

Direction des Ressources Vivantes / Ressources Aquacoles
Laboratoire Conchylicole de Poitou-Charentes

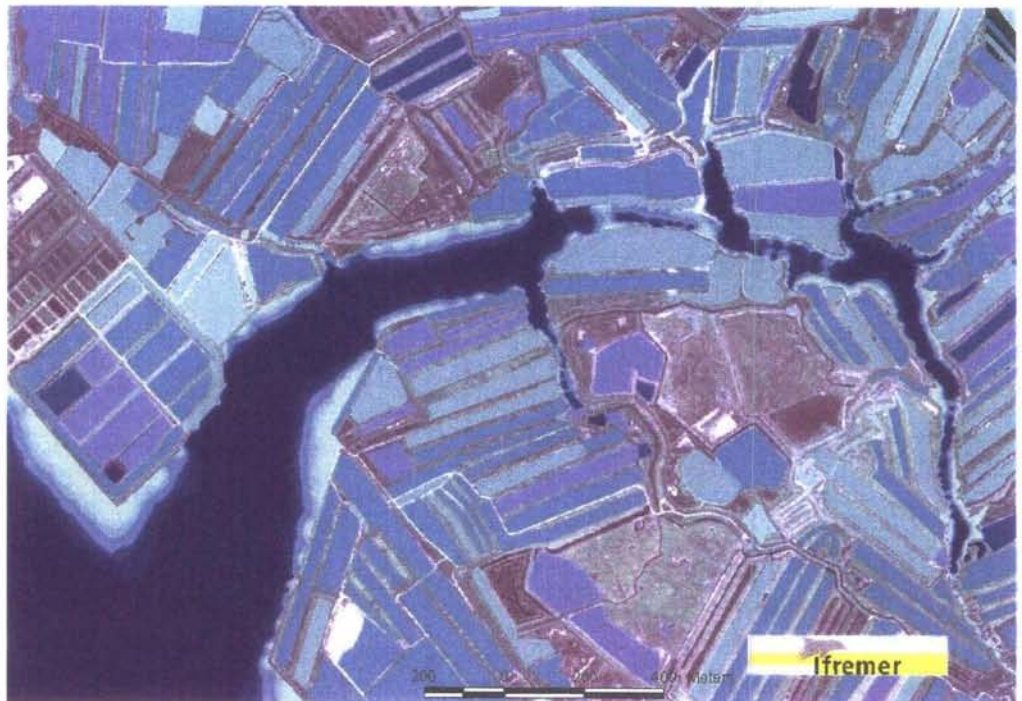
Olivier Le Moine, Philippe Geairon, Daniel Razet : LCPC
Contrat de Plan Etat – Région. Programme 5.
Juin 2004

67039
R20201.LEM.C.

IFREMER
BIBLIOTHEQUE
LA TREMBLADE

Ifremer

Cartographie du marais salé de Charente Maritime



Le Dynamisme Atlantique



RÉGION
POITOU-CHARENTES

IFREMER Bibliothèque de la Tremblade



OLR 02660

Sommaire

<u>Sommaire</u>	1
<u>Contrat de plan Etat Région 2000-2006 Programme 5 : <i>Gestion durable des activités anthropiques en marais et zone littorale</i></u>	2
<u>Cartographie du marais</u>	2
<u>Objectifs</u>	2
<u>Introduction</u>	2
<u>Réalisations 2003</u>	2
<u>Acquisition de données</u>	2
<u>Matériel et méthode</u>	2
<u>Profils bathymétriques en travers</u>	4
<u>Profils en long</u>	6
<u>Cotation d'ouvrages hydrauliques</u>	7
<u>Traitements spatiaux</u>	8
<u>BD TOPO Pays IGN</u>	9
<u>Profils en travers</u>	9
<u>Profils en long, Bathymétrie interpolée</u>	12
<u>Modélisation et premiers résultats</u>	13
<u>Modèles géométriques</u>	13
<u>Modèles hydrauliques</u>	14
<u>Conclusion et perspectives</u>	19
<u>Annexe 1 :</u>	20

IFREMER
BIBLIOTHEQUE
LA TREMBLADE

Contrat de plan Etat Région 2000-2006 Programme 5 : Gestion durable des activités anthropiques en marais et zone littorale.

Cartographie du marais.

Objectifs

Les objectifs peuvent se décliner sous deux grands axes :

- Cartographie du marais et de son usage
- Cartographie thématique de la disponibilité trophique des unités hydrauliques.

Introduction

Durant l'année 2003, l'acquisition des données sur le terrain a été poursuivie. Un certain nombre de mises au point techniques ont été nécessaires pour cela. Un nouveau point de vue a été abordé dans cette phase finale du contrat, celui de la modélisation. En effet, vu la complexité des calculs mis en œuvre, l'évaluation de la disponibilité trophique dans les différentes unités hydrauliques passe par l'utilisation de ce genre de techniques et logiciels.

Les analyses spatiales ont été poursuivies, et un certain nombre de modèles destinés à simplifier les acquisitions de mesures mis au point.

Réalisations 2003

Acquisition de données

Matériel et méthode

L'acquisition de données réalisée en 2003 est essentiellement de nature altimétrique et bathymétrique. Elle nécessite du matériel spécifique (Differential Global Positioning System centimétrique) et des logiciels de traitement et de positionnement.

Gps différentiel

Dans le principe le DGPS est un système de positionnement satellitaire, avec relais de calcul à terre pour augmenter la précision. Celle-ci est de l'ordre centimétrique en positionnement (X et Y), et de 2 à 3 cm en altitude (Z).

Il est constitué de 2 parties, l'une mobile (fig. 1) qui sert à effectuer les mesures au cours du déplacement, et l'autre est une base fixe, positionnée sur un point rattaché au réseau NGF (IGN) et connu avec la meilleure précision possible.

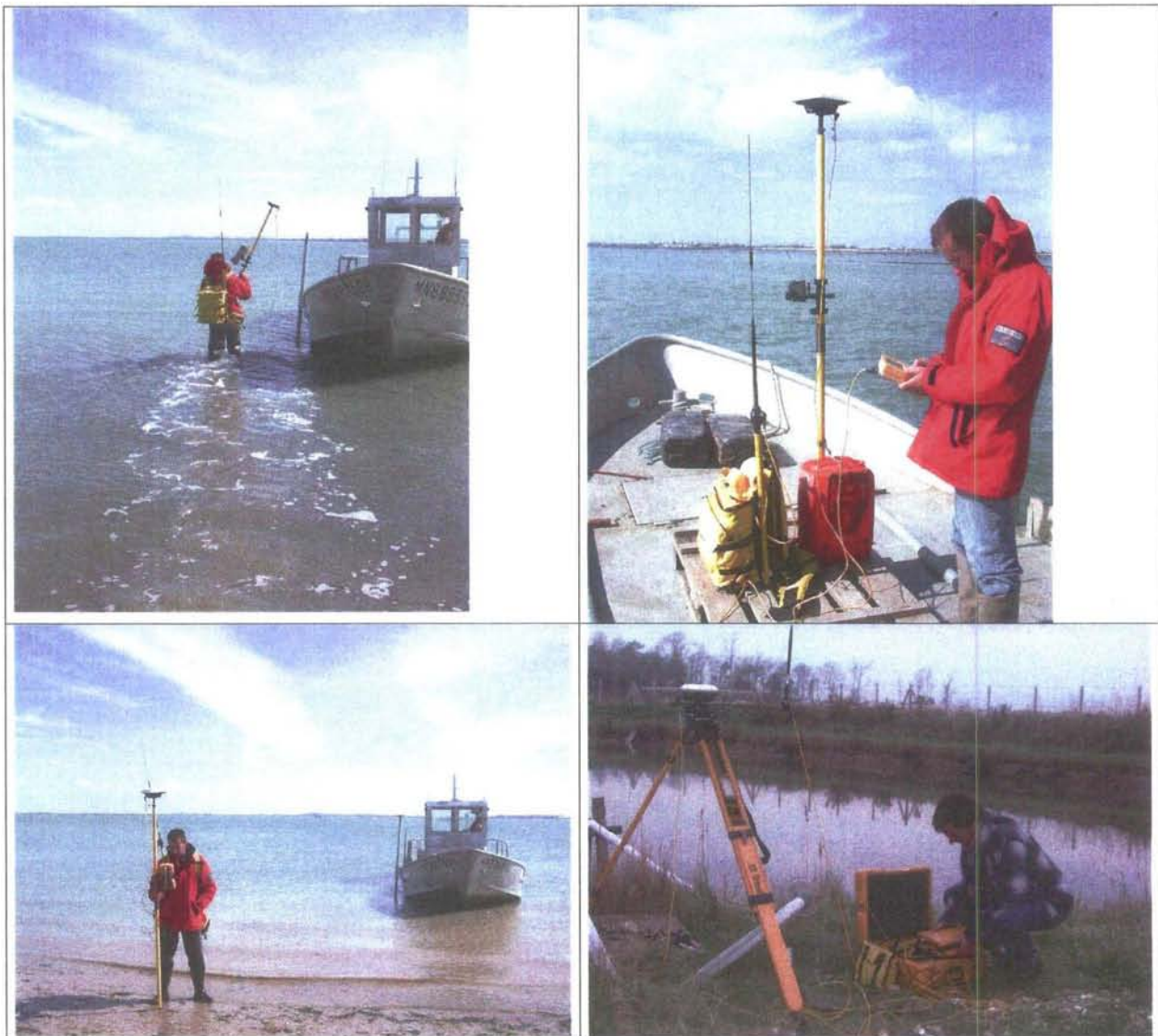


Figure 1 : DGPS (Differential Global Positionning System). Mesures à l'aide de la base mobile (photos 1, 2, 3) et base fixe (photo 4).

L'acquisition se fait point par point, ou en continu. Lorsque le module est utilisé en branchement direct sur l'ordinateur, elle est en continu, à pas de temps d'enregistrement fixé par l'opérateur (Fig. 1, photo2). Lors de l'utilisation en déplacement à pied elle est faite point par point (fig.1 photo 3).

Logiciels acquis et développés

Hormis le logiciel propre au DGPS, un logiciel de positionnement et pré-traitement des données a été acquis (GEOMEDIA, d'INTERGRAPH); une extension a été développée (NASCA-GEOSYSTEMES) qui autorise l'acquisition directe sur un ordinateur portable. Ceci a été développé avec deux objectifs principaux; le premier est la capacité de stockage, qui est minime et insuffisante avec le GPS seul, le second est un pré-traitement et intégration automatisée dans un SIG. Ce second but a l'avantage, hormis l'automatisation de l'intégration, de pointer la position courante de l'appareil et de l'opérateur sur un fond de carte qui permet d'avoir d'autres repères (fig. 2). Cette option est très utile pour la complétion des jeux de

données déjà acquises, car elle permet au vu de la carte de se positionner exactement là où le manque de données se fait sentir.

Ce logiciel et son développement ont nécessité une formation de 3 jours pour le personnel affecté à sa mise en œuvre.

Profils bathymétriques en travers

L'estimation des débits transitant dans les chenaux nécessite la connaissance de la section du tronçon de chenal considéré. Le protocole a donc prévu de faire l'acquisition de profils "en travers" de proche en proche, et une acquisition "en long" sur la portion navigable du chenal et de ses affluents. Ces travaux, entamés en 2002 ont été poursuivis en 2003 par 3 campagnes de mesures.

Ceux ci sont réalisés à marée montante, à des coefficients relativement faibles pour éviter les forts courants de marée. Le GPS est installé sur le bateau en acquisition directe (fig. 1 photo 2), et le bateau circule sur le chenal. Le module logiciel développé acquiert en même temps les données du GPS, et celles du sondeur nous donnant la hauteur d'eau sous le bateau (Fig. 2).

Le GPS donne une cote altimétrique par rapport au niveau moyen des mers (0 NGF). Le tableau du SHOM (Service Hydrographique de la Marine) donnant les niveaux de référence dans les ports de France fournit le décalage entre le zéro NGF et le zéro hydrographique, utilisé dans les calculs de marée. Ce décalage dans le port de La Cayenne (le plus proche de notre chenal atelier) est de 3,80 m.



Figure 2 : Acquisition bathymétrique : principe de la mesure.

$$\text{Cotesol} = \text{elevmer} - 0.94 - \text{profondeur} + 3.80$$

La cote du sol au fond, par rapport au zéro hydrographique, est donc ensuite calculée :

$$C = E. \text{Mer} - H. \text{eau} + 3,80 - 0.94.$$

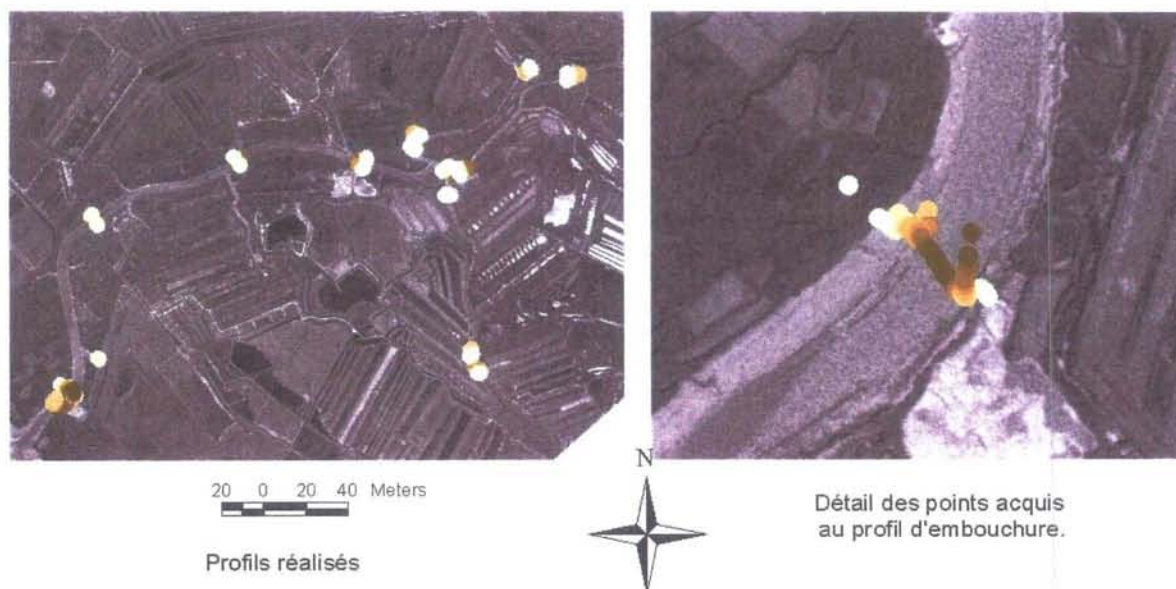
Avec C : cote du sol par rapport au zéro Hydrographique

E. Mer : cote donnée par le GPS par rapport au niveau moyen des mers (0 NGF)

Heau : hauteur d'eau donnée par le sondeur
3,80 : écart 0 hydro-0 NGF
0,94 : écart sonde du sondeur-mesure GPS.

Quatre campagnes ont été nécessaires pour régler tous les problèmes techniques et logiciels rencontrés.

Lors des trois campagnes suivantes, une douzaine de profils en travers ont été réalisés sur le chenal de LUZAC (fig. 3 gauche), chacun comprenant de 50 à 150 points de mesure (fig. 3 droite). Les campagnes navigantes sont complétées par des campagnes à pied à terre, qui permettent de remonter sur les berges jusqu'à des cotes altimétriques non submersibles.



Acquisition de données de profils en travers sur le chenal de Luzac.

Ifremer

Laboratoire Conchylicole de Poitou-Charentes

Figure 3 : Profils en travers : données acquises.

Lors de ces campagnes à pied ont été relevées les cotes altimétriques de changement de faciès. Lorsque l'on monte depuis le zéro des cartes marines, l'apparition de la première végétation halophile (Obione ou Arroche *Halimione portulacoides*) se fait à la cote 5 m. (Fig. 4). Cette limite est très visible et nette sur les couvertures aériennes disponibles. La seconde limite, qui est également visible sur les photos, suite à une expertise terrain, est celle de l'herbe vraie, qui n'est submergée que rarement, à la cote 6,2 m. La cote 5 correspond à une pleine mer de coefficient 50, et celle de 6,2 à un coefficient de 100.

Le fait que ces deux niveaux soient visibles sur les photos aériennes permet de numériser sur celles ci des réseaux de points cotés qui permettront les interpolations bathymétriques ultérieures (Fig. 4).



Figure 4 : Cotes de changement de faciès : 5 m apparition de la végétation, et 6,62 m. apparition de l'herbe.

Profils en long



Figure 5 : Acquisition ponctuelle de données bathymétriques le long du chenal de Luzac.

Trois autres campagnes ont été nécessaires pour l'acquisition des données bathymétriques en long, chacune d'elles prenant entre 1500 et 2000 points de mesure (Fig. 5).

Cotation d'ouvrages hydrauliques

Le recensement et le relevé des cotes de différents ouvrages ont été commencé. Les données recueillies sont les suivantes (Fig. 6) :

- Cote altimétrique du radier
- Cote des digues de protection à la mer autour de l'ouvrage
- Largeur du conduit
- Longueur du conduit
- Hauteur du conduit
- Nature de la canalisation (béton, Plastique, pierre, etc...)
- Type (selon la nomenclature définie dans le groupe de travail du Forum des Marais Atlantiques)
- Code de la photo représentant l'ouvrage
- Coordonnées X, Y, et Z
- Etat général
- Code d'identification d'ouvrage. Selon la conclusion du groupe de travail réuni au Forum des Marais, la codification DDAM existante est retenue.
- Une rubrique est réservée aux commentaires.

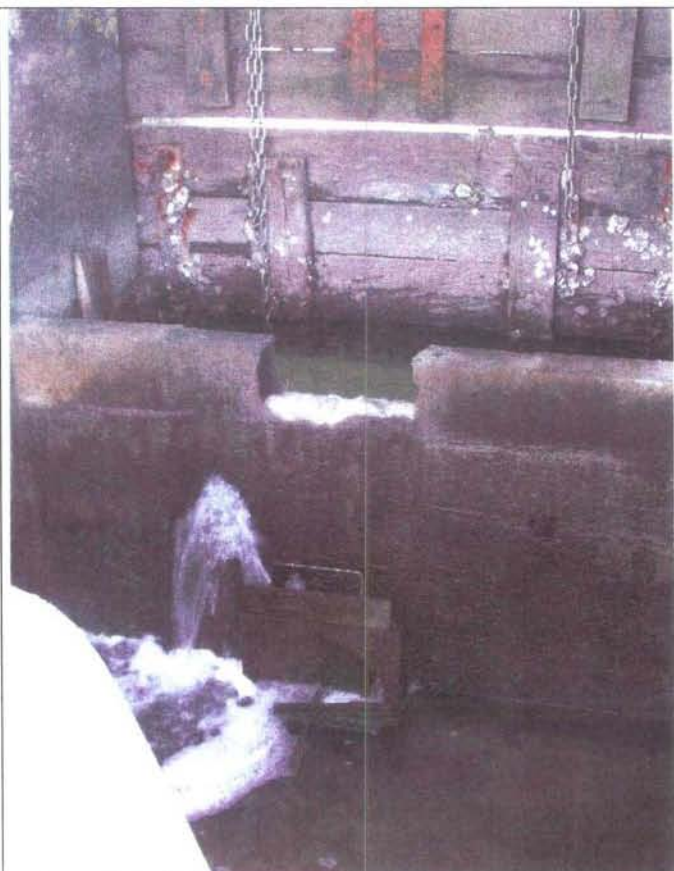
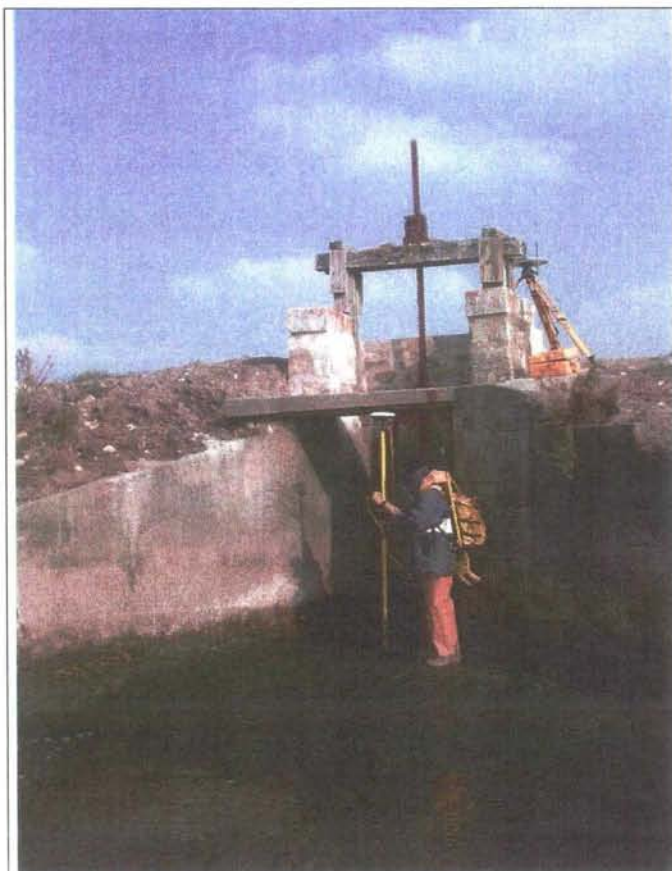




Figure 6 : Recensement et cotation des ouvrages hydrauliques de prise d'eau.

Ces différentes informations sont nécessaires et suffisantes pour appliquer le modèle hydraulique à l'ouvrage en question, pour estimer les volumes qui y transitent.

Traitements spatiaux

Les traitements spatiaux réalisés ont été de natures diverses :

- Intersection de couches de données
- Interpolations 2 D
- Interpolations 3 D
- Extraction de profils
- Analyse spatiale 2 et 3 D

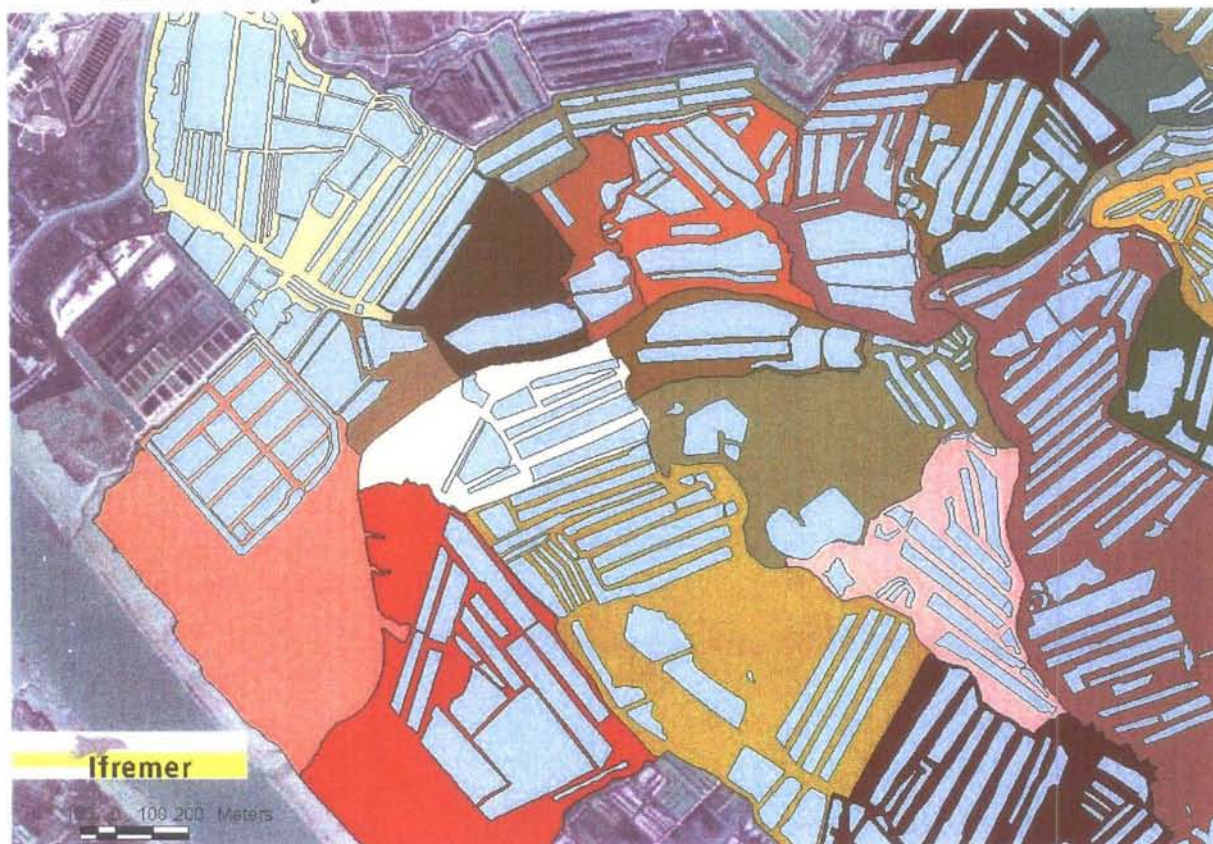


Figure 7 : Intersection des couches d'information "Claires" de l'IGN et de la couche "Prises" du CREA.

La couche "Prises de marais" numérisée par le CREA a été intersectée avec celle des claires de l'IGN. Cette opération permet d'avoir accès à l'information "Surface en eau " et " surface des berges".

La surface totale en eau du bassin versant du chenal est de 396 ha, la surface herbue est de 793 ha.

Profils en travers

Différents traitements sont nécessaires pour aboutir à l'extraction des profils bathymétriques recherchés à partir des points mesurés (Fig. 7).

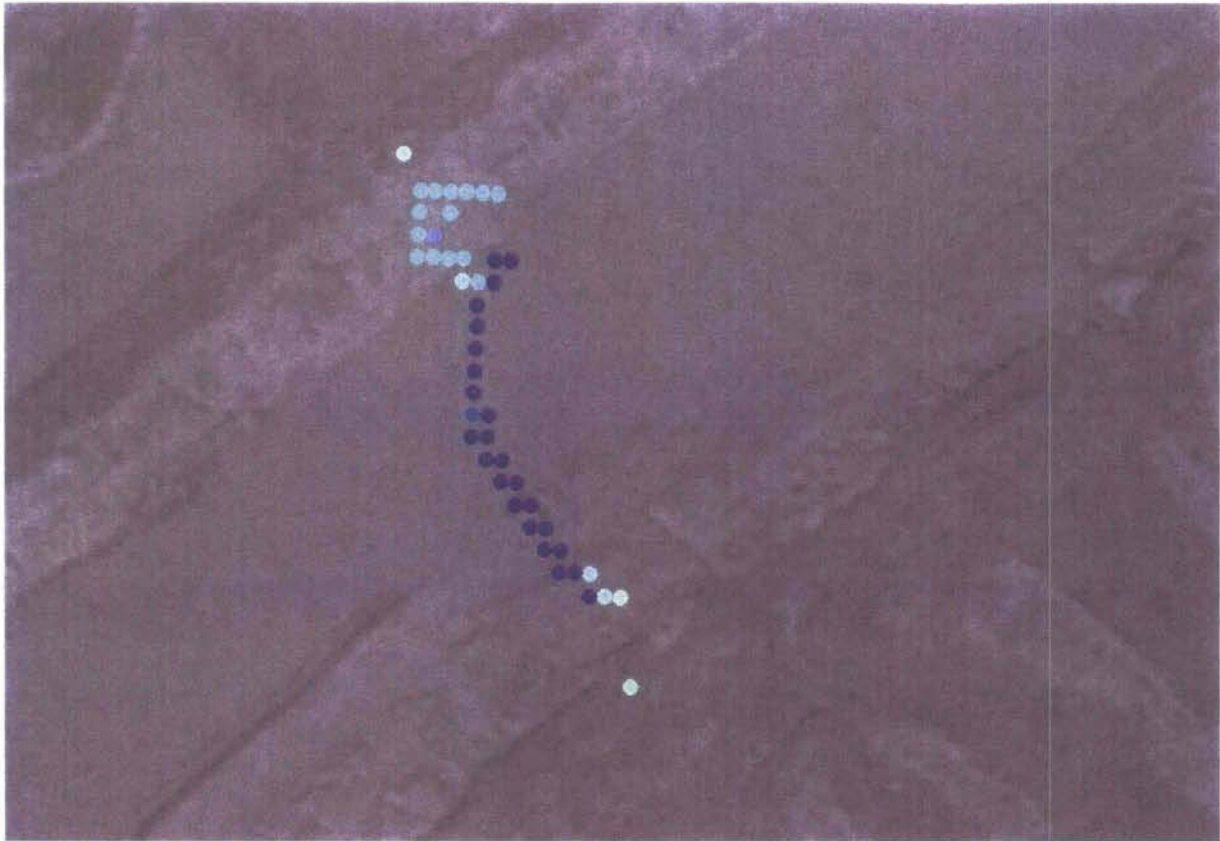


Figure 8 : Bathymétrie des profils en travers, acquisition.

La première étape est la construction d'un polygone, qui va servir de "masque spatial" d'interpolation. Celui-ci, après transformation en format maillé (Grid ESRI) définit l'emprise donnée à l'interpolation. L'interpolation est ensuite réalisée. La méthode employée a été une interpolation standard Arc View IDW (Inverse Distance Weighted distance inverse pondérée), où les points influent les uns sur les autres en fonction de leur voisinage (Fig. 9). Sur le résultat a été tracée une ligne, figurant le profil souhaité. Une conversion de format 2D en 3D (du format Grid au format Tin d'ESRI) est alors réalisée avec l'extension 3D analyst d'Arc View. Cette dernière opération permet les calculs de volumes et surfaces. Cela permet par exemple le calcul des périmètres et section mouillés nécessaires au modèle hydraulique., L'extraction du profil du chenal est également possible, à un pas de mesure défini par l'utilisateur, à l'aide d'un script Arc View en langage avenue (X section Utility). Le fichier ainsi obtenu peut alors être importé sous les logiciels Excel et Statgraphics pour analyse (Fig 10) et essais de modélisation.

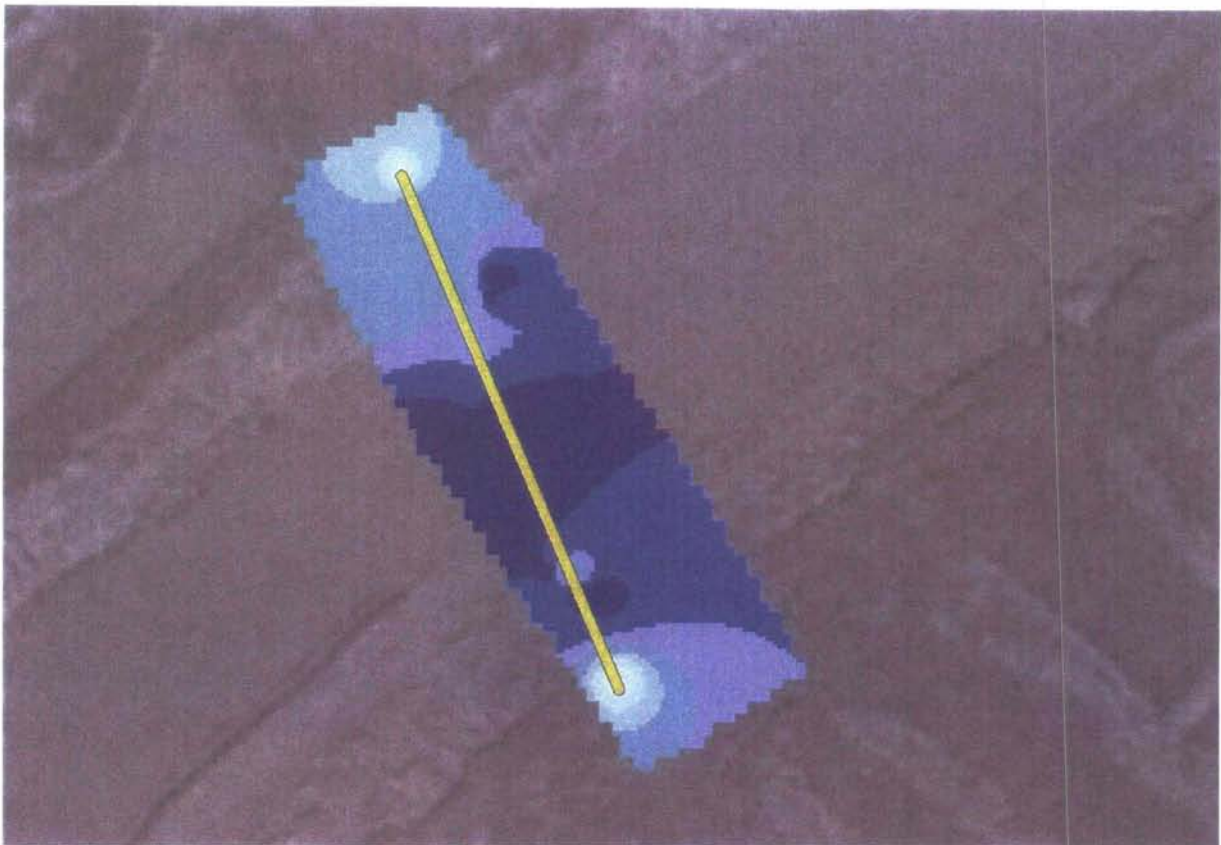


Figure 9 : Bathymétrie des profils en travers, interpolation et extraction du profil.

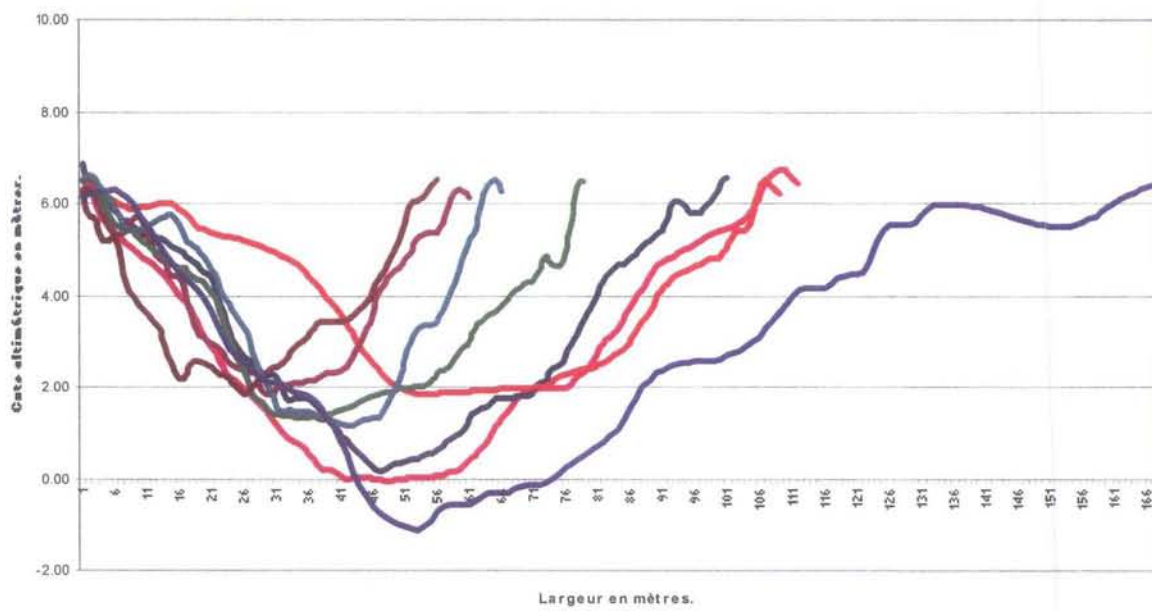


Figure 10 : Profils en travers extraits en 2003.

IFREMER
BIBLIOTHEQUE
LA TREMBLADE

Profils en long, Bathymétrie interpolée

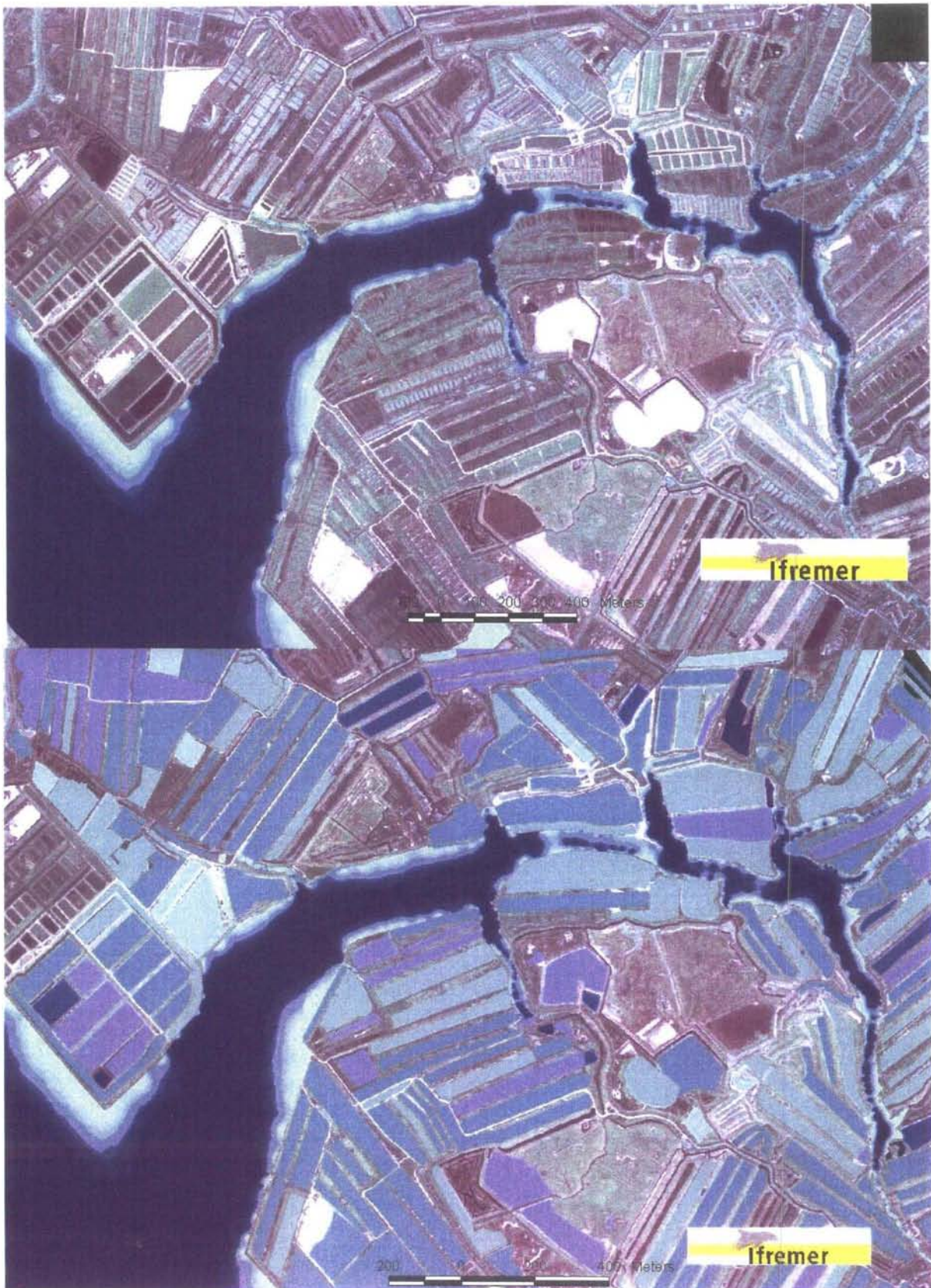


Figure 11 : Bathymétrie du chenal, et niveau d'eau dans les claires.

La bathymétrie globale du chenal a été obtenue par la même technique que celle des profils en travers. Les points obtenus (Fig. 4 et 5) ont été interpolés avec la même méthode dans un masque d'analyse numérisé sur les photos aériennes. Le résultat est une couche "Bathymétrie du Chenal" en format maillé, qui permet les analyses en 2 ou 3 dimensions (e. g. calculs de surface en fonction de la cote altimétrique de l'eau, calcul de volumes, etc.). La résolution obtenue est de 1 mètre (cela correspond à la taille du pixel au sol). Les résultats de ces analyses sont ensuite reportés en attributs du réseau linéaire hydrologique de l'IGN, qui apporte par calcul des informations d'autre nature (longueur des tronçons, calculs de réseau par exemple).

Modélisation et premiers résultats

Modèles géométriques

Les modèles obtenus en 2002 ont été revus, et recalculés sur des jeux de données plus importants.

Le but des modèles recherchés est la facilitation de l'acquisition de données permettant l'estimation des débits transitant dans les chenaux et les différents ouvrages hydrauliques. Ces estimations nécessitent différentes variables, relatives à une section X du chenal dans un plan perpendiculaire à son axe. Les paramètres essentiels sont le tirant d'eau Y , la section mouillée S , la largeur au miroir ou largeur de la section mouillée, L , et le périmètre mouillé P . Ils sont définis dans le schéma figure 12.

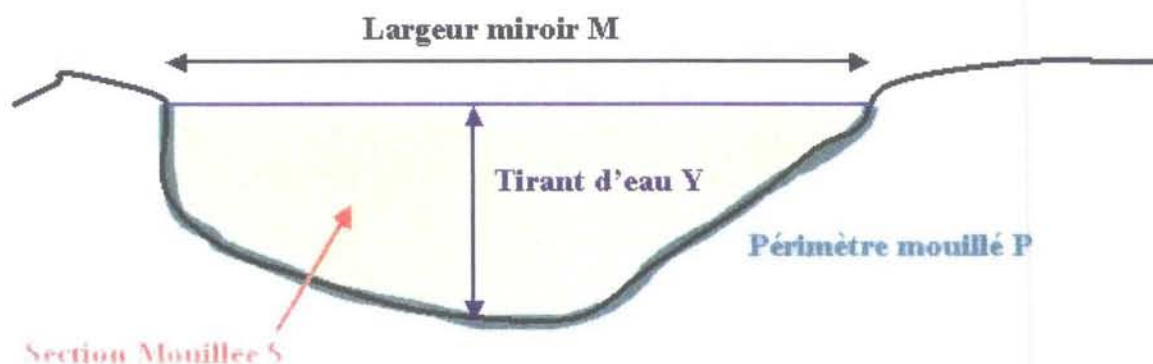


Figure 12 : Paramètres hydrauliques.

Le tirant d'eau (Y) correspond aux données sondeur définies pour une cote marine de la marée donnée. Dans notre cas, il est variable, et correspond à un marégramme.

La largeur miroir (M) est variable non seulement en fonction de X , le tronçon de chenal considéré, mais également de Y , qui dépend du coefficient de marée et de l'heure.

Différents jeux de données calculées sous SIG en 3 dimensions (section et périmètres mouillés) issues des profils extraits figure 9 ont été analysés sous le logiciel Statgraphics, de manière à faire ressortir les lois, quand elles existent, qui lient ces variables entre elles. Les modèles multilinéaires possibles ont été testés, ainsi que leur significativité. Le but recherché est la simplification et la diminution du nombre de mesures pour obtenir le maximum d'informations. Différents modèles sont ressortis de ces analyses :

- $P1 = 4,57083 + 1.38576 * Y + 2.36399 * M$
- $P2 = 46,1657 - 5.89861 * CM + 2,40283 * M$
- $P3 = 40,227 + 7,30693 * Y - 14,0338 * CM + 2,48481 * M$
- $P4 = 121,716 + (1,10015 * S) - (27,3521 * Y)$
- $S1 = -16,2608 - 2,75982 * Y + 3,85117 * M$
- $S2 = -50,3093 + 2,77579 * CM + 3,83939 * M$
- $S3 = -44,284 - 7,41343 * Y + 11,0296 * CM + 3,75622 * M$
- $S4 = -94,1828 + (41,5679 * Y) - (155305 * CF)$

Tableau 1 : Différents modèles mis au point (pour cote miroir >0) et R².

Modèle	Variables	R ²
Périmètre mouillé P1	Hauteur d'eau et largeur	92,36
Périmètre mouillé P2	Cote miroir et largeur	92,69
Périmètre mouillé P3	Hauteur d'eau cote miroir et largeur	93,52
Périmètre mouillé P4	Section mouillée et hauteur d'eau	92,16
Section mouillée S1	Hauteur d'eau et largeur	97,8
Section mouillée S2	Cote miroir et largeur	97,75
Section mouillée S3	Hauteur d'eau cote miroir et largeur	98,08
Section mouillée S3	Hauteur d'eau et Cote Fond	96,19

Avec :

S = Section mouillée en m².

CM = Cote Miroir.

Y = Hauteur d'eau en mètre.

P = Périmètre mouillé en mètre.

M = largeur

CF = Cote Fond

Qui permettent de calculer R, le Rayon hydraulique, soit :

$R = S/P$

Les coefficients R² obtenus montrent une grande robustesse des modèles qui expliquent à plus de 92 % les variables section et périmètre mouillés.

Il ressort de ces résultats que les mesures acquises lors des campagnes bathymétriques (hauteur d'eau et cote fond) sont suffisantes pour estimer les sections et périmètres mouillés (modèles P4 et S4). Les modèles hydrauliques pour les évaluations de débits transitant nécessitent la fourniture de ces variables. Selon les essais réalisés, la mesure de la largeur peut être acquise facilement au télémètre laser depuis le bateau pour affiner éventuellement les calculs.

Ces modèles sont valables pour le chenal étudié ; il conviendra de vérifier leur validité dans d'autres situations.

Modèles hydrauliques

Les équations suivantes sont tirées du "Traité d'hydraulique à surface libre" de Gérard Degoutte (2002), et de l'ouvrage "Canalisations de Pont à Mousson SA". (1977).

La formule de Manning Strickler nous donne la vitesse V dans le tronçon de chenal ou canalisations sans plafond ou non pleines :

$$V = K R^{2/3} I^{1/2}$$

Avec : K (coefficient de Strickler) :

70 chenaux à talus herbus

I = pente en m/m

$$Q = S \cdot V$$

avec :

V = Vitesse du courant dans la section considérée en mètres par seconde

I = Pente en mètre par mètre

Q = Débit en m³ par seconde

Application à la prise du Petit Geoffrit :

Un modèle sous Stella a été réalisé (Fig. 13 et annexe 1), avec pour jeu de données test les mensurations de la prise d'eau du Petit Geoffrit, à savoir :

- 210217 m² de claires
- cote du sol des claires : 5,36
- cote du radier d'ouvrage ("fil d'eau") : 4,62
- margeur d'ouvrage 1,36
- longueur d'ouvrage : 3,50
- Marégramme du mois de mai 2004
- Formule de Manning Strickler avec un K= 70

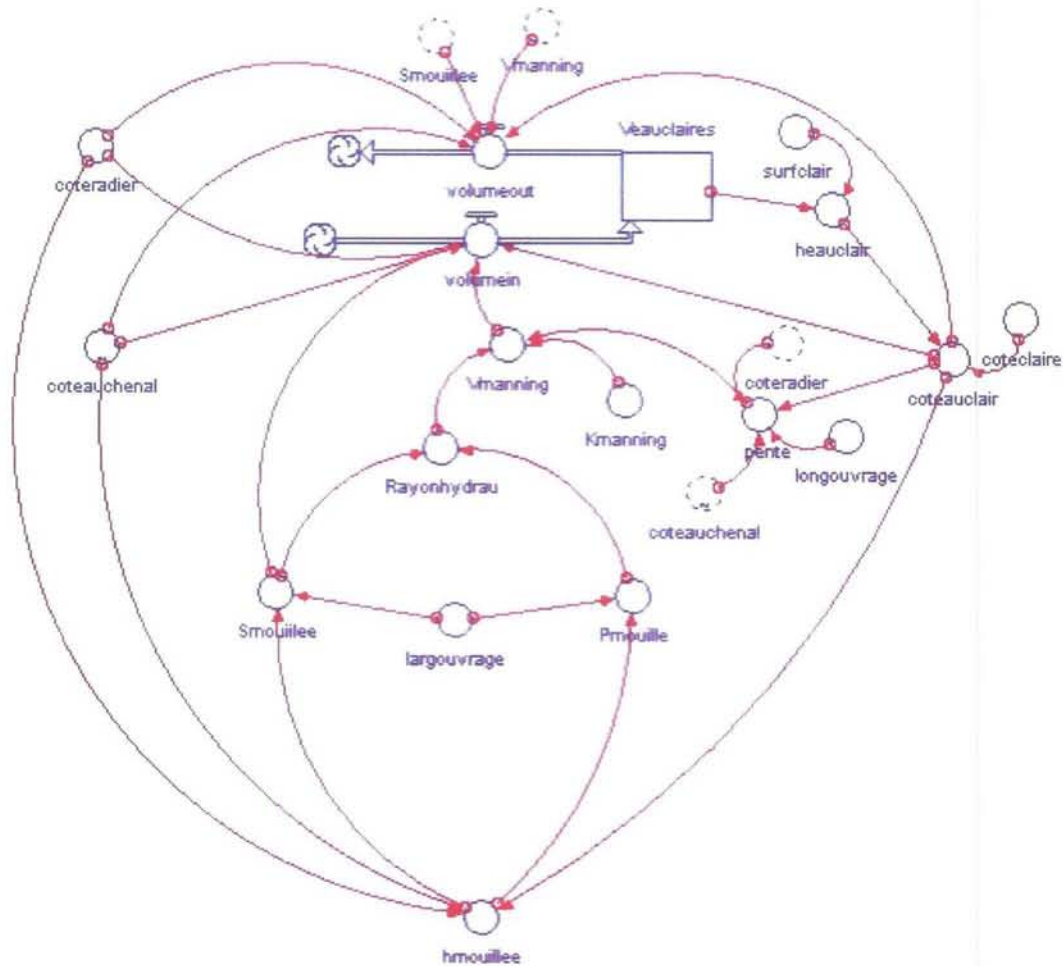


Figure 13 : Modèle hydraulique réalisé sous le logiciel STELLA.

Les graphes figures 14 et 15 illustrent le type de résultats que l'on obtient en sortie du modèle de calcul. La prise du Petit Geoffrit est un ouvrage ouvert en permanence dans le cas du calcul réalisé. Cela est le cas sur le terrain durant la période printanière.

La cote altimétrique du fond des claires est à 5,36 m, ce qui correspond à un coefficient de marée de 66. Autrement dit, les claires ne commencent à se remplir qu'à pleine mer de coefficient 66 au moins. L'eau ne pénètre dans le champ de claires qu'à pleine mer de coefficient 35 (Cote 4,62 m.).

La figure 14 montre le marnage calculé par le modèle du SHOM au port du Chapus, comparé avec le marnage simulé dans les claires. Il sera nécessaire de valider le calcul en

vérifiant le décalage en temps et en cote entre le Chapus et le chenal de Luzac.

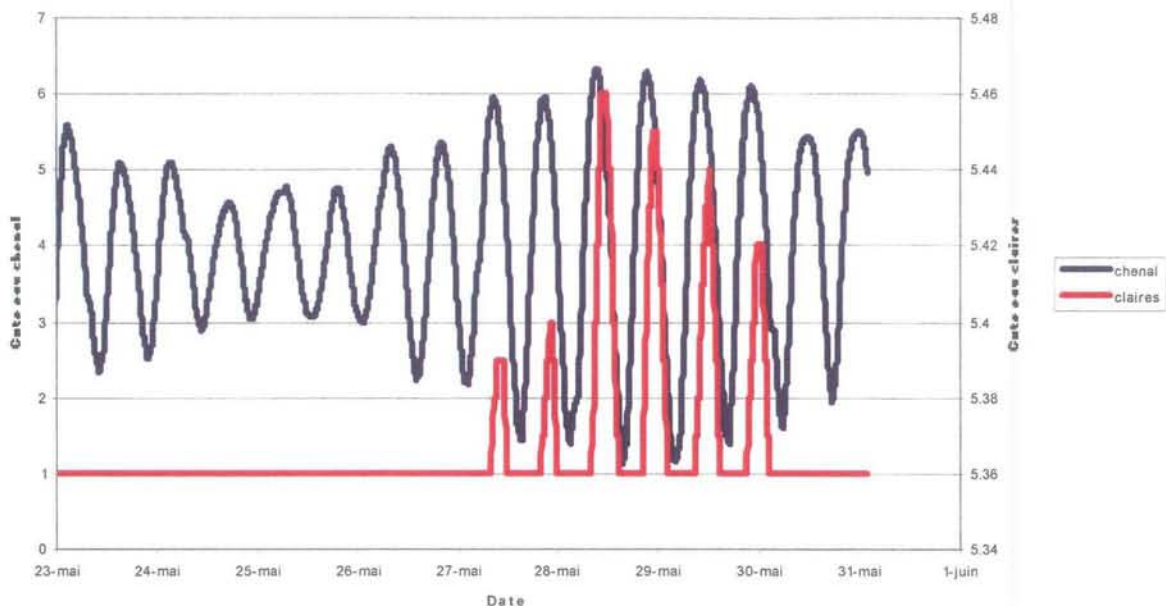


Figure 14 : Marnage du chenal de Luzac (cote altimétrique en m.), des claires de la prise du Petit Geoffrit.

La figure 14 montre les variations de volume stocké dans les claires en fonction des coefficients de marée, ainsi que le cumul de volume entré à marée montante (cumulin) et le cumul rejeté par le champ de claires en jusant (cumulout).

Ces données sont nécessaires et suffisantes pour calculer les flux de sels nutritifs, ou de phytoplancton entrant et sortant des claires, but de l'étude, et qui nous permettront de spatialiser les capacités trophiques des différents systèmes hydrauliques.

On note les volumes échangés d'après le modèle actuel, d'un peu plus de 5000 à plus de 200000 m³ par marée, en fonction du coefficient.

Par exemple, lors d'une marée de coefficient 95, la cote atteinte dans le chenal est de 6,08, et le volume estimé entrant dans les claires du Petit Geoffrit est de 127770 m³. La campagne hydromar 2002 donnait en eau d'alimentation du chenal de Luzac 110 mg/l de seston total. Il serait donc entré sur cette prise dans cette marée 14054 kg de seston total, ce qui correspond à 66,8 mg par m² de claire. Une part décante dans le champ de claire, lorsque la vitesse du courant diminue ; et une autre en ressort. Dans le courant de l'année 2004 seront évaluées les proportions relatives restant et ressortant des claires lors du jusant.

Toutefois il convient avant d'aller plus loin de valider le modèle hydraulique et ses constantes.

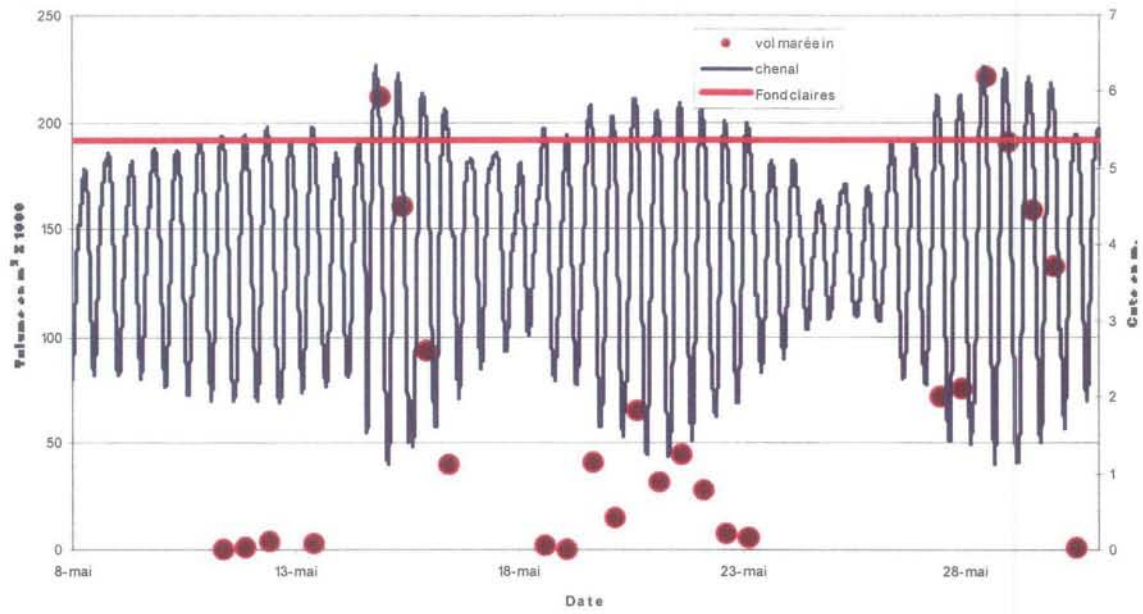


Figure 15 : Volumes alimentant les claires du Petit Geoffrit en entrée, cotes de l'eau dans le chenal et du fond des claires.

Conclusion et perspectives

Les mises au point logicielles et techniques sont maintenant terminées. La palette d'outils nécessaire à l'estimation spatialisée de la disponibilité trophique des prises de marais du chenal de Luzac est en cours de constitution.

En effet, les modèles très significatifs d'estimation des paramètres géométriques nécessaires aux évaluations hydrauliques ont été développés en 2003.

L'estimation des surfaces et périmètres mouillés dans les chenaux en fonction de la hauteur d'eau et de la cote du fond est au point. Ces données sont dorénavant beaucoup plus simples à acquérir grâce aux différentes mises au point et modèles développés. Elles permettent le calcul du rayon hydraulique, puis des vitesses de transit pour estimation des différents flux de phytoplancton ou de sels nutritifs par exemple.

La validité du modèle hydraulique utilisé reste à démontrer par la mesure, et éventuellement il conviendra d'ajuster les différents modes de calculs ou constantes. Le modèle réalisé sous STELLA permettra ces ajustements par des modifications relativement simples des paramètres.

Cette validation se fera courant 2004. Techniquement, des enregistrements courantométriques seront réalisés, ainsi que avec des données hydrologiques (température, Oxygène dissous, pH, Fluorimétrie, Turbidité). Ces campagnes permettront :

- **de vérifier le calcul des vitesse de courant en un point donné**
- **d'établir le modèle de perte de charge le long du chenal** ; cette donnée permettra d'ajuster le marégramme en tout point du chenal, et de calculer les délais nécessaires pour qu'une masse d'eau donnée parcoure un tronçon donné
- **d'évaluer qualitativement la répartition de l'eau dans les réseaux primaires et secondaires**
- **d'évaluer les différences qualitatives entrée-sortie de prise de marais**, en terme de chlorophylle et turbidité par exemple (consommation et/ou décantation lors du passage dans le champ de claire)
- **d'estimer l'écart de cote et de temps de la marée entre Le Chapus et le chenal de Luzac**

D'autre part, le recensement et la cotation des principaux ouvrages hydrauliques seront poursuivis, et les volumes entrant dans les différentes prises de marais évalués.

Annexe 1 :

Modèle de calcul des volumes développé sous le logiciel Stella

$V_{\text{eau}}(t) = V_{\text{eau}}(t - dt) + (\text{volumein} - \text{volumeout}) * dt$

INIT $V_{\text{eau}} = 0$

volumein =

IF($c_{\text{a}} > c_{\text{c}}$)AND($c_{\text{a}} > c_{\text{r}}$)THEN($900 * S * V_{\text{M}} / 1000$)Else(0)

volumeout =

IF($c_{\text{c}} > c_{\text{a}}$)and($c_{\text{c}} > c_{\text{r}}$)then($900 * S * V_{\text{M}} / 1000$)else(0)

$c_{\text{c}} = c_{\text{cl}} + h_{\text{c}}$

$h_{\text{c}} = (V_{\text{eau}} * 1000 / \text{surf}_{\text{c}})$

$h_{\text{m}} = \text{if} (c_{\text{a}} > c_{\text{r}}) \text{ AND } (c_{\text{r}} \geq c_{\text{c}}) \text{ THEN } (c_{\text{a}} - c_{\text{r}}) \text{ ELSE } (\text{if} (c_{\text{c}} > c_{\text{r}}) \text{ AND } (c_{\text{r}} \geq c_{\text{a}}) \text{ THEN } (c_{\text{c}} - c_{\text{r}}) \text{ else } (\text{if} (c_{\text{c}} \geq c_{\text{a}}) \text{ and } (c_{\text{a}} > c_{\text{r}}) \text{ then } (c_{\text{c}} - c_{\text{r}}) \text{ else } (\text{if} (c_{\text{a}} \geq c_{\text{c}}) \text{ and } (c_{\text{c}} > c_{\text{r}}) \text{ then } (c_{\text{a}} - c_{\text{c}}) \text{ else } (0))))$

$\text{pente} = \text{if} (c_{\text{c}} > c_{\text{r}}) \text{ and } (c_{\text{a}} > c_{\text{r}}) \text{ then } (((c_{\text{a}} - c_{\text{c}}) / \text{long}_{\text{ou}})^2)^{0.5} \text{ else } (\text{if} (c_{\text{a}} > c_{\text{r}}) \text{ and } (c_{\text{c}} \leq c_{\text{r}}) \text{ then } ((c_{\text{a}} - c_{\text{r}}) / \text{long}_{\text{ou}}) \text{ else } (\text{if} (c_{\text{c}} > c_{\text{r}}) \text{ and } (c_{\text{a}} \leq c_{\text{r}}) \text{ then } ((c_{\text{c}} - c_{\text{r}}) / \text{long}_{\text{ou}}) \text{ else } (0)))$

$P_{\text{m}} = h_{\text{m}} * 2 + \text{larg}_{\text{ou}}$

$\text{Rayon}_{\text{hydrau}} = S_{\text{m}} / P_{\text{m}}$

$S_{\text{m}} = h_{\text{m}} * \text{larg}_{\text{ou}}$

$V_{\text{M}} = K_{\text{M}} * \text{Rayon}_{\text{hydrau}}^{(2/3)} * \text{pente}^{0.5}$

$c_{\text{a}} = \text{GRAPH}(\text{time})$

$\text{surf}_{\text{c}} = 210717$

$c_{\text{cl}} = 5.36$

$c_{\text{r}} = 4.62$

$K_{\text{M}} = 70$

$\text{larg}_{\text{ou}} = 1.36$

$\text{long}_{\text{ou}} = 3.5$

Variables utilisées :

$V_{\text{eau}} = \text{Volume d'eau présent dans les claires en milliers de m}^3$

$\text{Surf}_{\text{c}} = \text{surface totale en eau des claires en m}^2$

Volumein = volume d'eau entrant dans les claires en m³/heure
Volumeout = volume d'eau sortant des claires en m³/heure
Coteauchenal = Cote altimétrique du miroir chenal en m
Coteauchclair = Cote altimétrique du miroir claires en m
Coteradier = Cote altimétrique du radier de l'ouvrage en m
Smouillee = Section mouillée en m²
Pmouille = Périmètre mouillé en m
Hmouillee = hauteur mouillée (hauteur d'eau, soit Y)
Vmanning = Vitesse d'écoulement de l'eau en m/s
Kmanning = coefficient K de la formule de Manning
Heauchclair = Hauteur d'eau dans les claires
Longouvrage = longueur de l'ouvrage hydraulique
Largouvrage = largeur de l'ouvrage hydraulique
Pente = différence cote chenal-cote claire (ou l'inverse)
Rayonhydrau = Rayon hydraulique