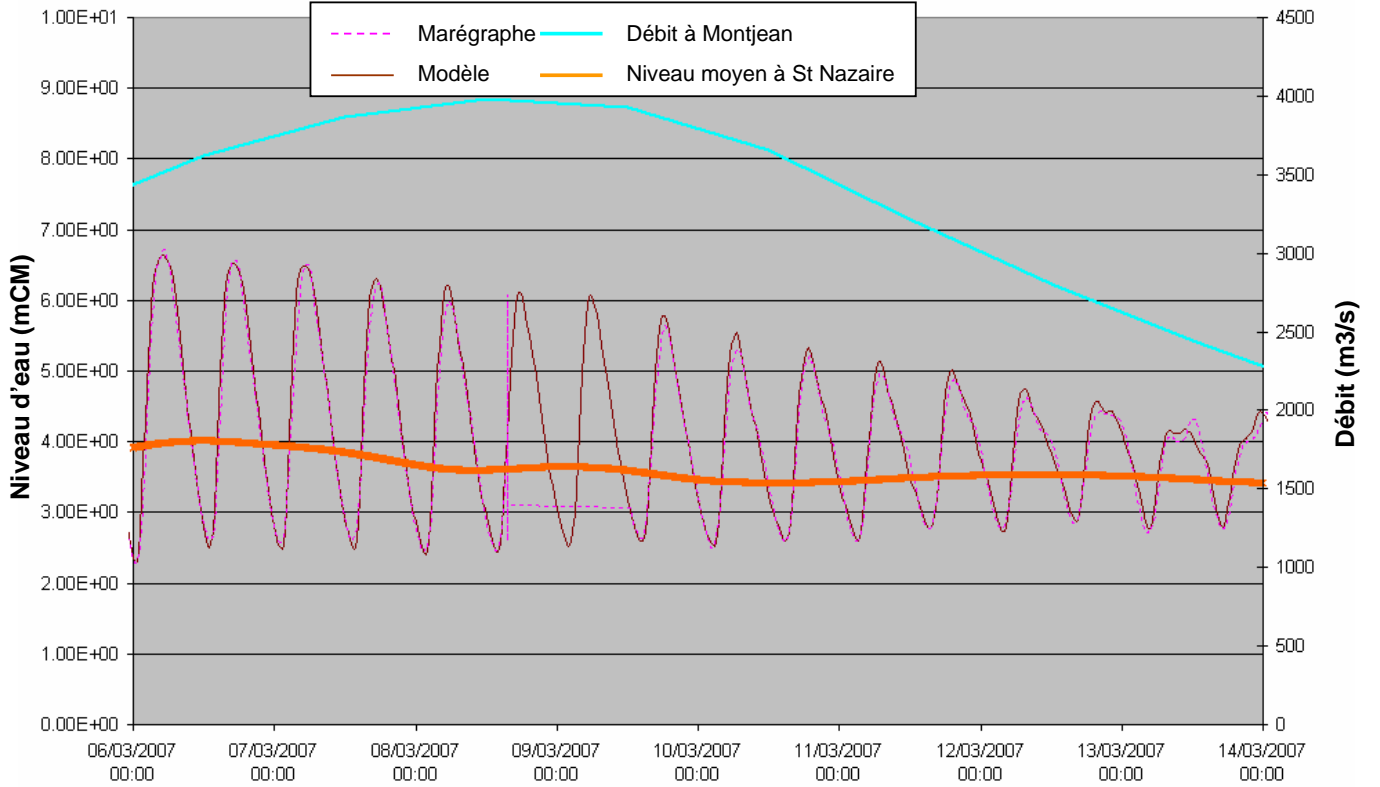


Fig. 2. 28

Calage couplé : Le Pellerin Q= 2250 à 4000 m<sup>3</sup>/s

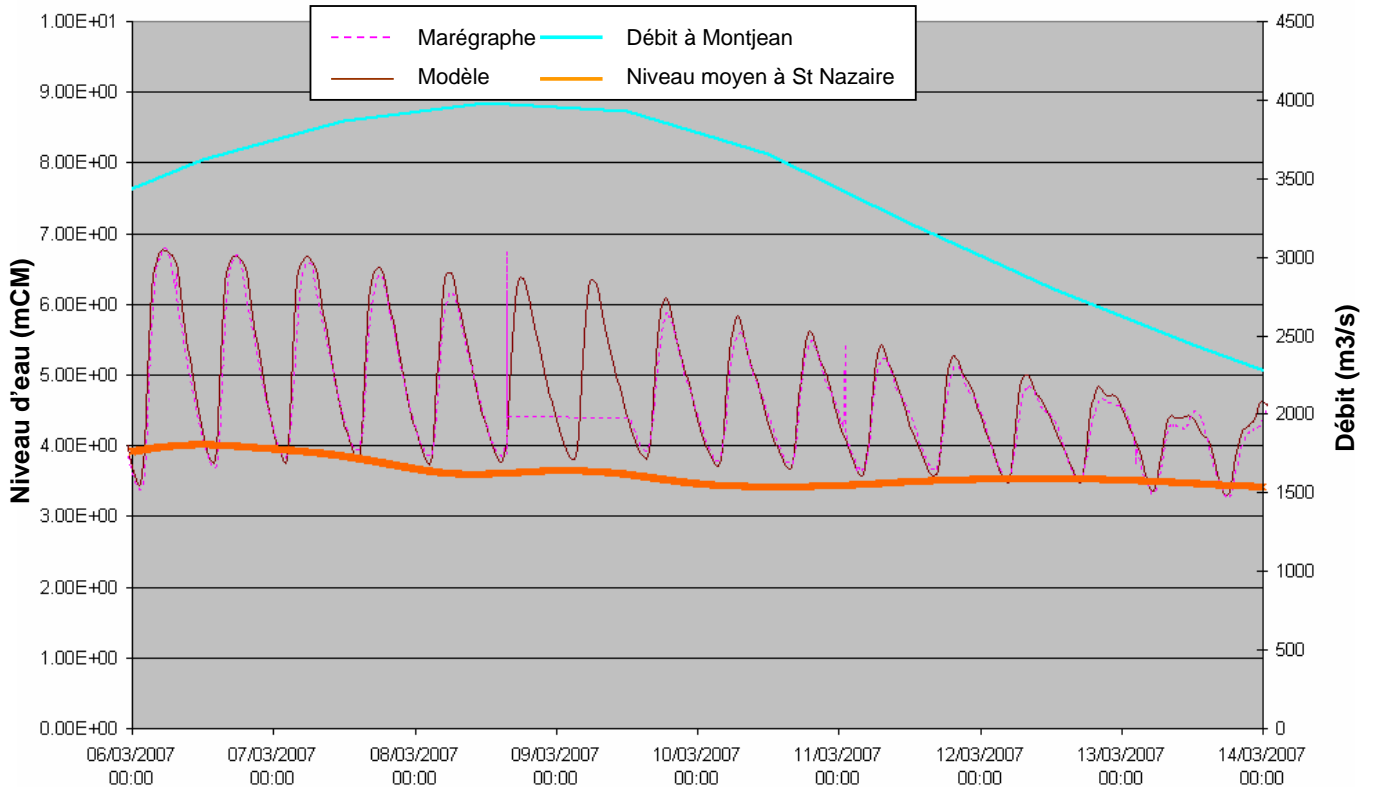






Fig. 2. 29

Calage couplé : Chantenay Q= 2250 à 4000 m3/s

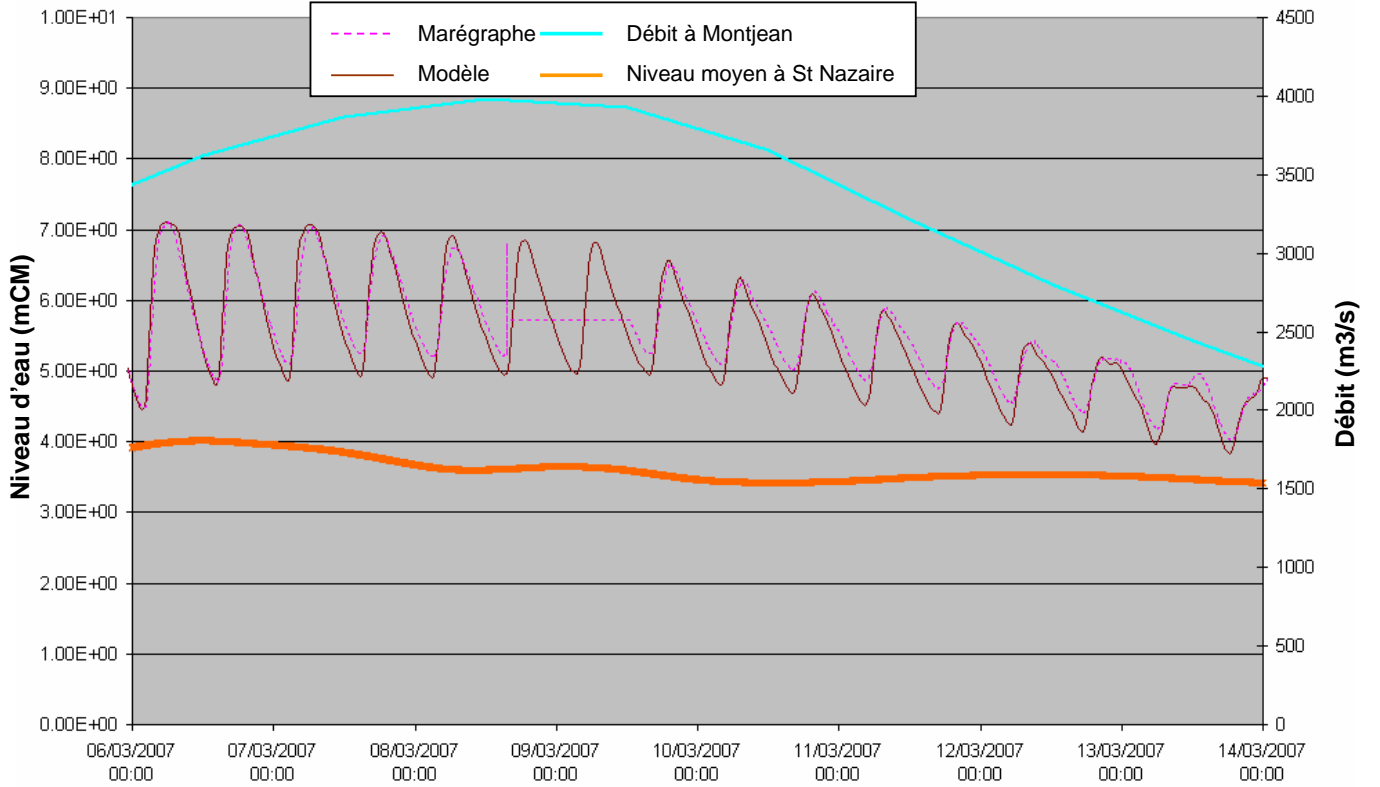


Fig. 2. 30

Calage couplé : Mauves Q= 2250 à 4000 m3/s

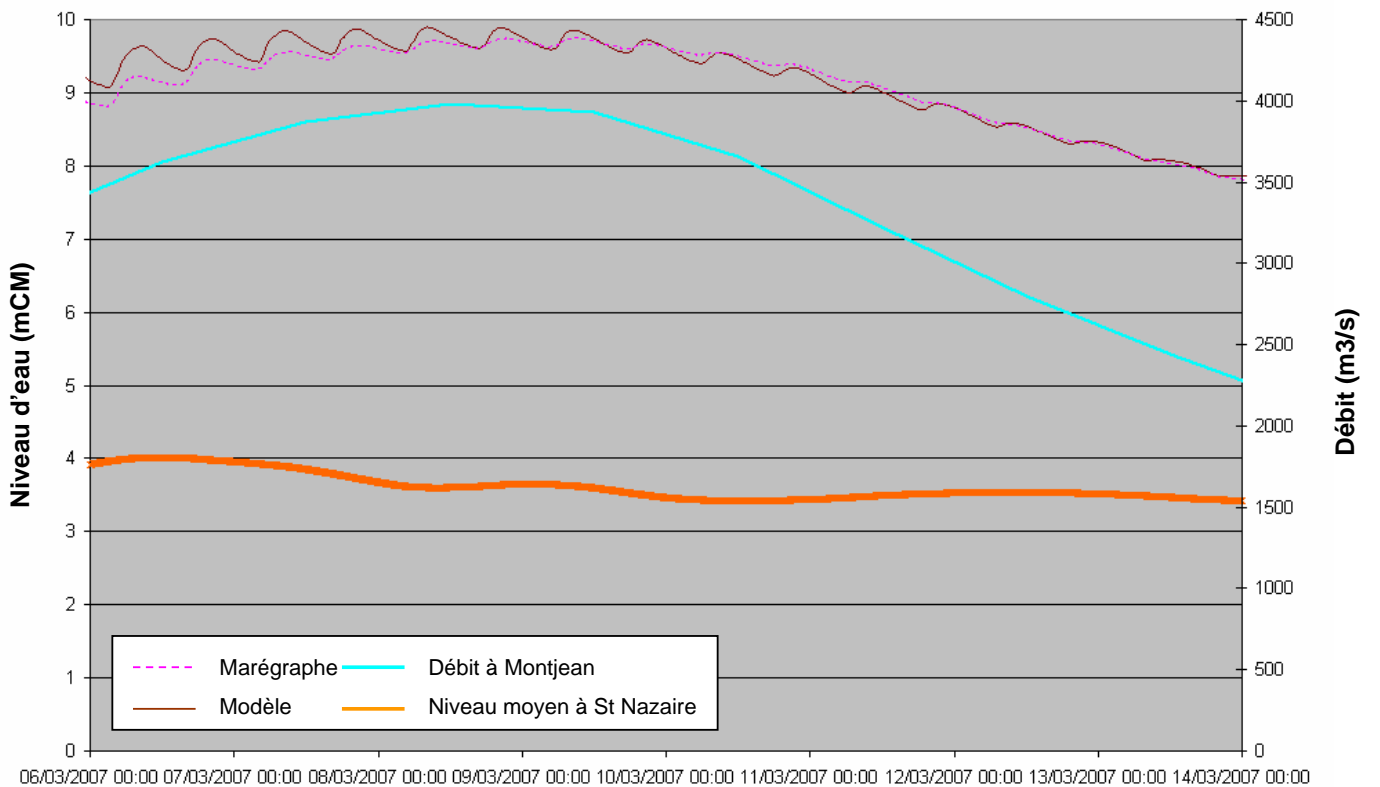




Fig. 3. 1

Calage couplé: cubatures dépôt + suspension

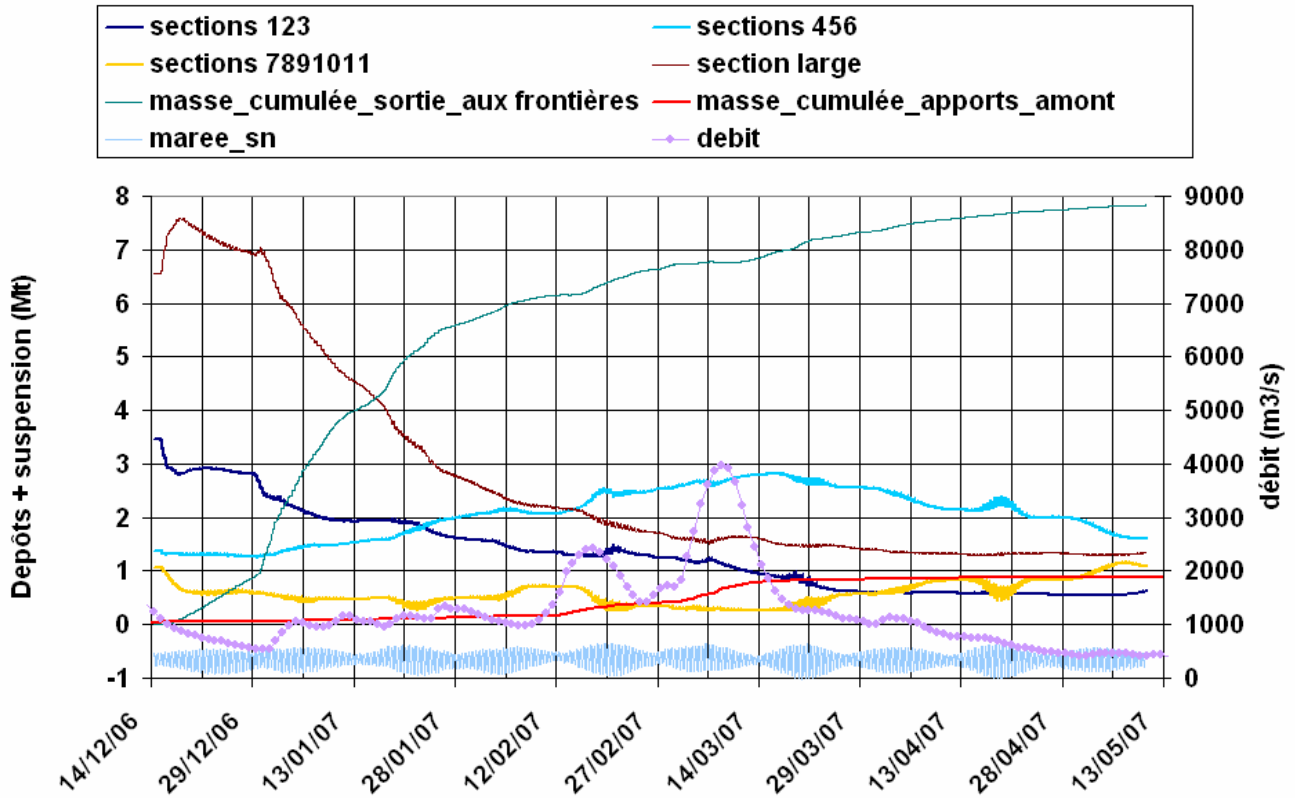


Fig. 3. 2

Calage couplé: cubatures suspension

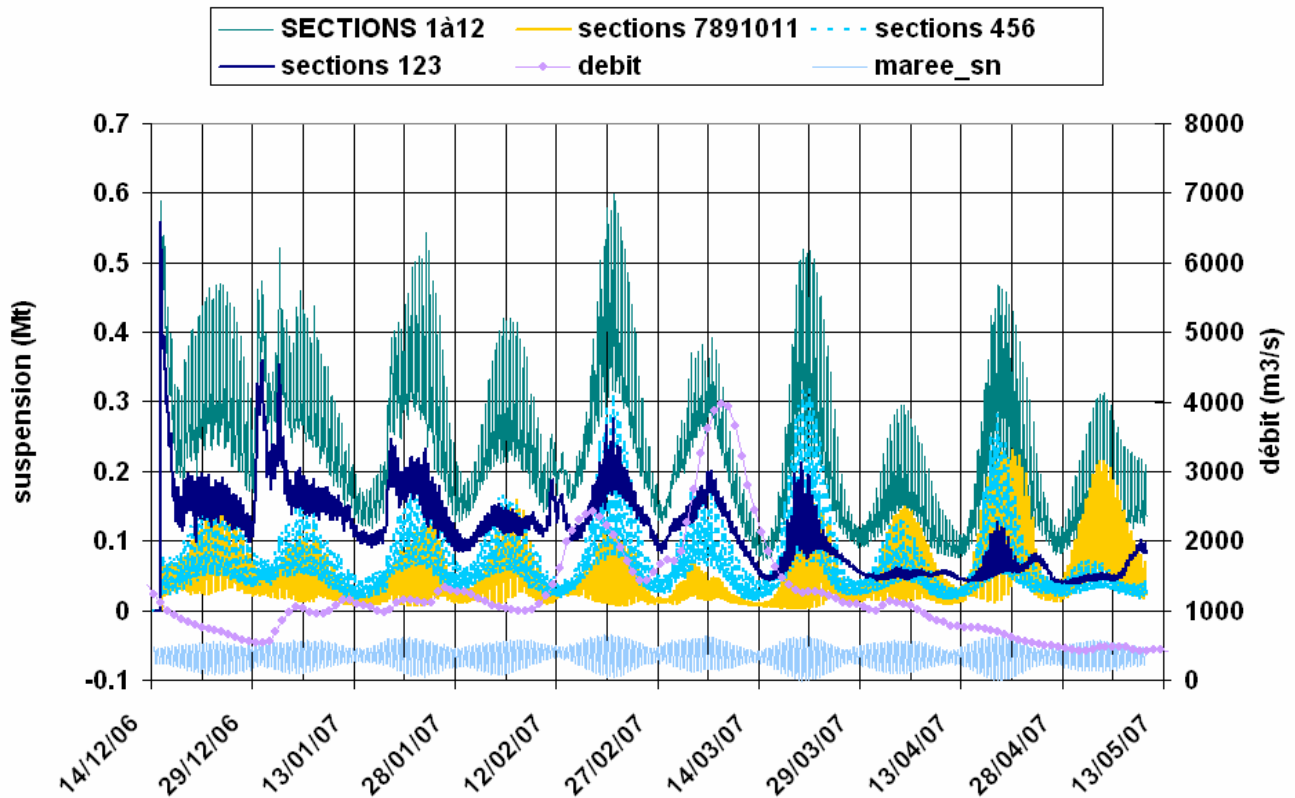




Fig. 3. 3

Calage couplé: cubature dépôt + suspension pour les fond > 0mCM

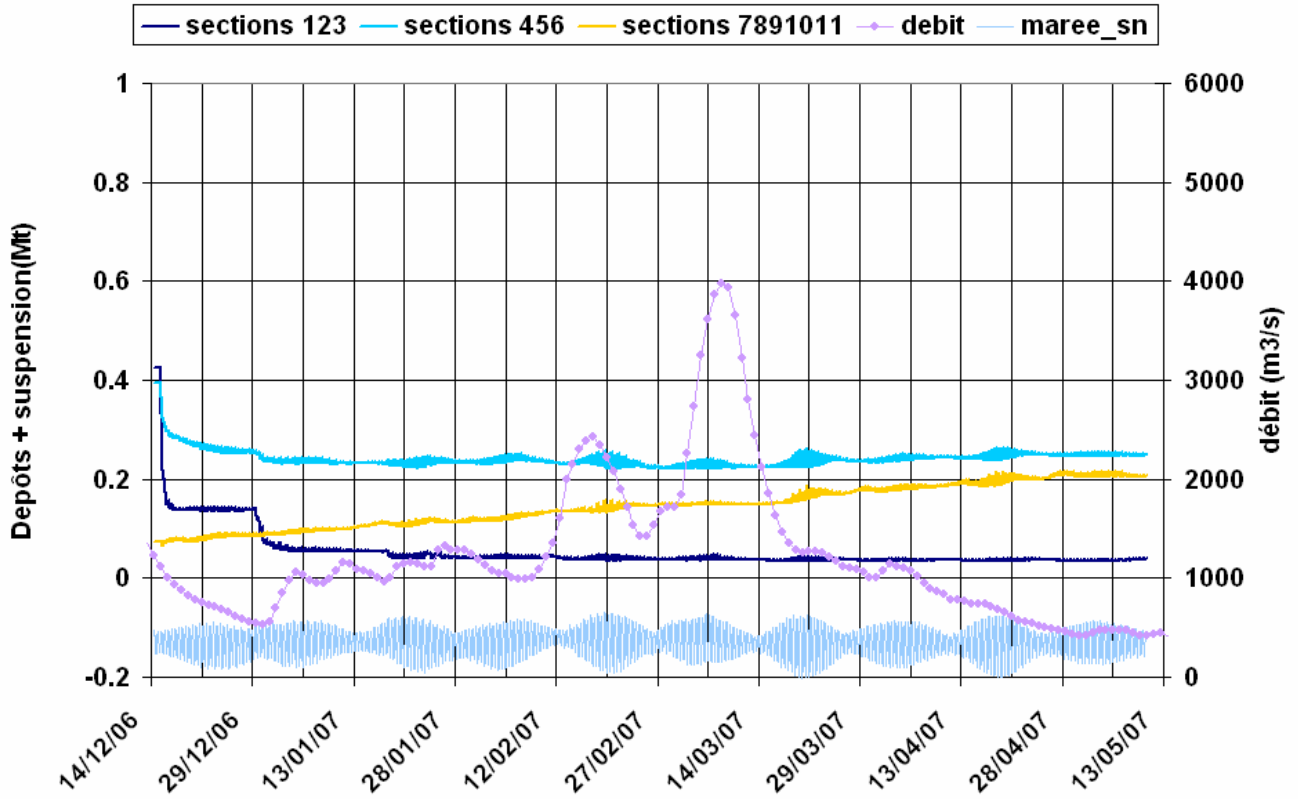
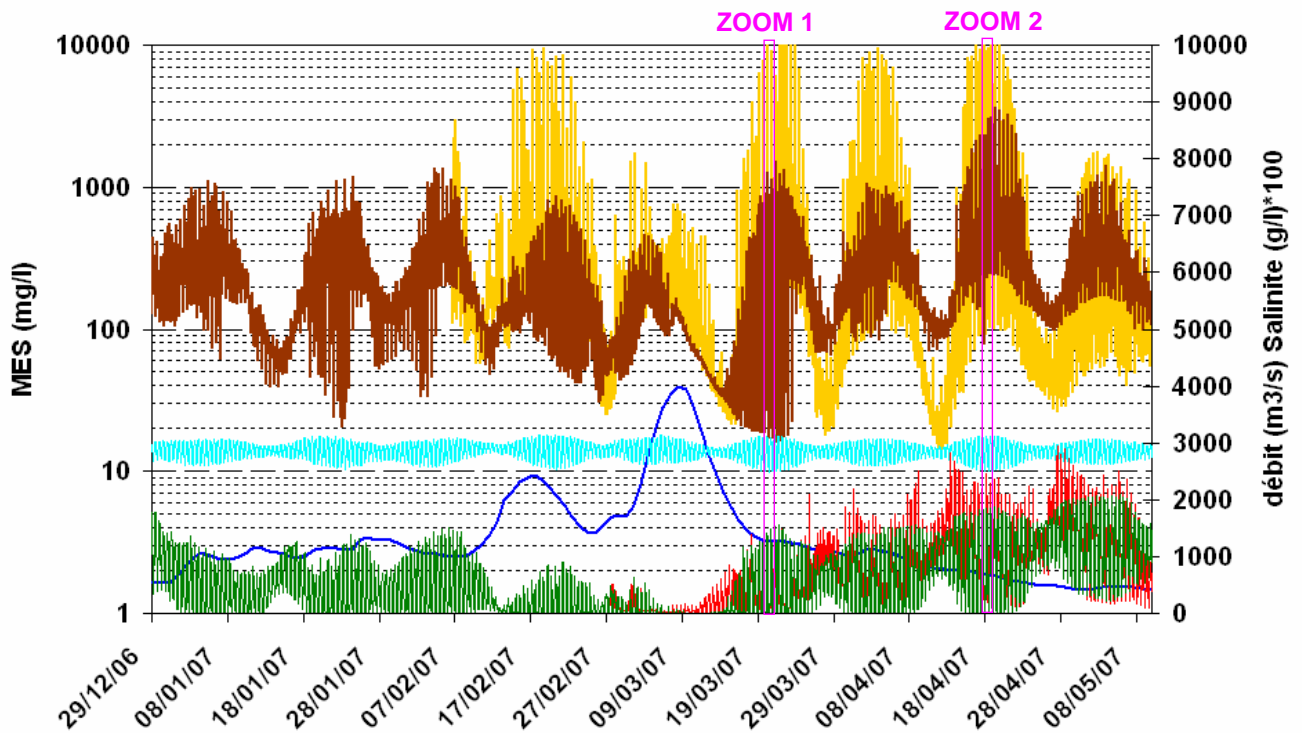


Fig. 3. 4

Calage couplé: Station Paimboeuf (surface) vue globale

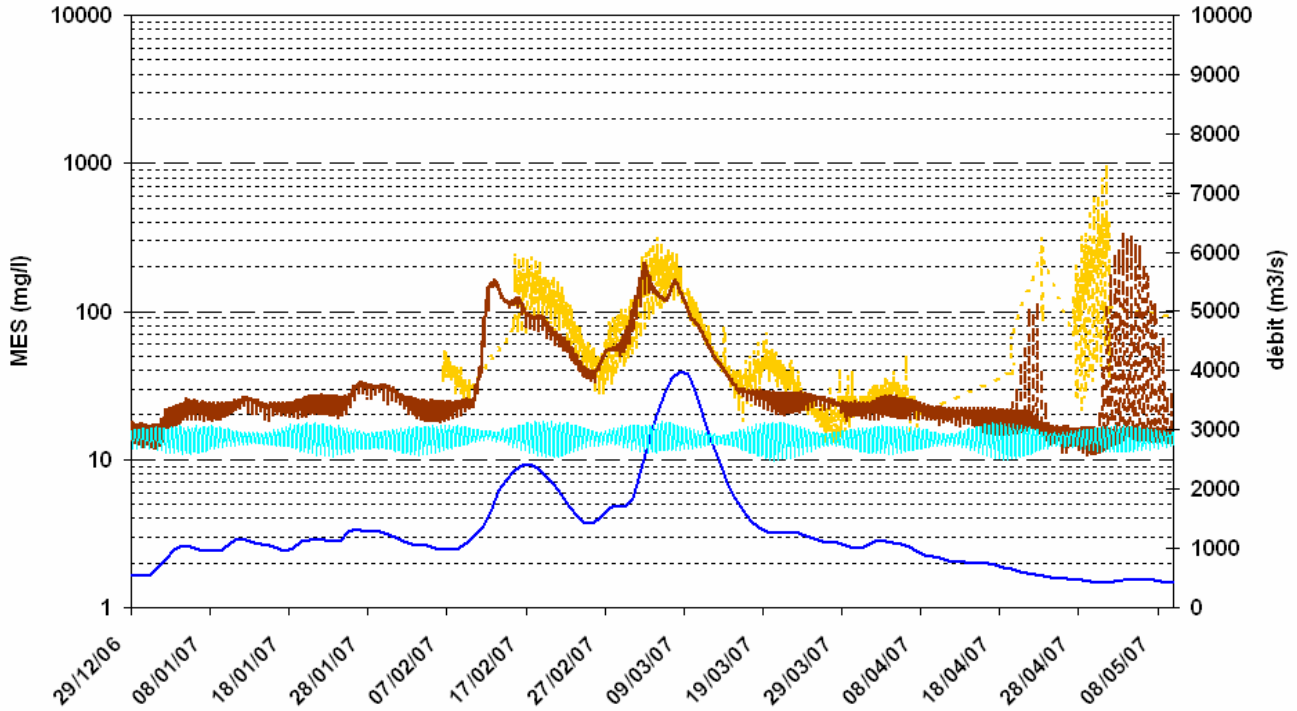
- Mes mesurée en surface (1,2\*NTU)    — Salinité mesurée en surface    — Marée à St nazaire
- Mes calculée en surface    — Salinité calculée en surface    — Débit à Montjean



**Fig. 3. 5**

**Calage couplé :  
Station Le Pellerin (surface) vue globale**

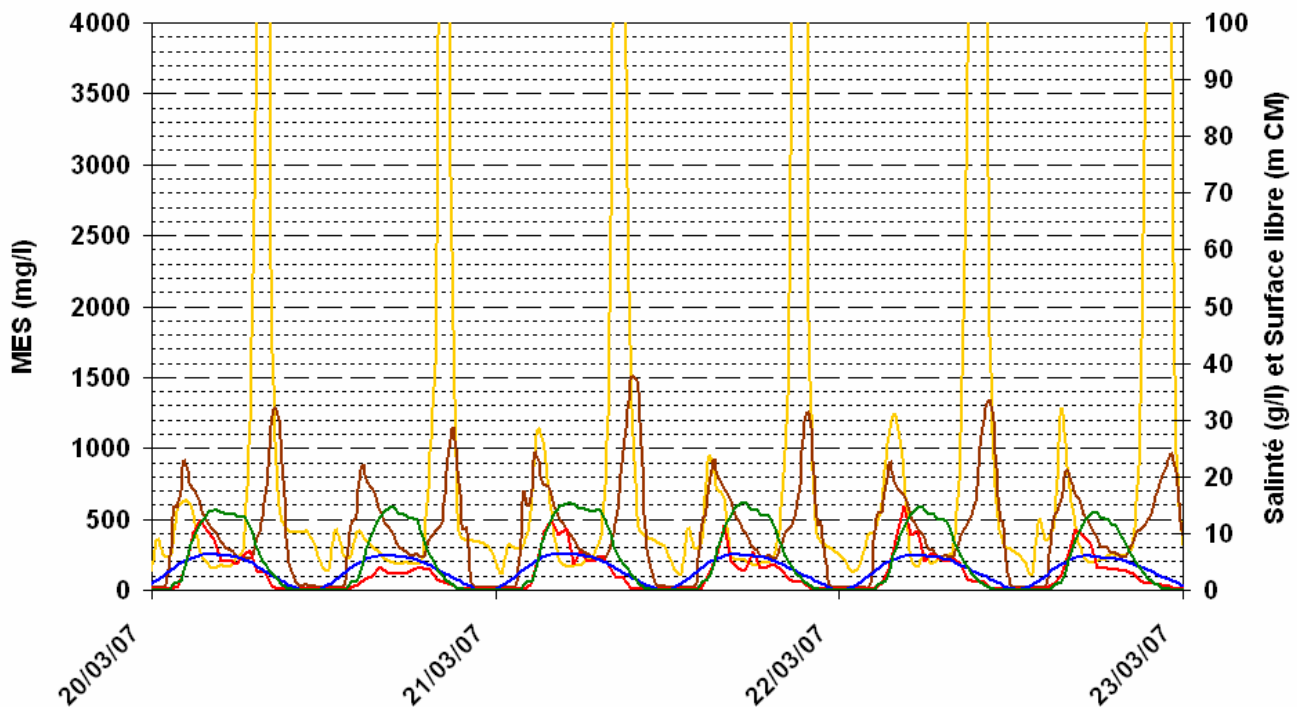
- Mes mesurée en surface (1,2\*NTU)    — Salinité mesurée en surface    — Marée à St nazaire
- Mes calculée en surface            — Salinité calculée en surface    — Débit à Montjean



**Fig. 3. 6**

**Calage couplé :  
Station Paimboeuf (surface) zoom 1**

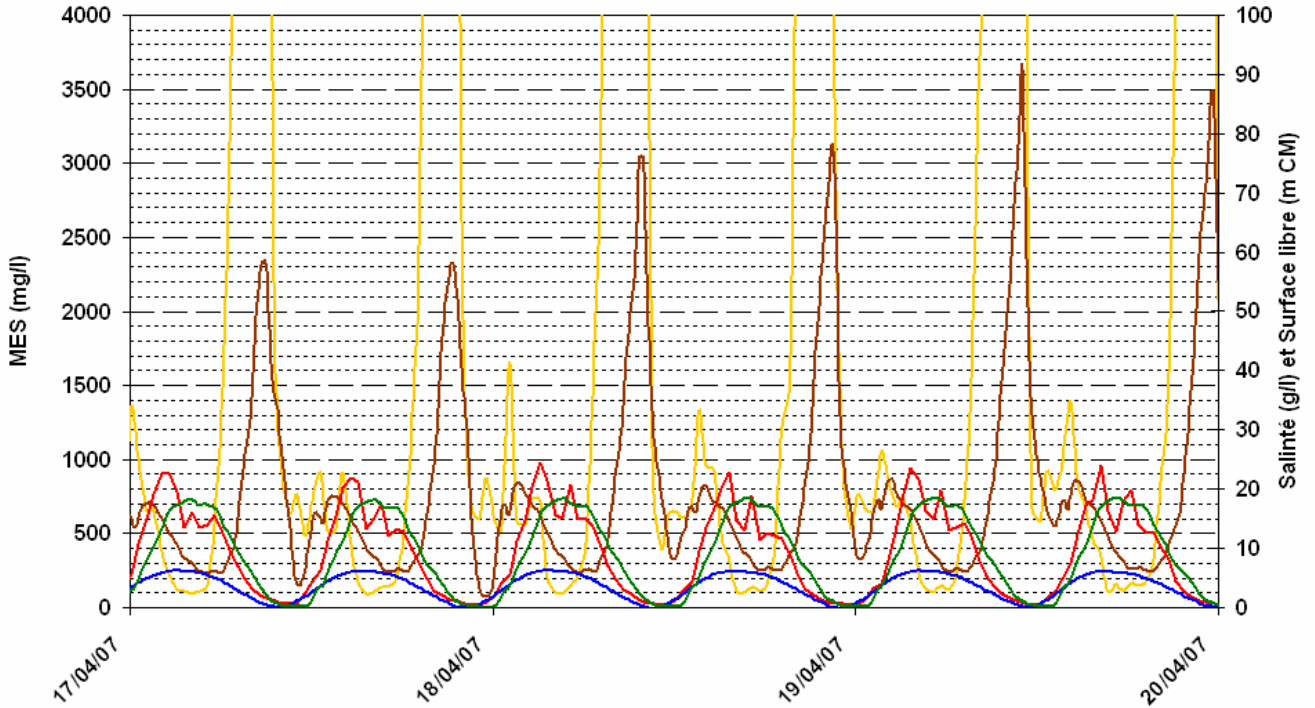
- Mes mesurée en surface (1,2\*NTU)    — Salinité mesurée en surface    — Marée à St nazaire
- Mes calculée en surface            — Salinité calculée en surface    — Débit à Montjean



**Fig. 3. 7**

**Calage couplé :  
Station Paimboeuf (surface) zoom 2**

- Mes mesurée en surface (1,2\*NTU)      — Salinité mesurée en surface      — Marée à St nazaire
- Mes calculée en surface                      — Salinité calculée en surface      — Débit à Montjean



**Fig. 3. 8**

**Calage couplé: Épaisseurs de vase**

**Épaisseur de vase totale (m)**

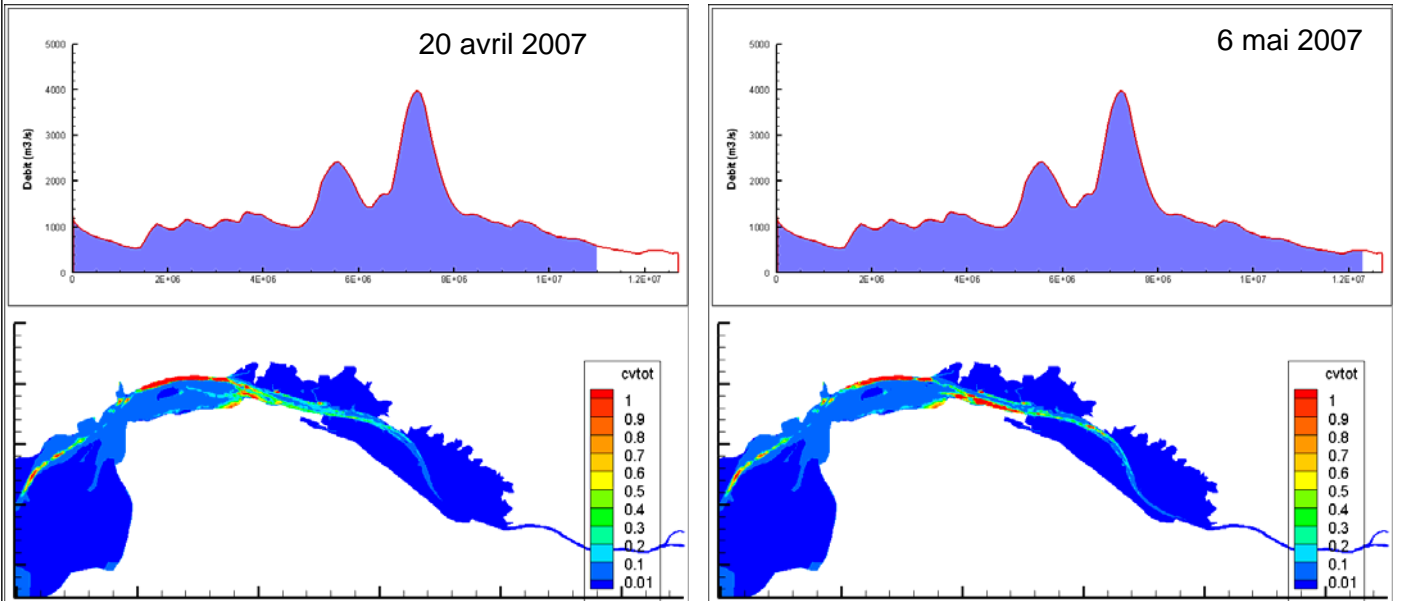




Fig. 4.1

**Profils de vitesses dans le modèle 3D LM multicouche au niveau de Montoir: 2 janvier 2004/ coef.42 / Q= 1310 m<sup>3</sup>/s**

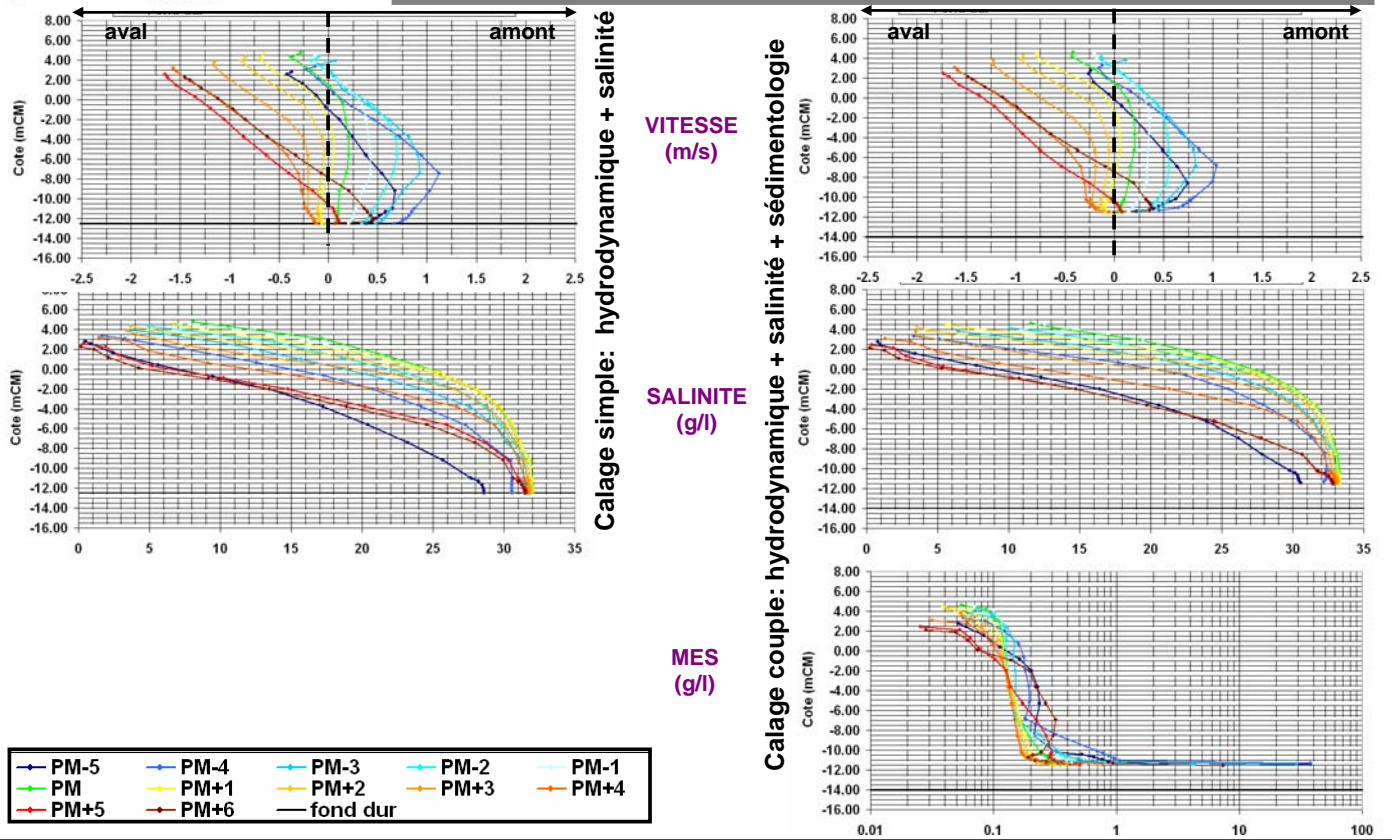


Fig. 4.2

**Profils de vitesses dans le modèle 3D LM multicouche au niveau de Montoir: 9 janvier 2004/ coef.77 / Q= 1120 m<sup>3</sup>/s**

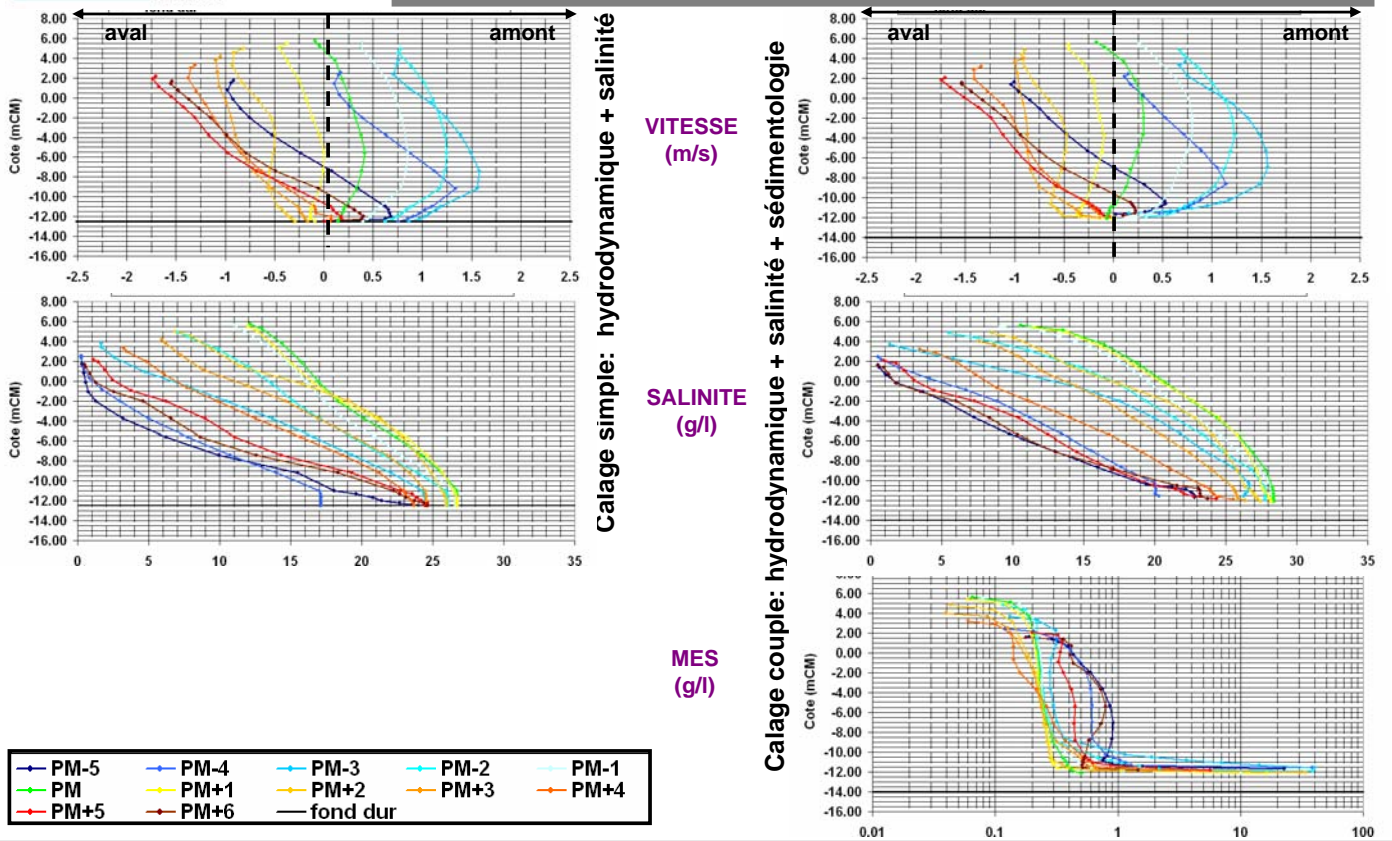




Fig. 4.3

**Profils de vitesses dans le modèle 3D LM multicouche au niveau de Montoir: 24 janvier 2004/ coef.95 / Q= 4310 m<sup>3</sup>/s**

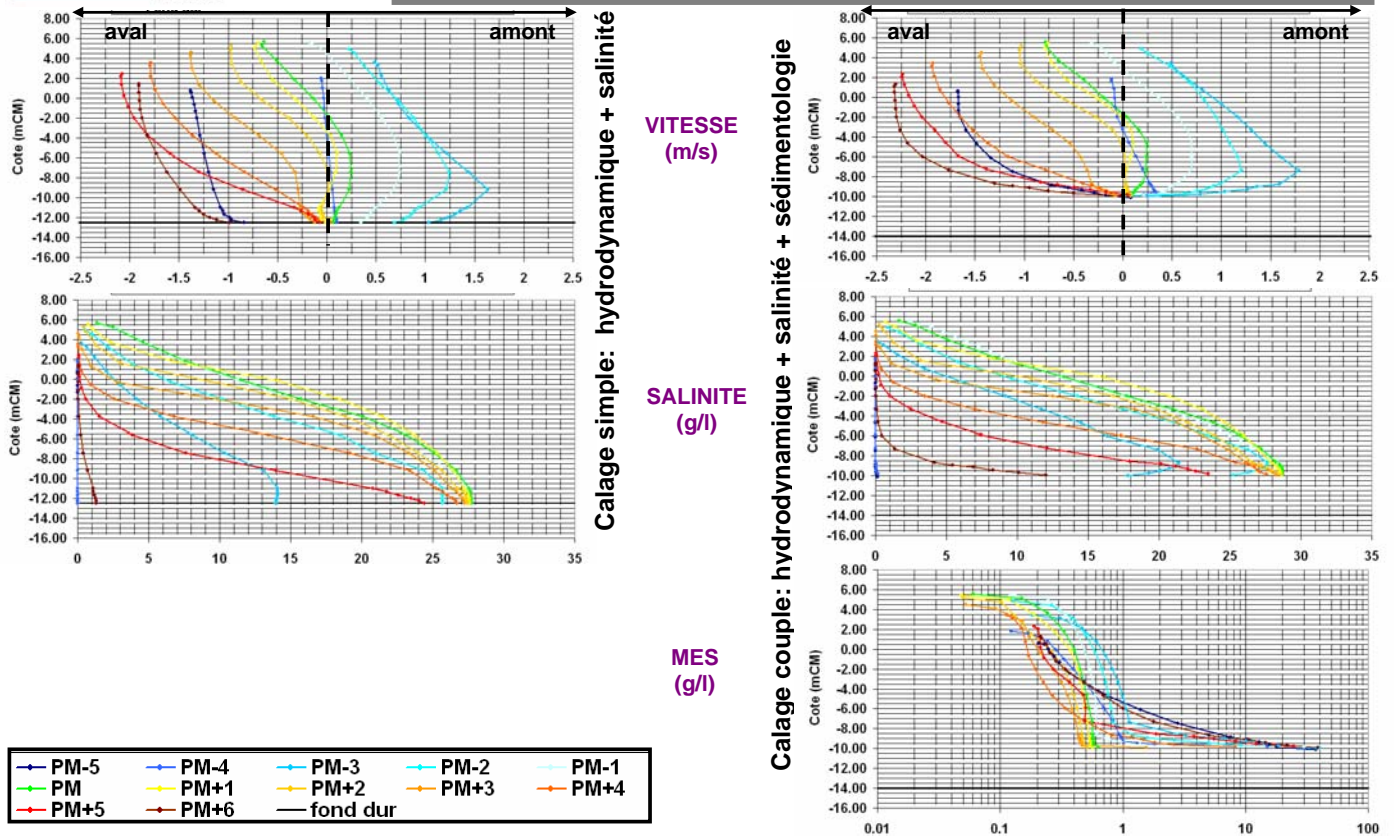


Fig. 4.4

**Profils de vitesses dans le modèle 3D LM multicouche au niveau de Montoir: 29 janvier 2004/ coef.41 / Q= 4240 m<sup>3</sup>/s**

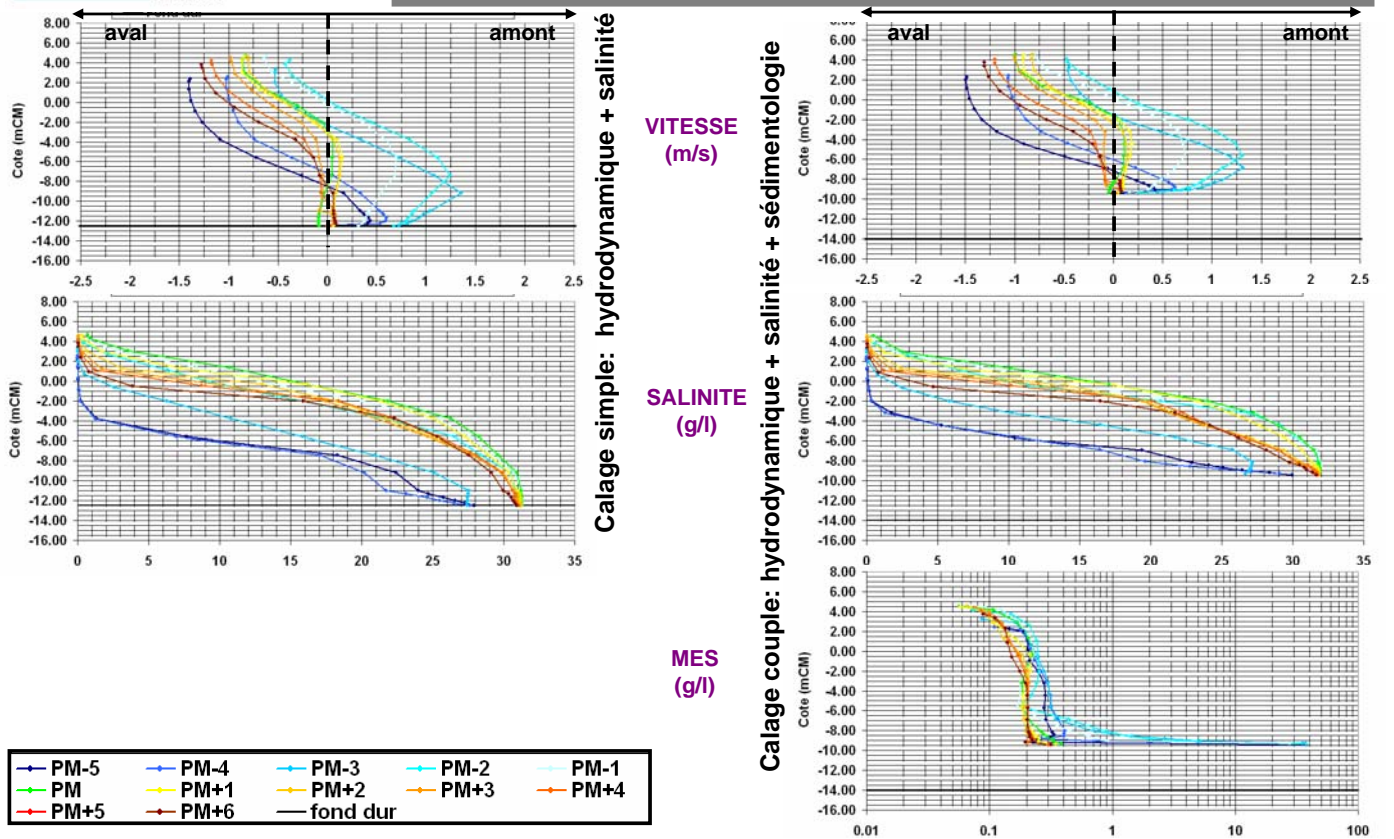
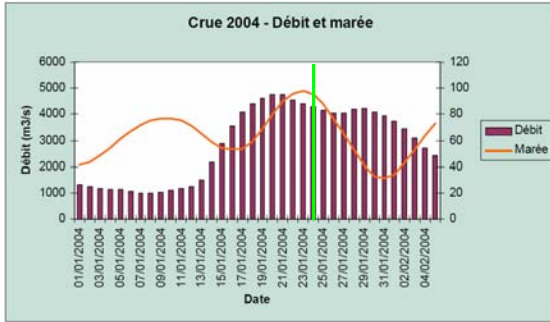


Fig. 4.5

Comparaisons 3D des vitesses le 24/01/2004



Vives-eaux / 4300 m<sup>3</sup>/s

Radiales ADCP chenal nord

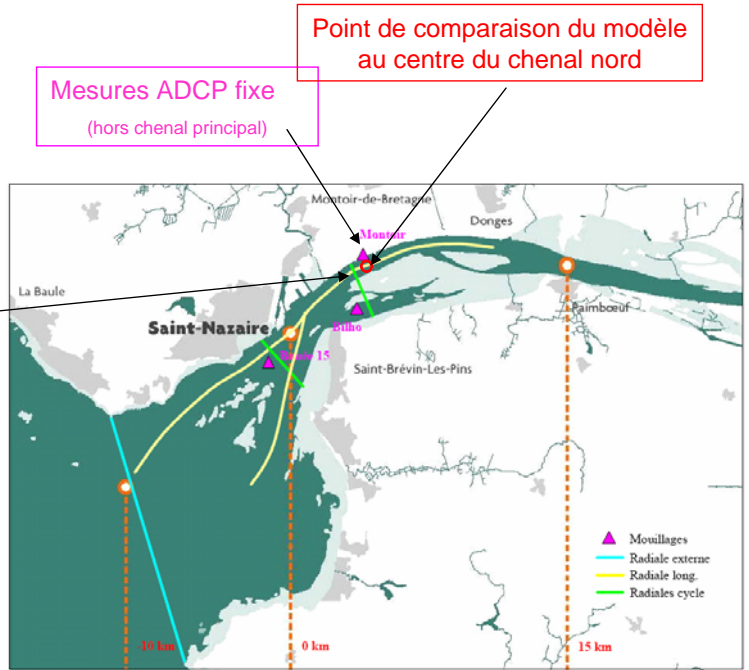


Fig. 4.6

24/01/2004 16h04 (UT+1)  
PM-1h20

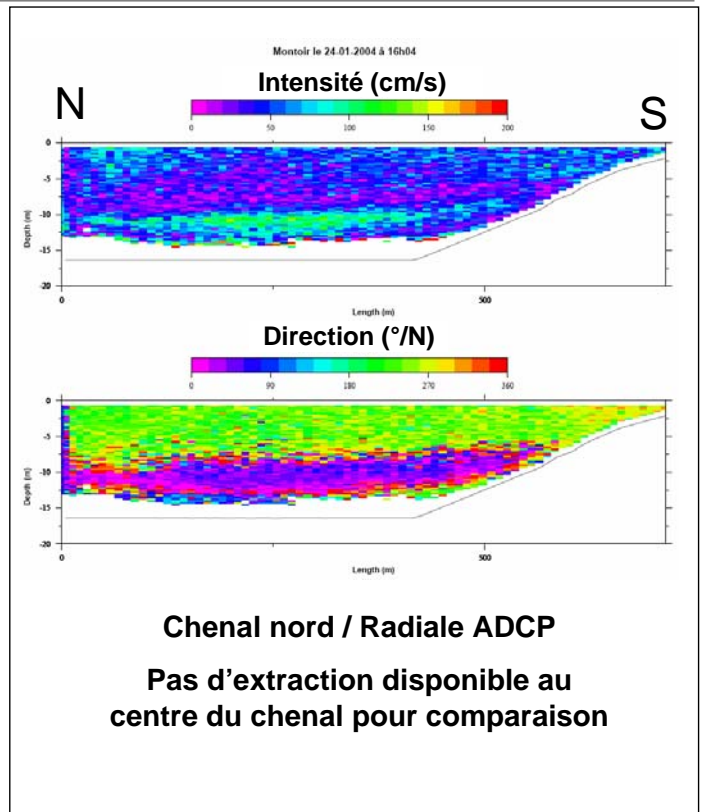
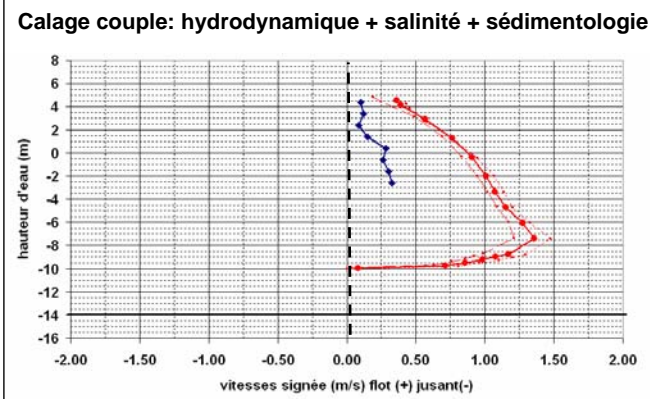
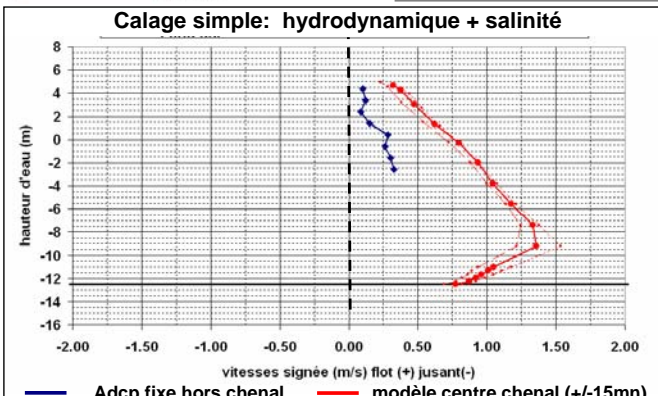






Fig. 4.7

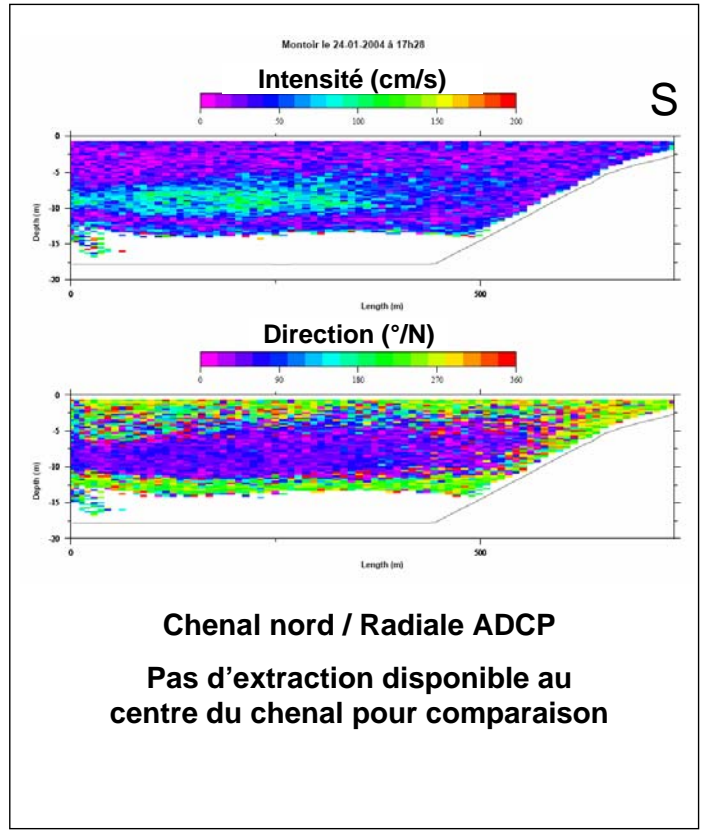
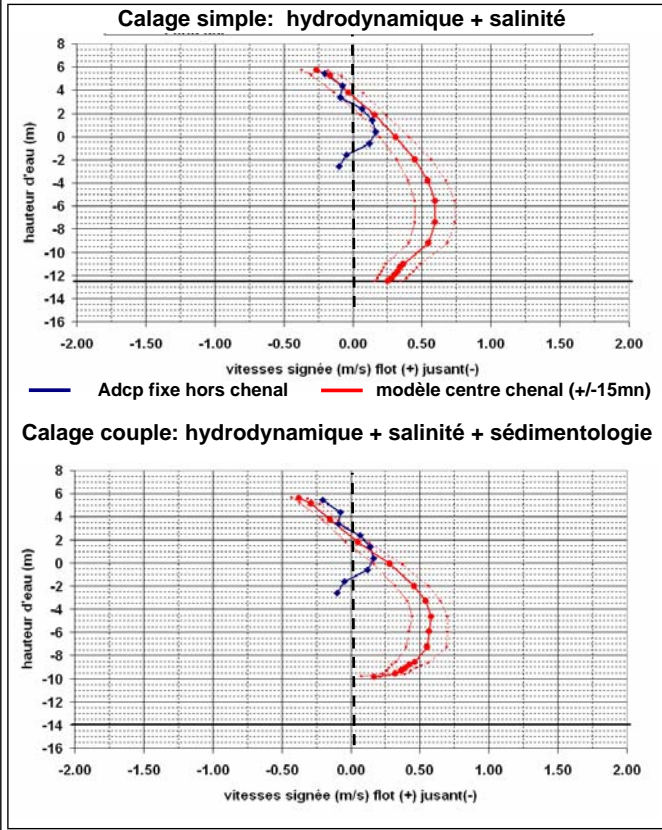


Fig. 4.8

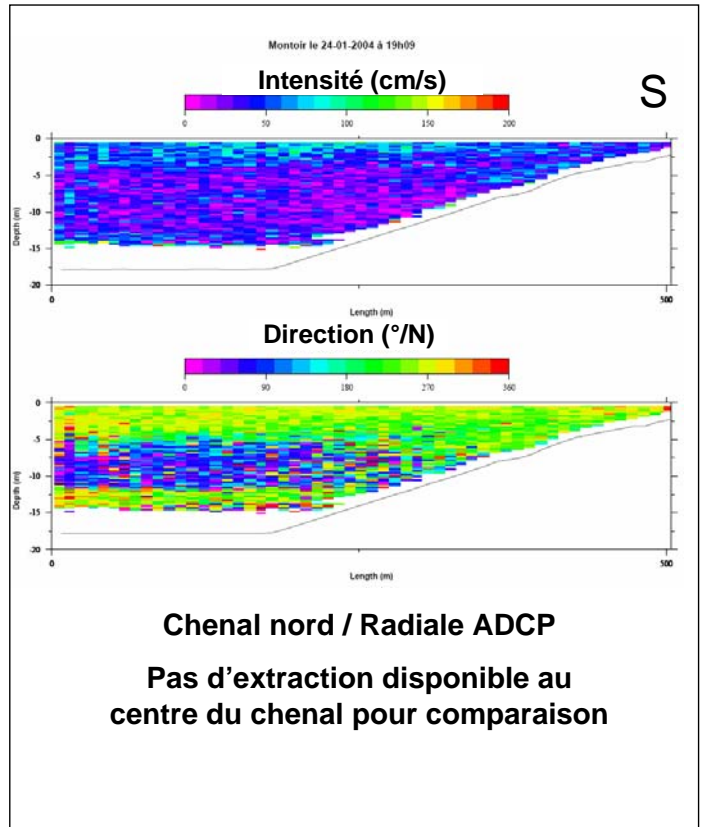
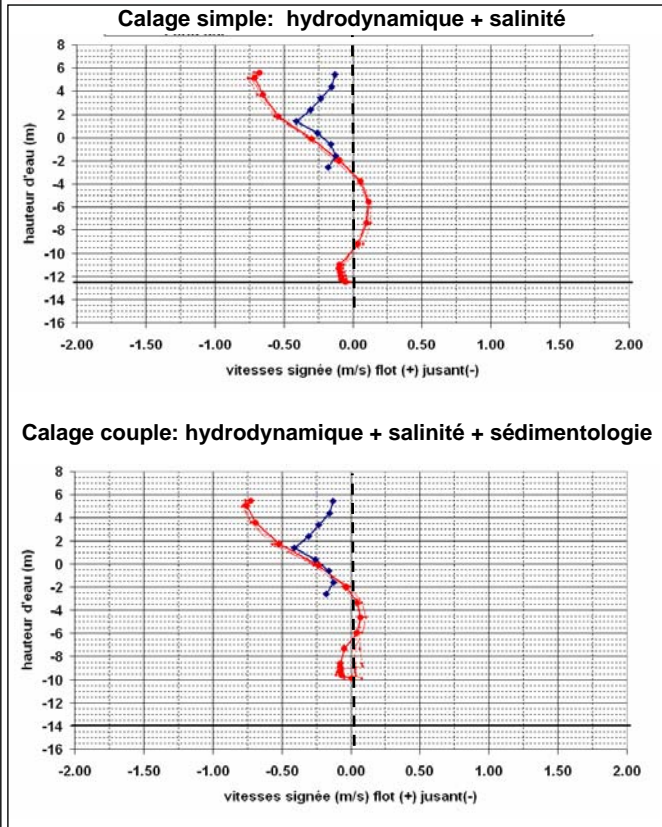




Fig. 4.9

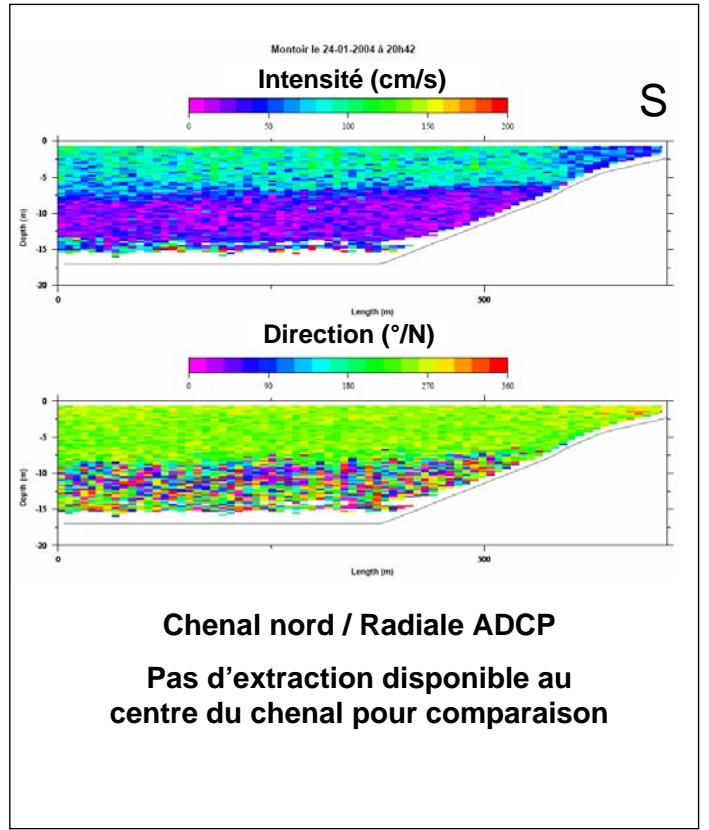
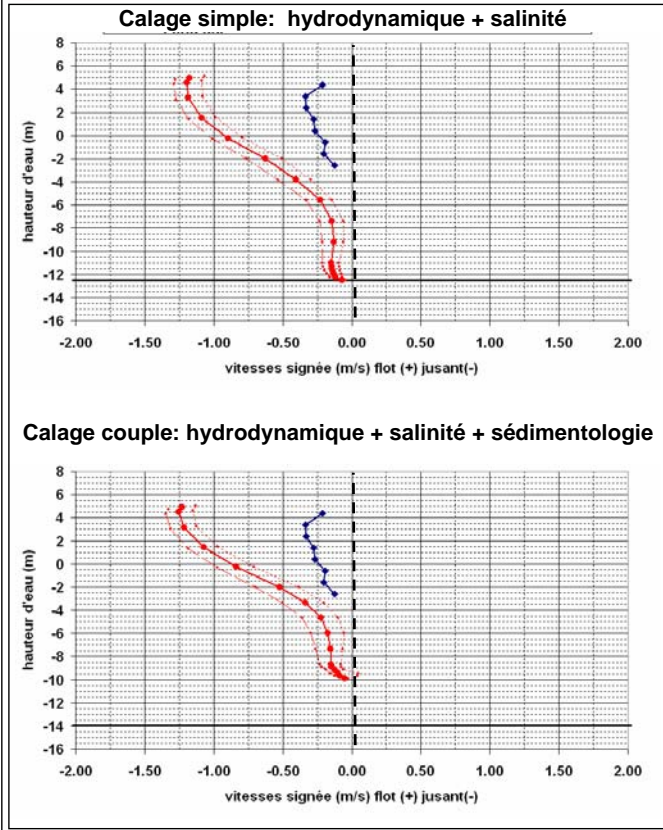


Fig. 4.10

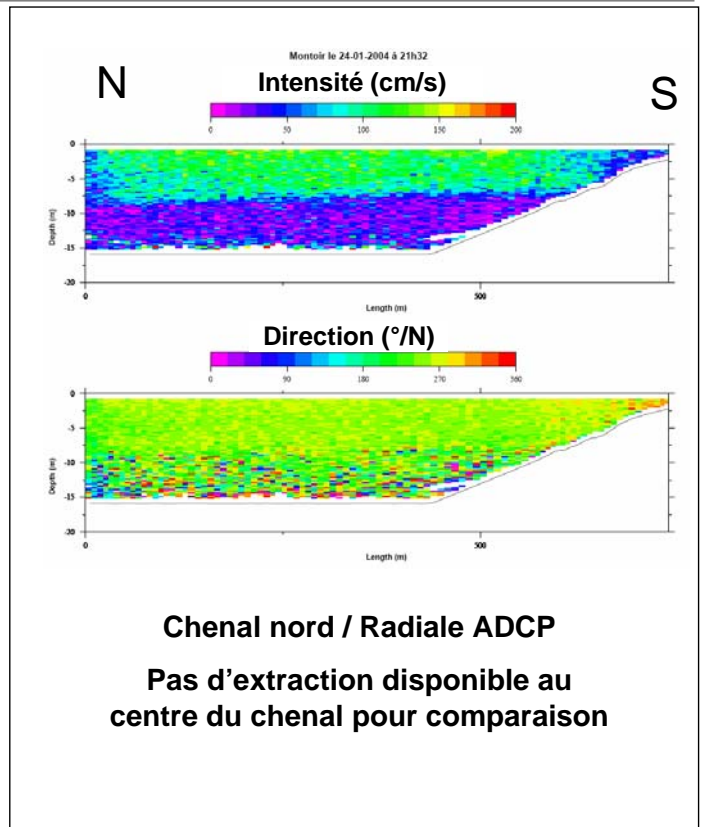
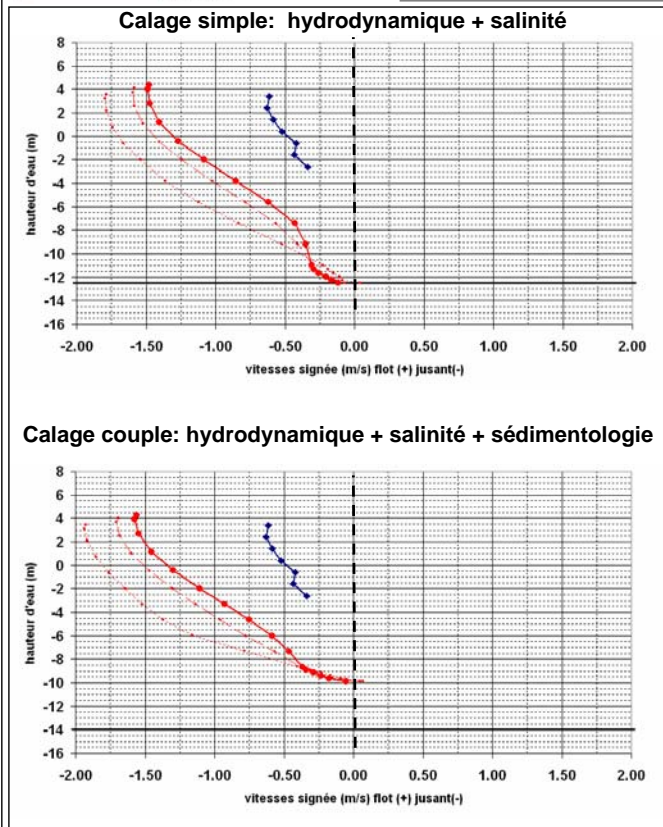


Fig. 4.11

Comparaison 3d des profils verticaux de salinité

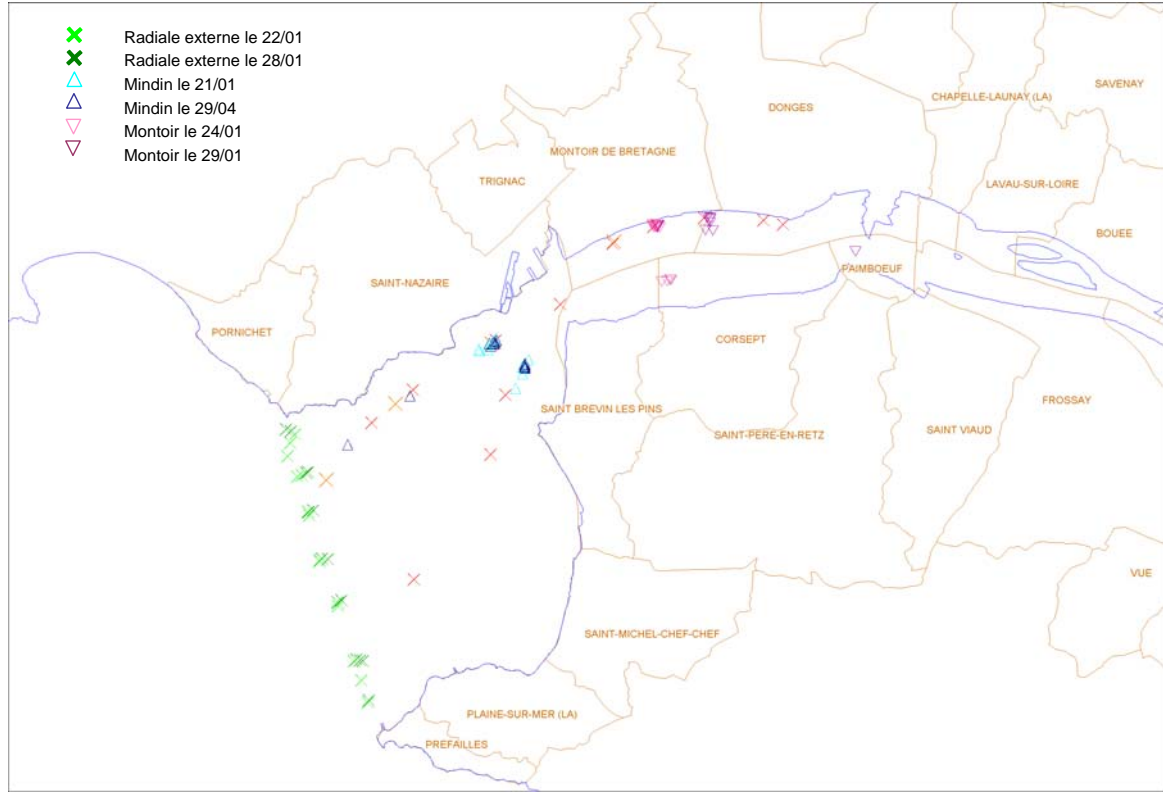
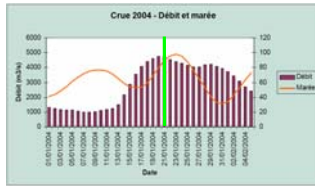


Fig. 4.12

Profils types à Mindin le 21/01/2004



21/01/2004

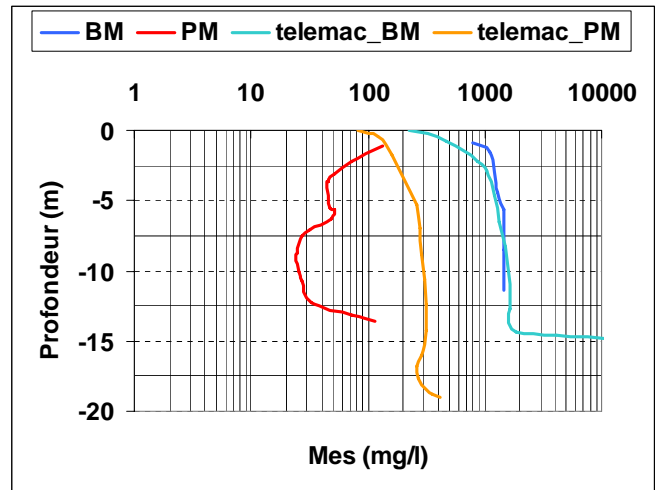
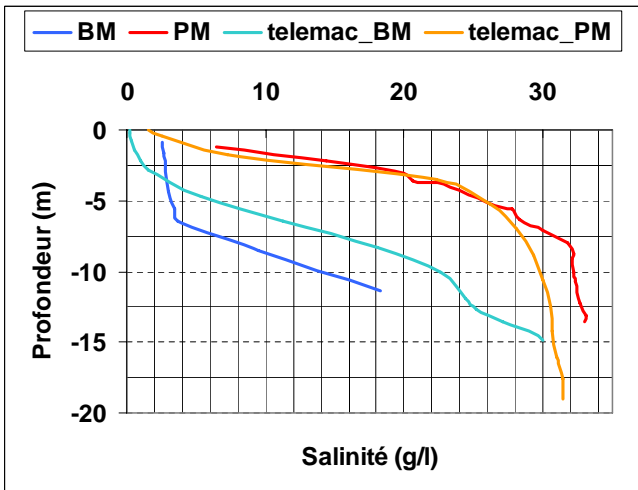
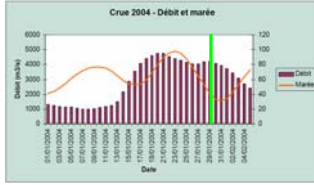


Fig. 4.13

### Profils types à Mindin le 29/01/2004



29/01/2004

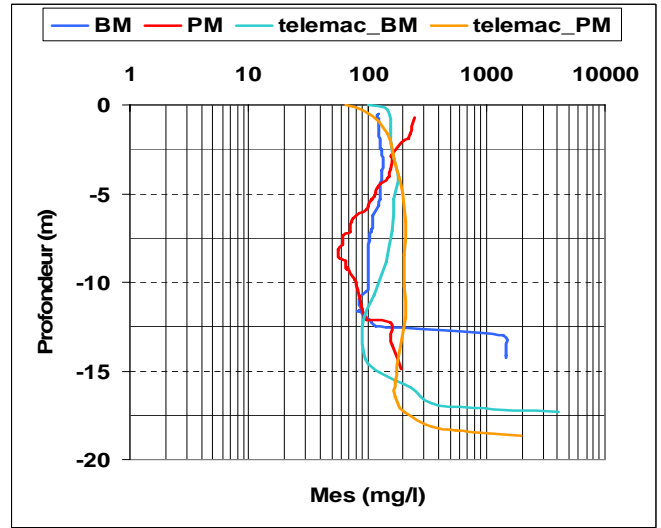
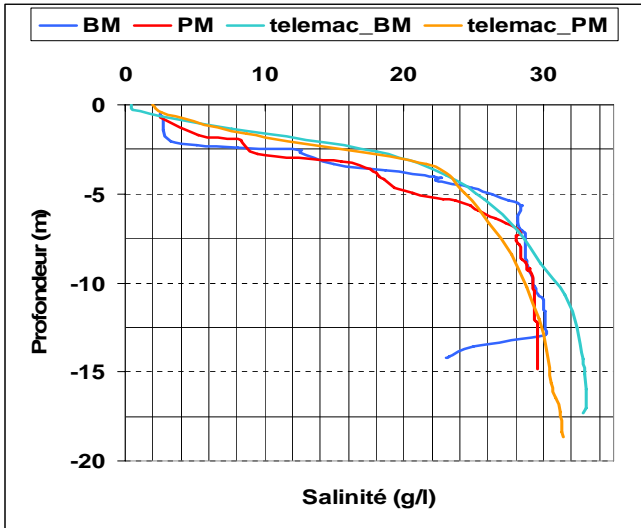
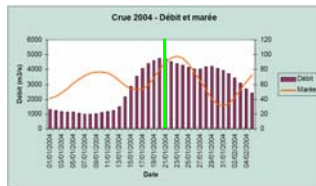


Fig. 4.14

### Profils types à Montoir le 24/01/2004



24/01/2004

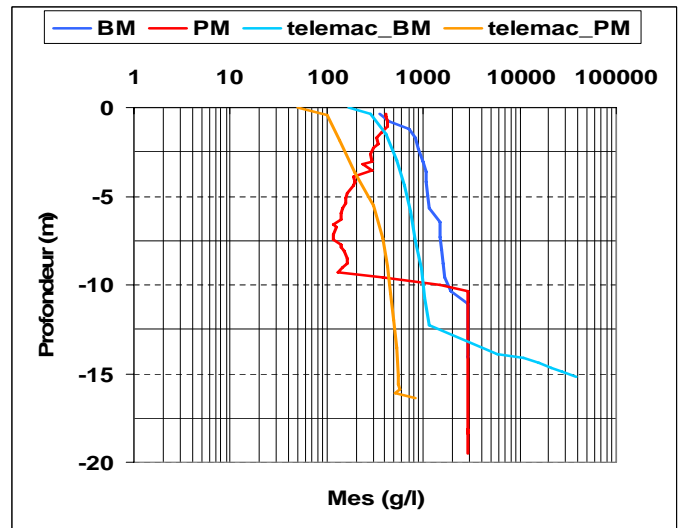
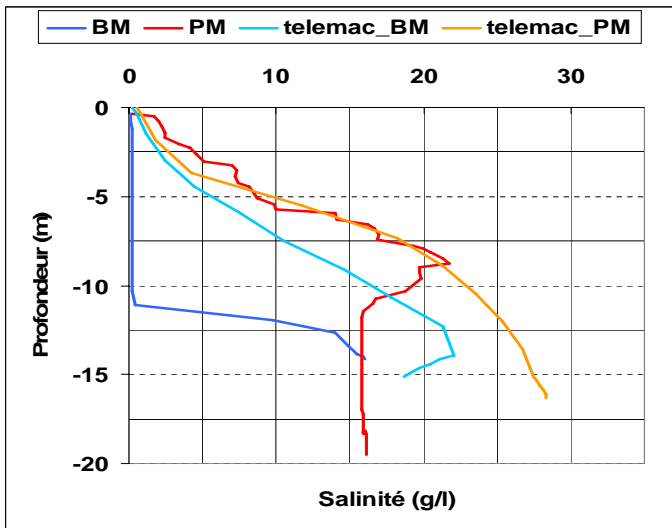
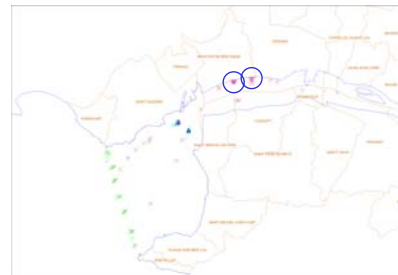
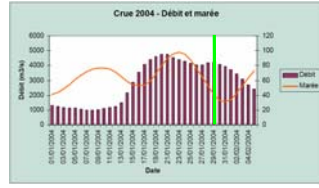


Fig. 4.15

Profils types à Montoir le 29/01/2004



29/01/2004

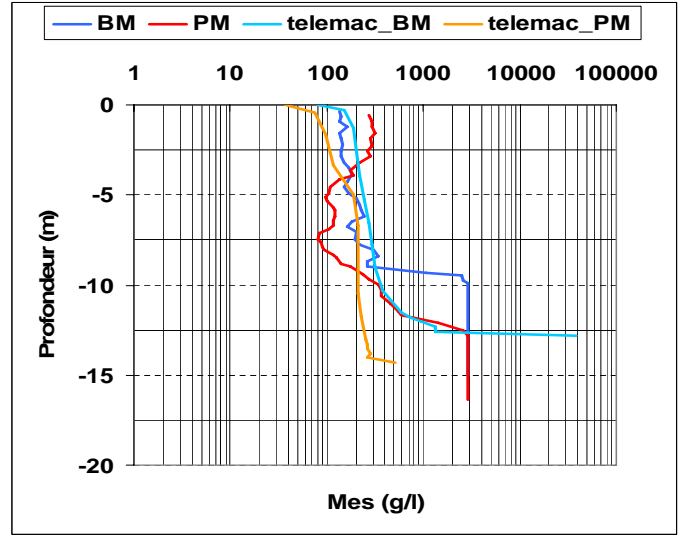
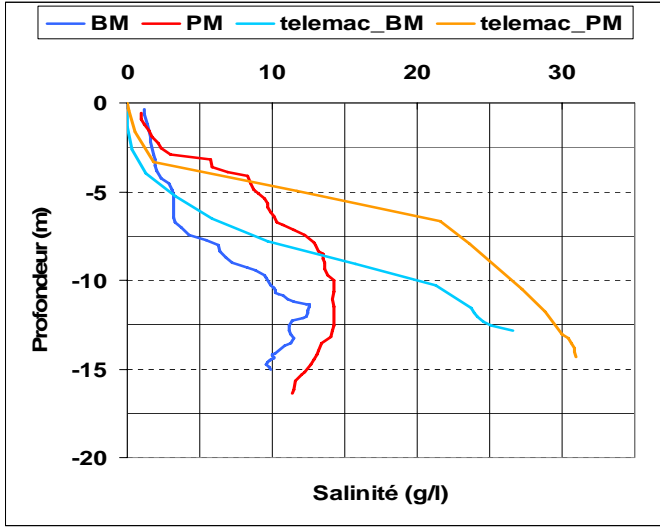


Fig. 4.16

Radiales externes du 22/01/2004



22/01/2004 flot

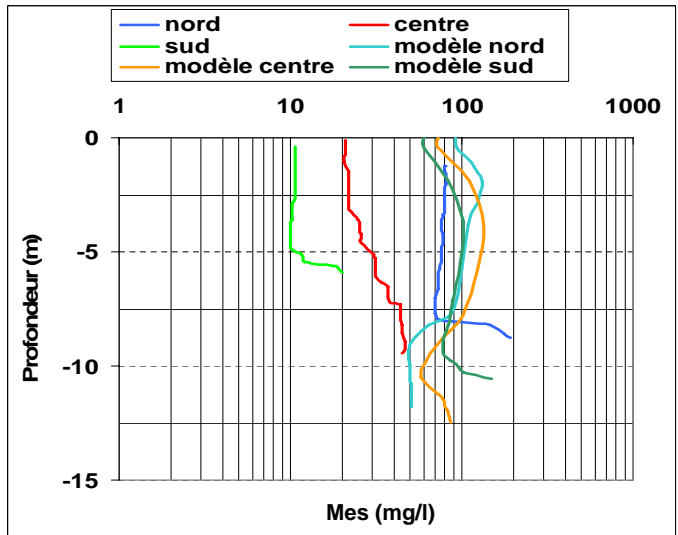
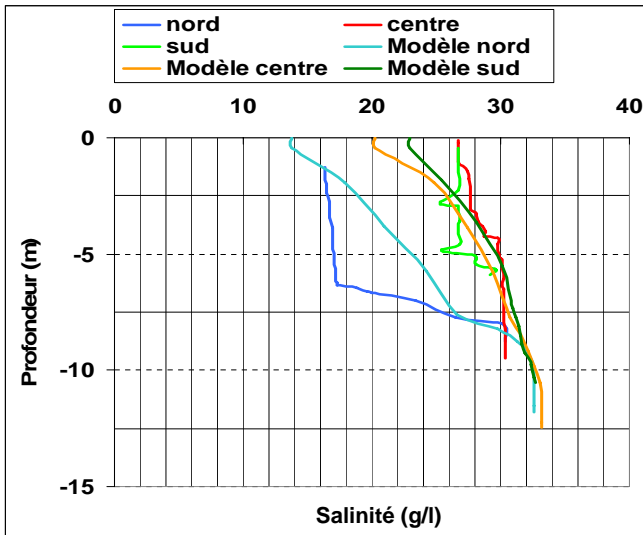
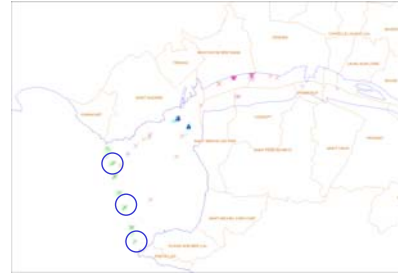
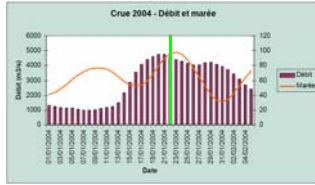


Fig. 4.17

Radiales externes du 22/01/2004



22/01/2004 jusant

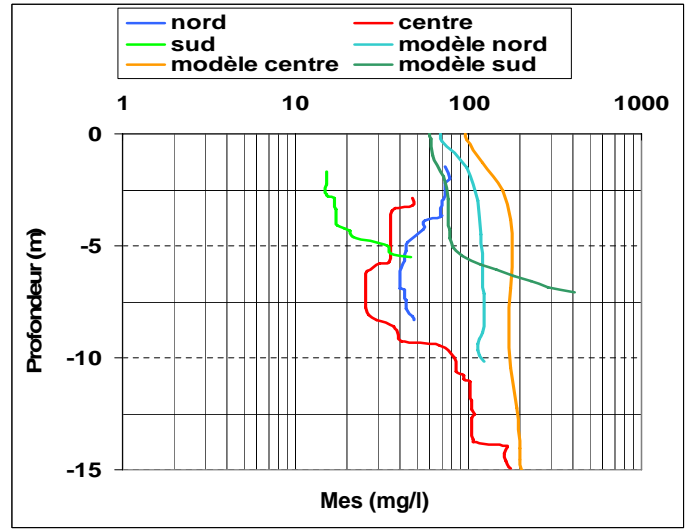
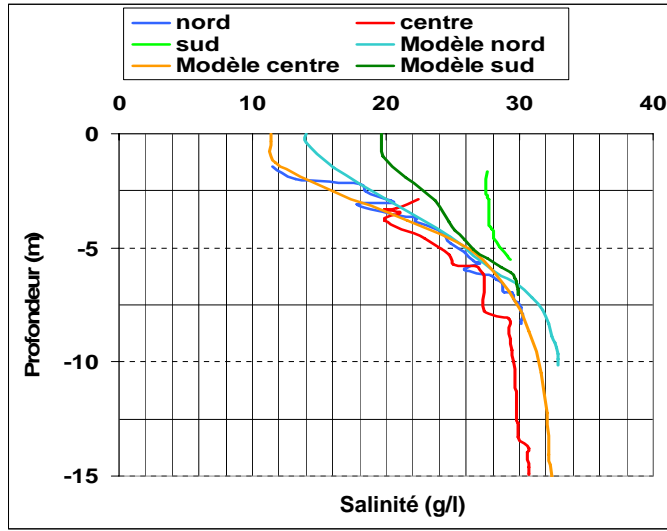
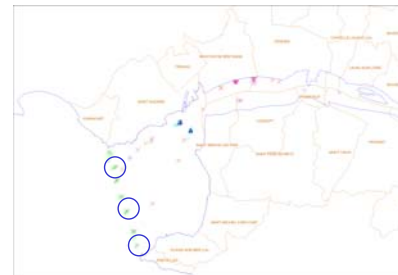
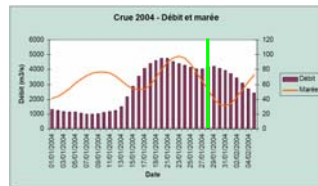


Fig. 4.18

Radiales externes du 28/01/2004



28/01/2004 flot

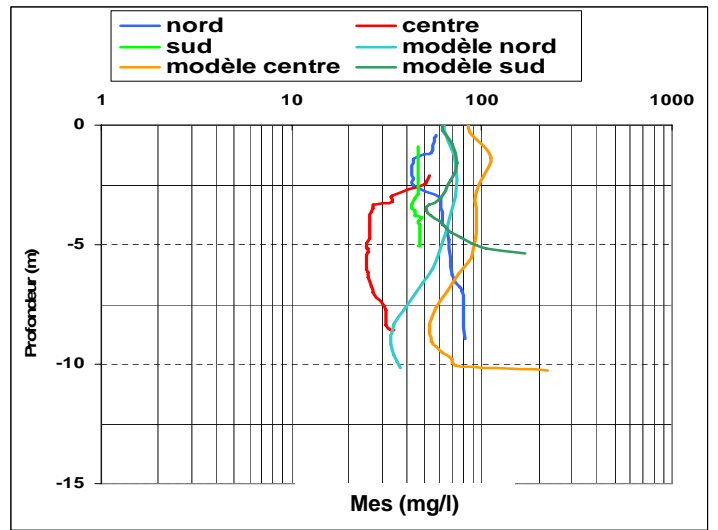
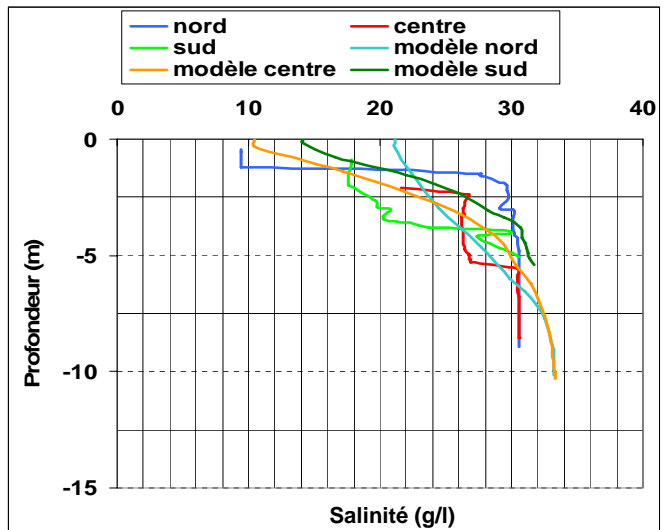
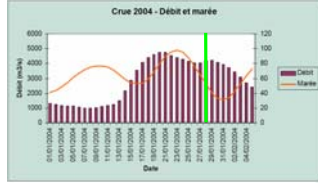


Fig. 4.19

Radiales externes du 28/01/2004



28/01/2004 jusant

