

Sortie interdite

ACTES DES SIXIEMES JOURNEES « ENVIRONNEMENT » RELATIVES A LA PROTECTION DU SITE DE PETIT SAUT (GUYANE)

21 et 22 juin 1995
Hôtel du Fleuve - Sinnamary

Alain GREGOIRE
12.02.96

SF
I
GRE



Fonds Documentaire ORSTOM
Cote: A*14940 Ex: 1

ELECTRICITE DE FRANCE

COMMISSION SCIENTIFIQUE
DE SUIVI
DU BARRAGE DE PETIT SAUT

ORSTOM

Institut Français
de Recherche Scientifique
pour le Développement
en Coopération

Centre de Cayenne

Laboratoire d'Hydrologie

ESTUAIRE DU FLEUVE SINNAMARY

Régime Hydrologique de la crique Vénus

Modélisation du coin Salé

Présentation à la commission scientifique EDF Petit Saut de Juin 1995

Juin 1995

P. VAUCHEL

A - INTRODUCTION

Le mot « Estuaire » a deux significations principales :

- zone d'une rivière atteinte par la marée saline.
- zone d'une rivière atteinte par la marée dynamique (l'onde de crue).

Nous parlerons pour notre part de l'estuaire du Sinnamary au sens large, c'est à dire comme la partie du cours du fleuve influencée par la marée dynamique. L'estuaire du Sinnamary comprend donc à notre sens toute la zone entre Petit Saut et la mer.

1 - Etudes en cours

Dans le cadre des études accompagnant la construction puis la mise en eau du barrage de Petit Saut, les hydrobiologistes de l'ORSTOM mènent à l'aval de la retenue de Petit Saut et plus particulièrement sur la crique Vénus des études sur la reproduction des poissons. Or l'hydrologie de la crique Vénus était très mal connue, et ces chercheurs manquaient de données de base sur le fonctionnement de cet affluent du fleuve Sinnamary. Il s'agissait d'une lacune grave, car la reproduction des poissons et la survie des larves est sans aucun doute largement dépendante du régime hydrologique. L'ORSTOM a donc lancé en grande partie sur fonds propres une étude visant à améliorer la connaissance du régime hydrologique de la crique Vénus, et à répondre à quelques questions simples mais importantes :

- Peut-on prédire les niveaux de la ligne d'eau sur la crique Vénus en fonction du niveau à Petit Saut ?
- Quelles sont en régime naturel les fréquences et les durées des inondations, et comment seront-elles modifiées pendant le remplissage et la phase d'exploitation du barrage ?
- Quelle est l'amplitude du marnage dû à la marée ? Quelle est son importance par rapport au marnage dû aux crues du fleuve Sinnamary ?
- Quelles sont les vitesses du courant dans la crique Vénus ? Seront-elles modifiées par la retenue de Petit Saut et comment ?
- Peut-on obtenir une estimation du débit de la crique Vénus et de son rôle pour la qualité des eaux à l'aval du barrage ?

D'autre part, dans le cadre des études préliminaires à la construction du barrage, l'ORSTOM avait réalisé dans le passé pour le compte d'EDF deux campagnes de mesures sur le coin salé (1983 et 1988), dans la zone située entre Pointe Combi et l'embouchure. A la demande d'EDF-CNEH, une étude portant sur un point zéro de ce coin salé a été réalisée par l'ORSTOM durant l'année 1994. Il s'agissait ici de répondre à d'autres questions :

- Quelle est la position du coin salé au moment de la mise en eau du barrage ?
- Le coin salé a-t-il changé de position depuis les mesures anciennes ? Si oui pourquoi ?
- Peut-on attendre des modifications du régime de l'embouchure liées au barrage ?
- Comment peut-on concevoir un dispositif de suivi du coin salé ?

Cette petite présentation reprend donc les principales conclusions de ces deux études portant sur l'estuaire du fleuve Sinnamary.

2 - Dispositif de mesures installé

La position des différentes stations est indiquée sur la carte schématique présentée à la figure n° 1.

- la station de Petit Saut Aval contrôle les niveaux et le débit du fleuve provenant du bassin amont du fleuve et, depuis le début Janvier 94, de la retenue. Cette station est légèrement influencée par la marée.
- une station sur le Sinnamary à crique Vénus dite « Vénus Qualité » mesure les niveaux du fleuve au voisinage de la crique Vénus
- une station sur la crique Vénus dite « Vénus Vitesses » mesure les cotes et les vitesses du courant **sur la crique Vénus**, à 100 m en amont de la confluence avec le fleuve Sinnamary, et permet une estimation grossière du débit de la crique Vénus.
- la station de crique Toussaint permet d'estimer le débit de cet affluent de rive gauche du Sinnamary
- la station de Pointe Combi, fortement influencée par la marée, permet de connaître la vitesse de propagation de l'onde de marée, et l'amortissement de son amplitude, dans la partie aval de l'estuaire.
- la station du Sémaphore (sur la Roche Brigandin, à l'embouchure), fournit le signal marée à l'entrée de l'estuaire.

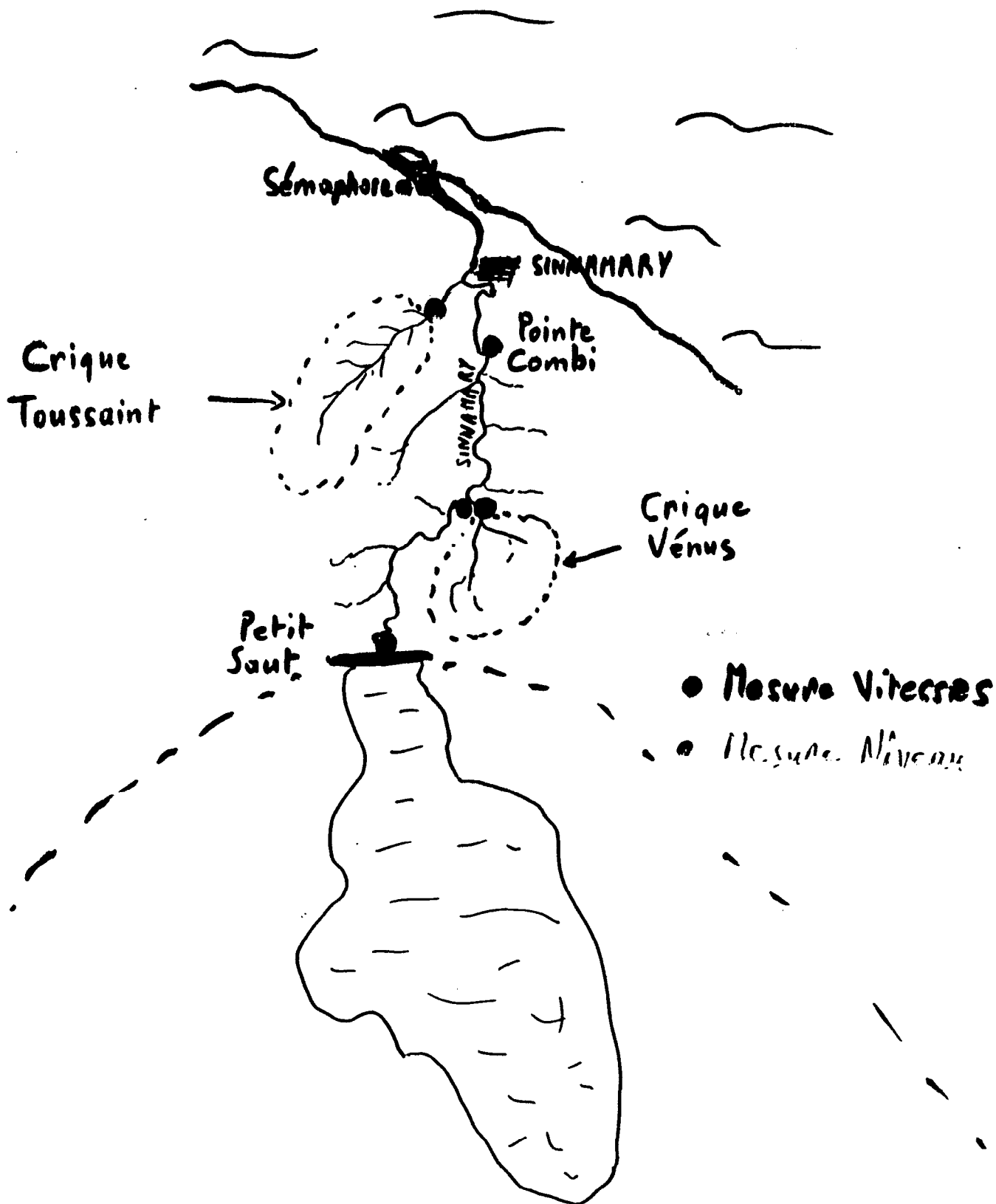


Figure n° 1

Schéma de l'implantation des stations hydrométriques

B - Etude du régime hydrologique de la crique Vénus

1 - ETUDE DES NIVEAUX DE LA CRIQUE VENUS

1.1 - Relation entre Vénus Qualité et Petit Saut Aval

Nous obtenons la régression linéaire suivante (figure n° 1) :

$$VQ = 0.601 PS + 128.5 \quad (r = 0.963, \sigma = 11 \text{ cm})$$

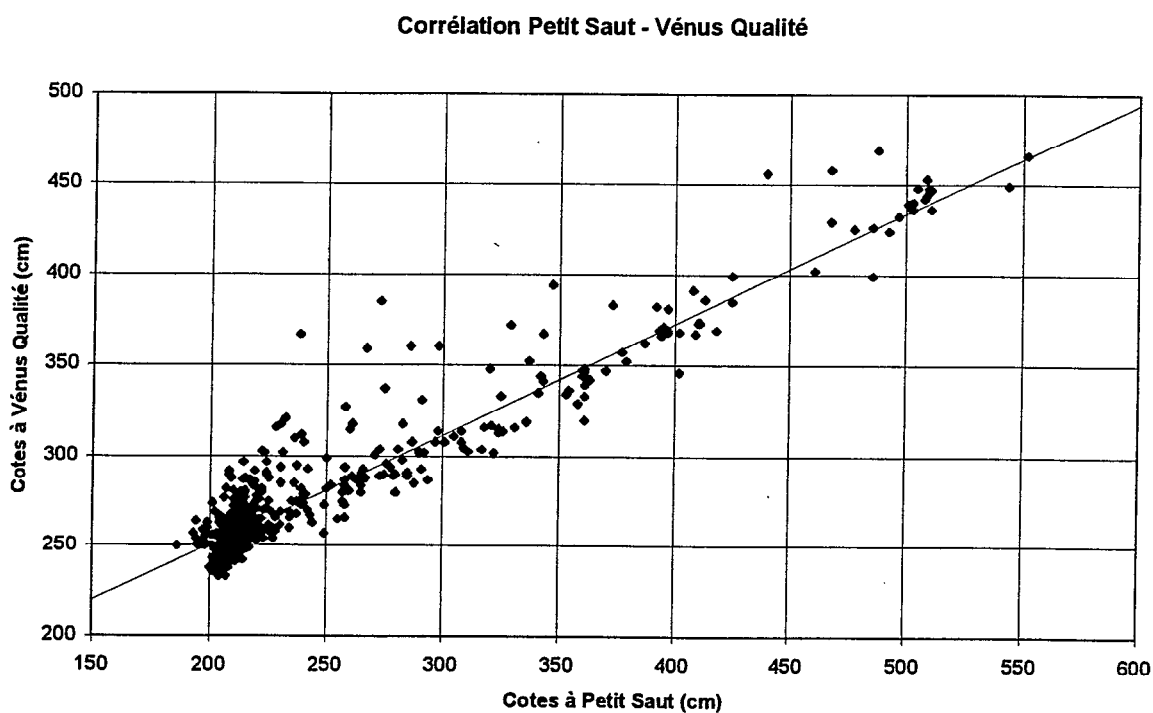


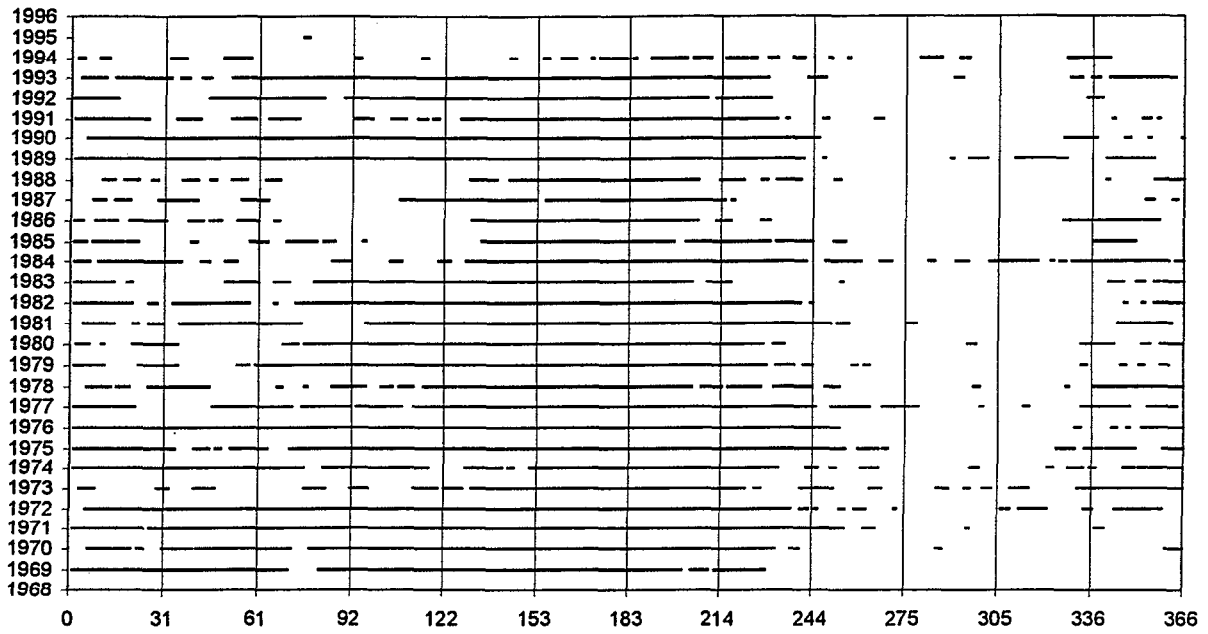
Figure n° 1

Grâce à cette relation entre Vénus Qualité et Petit Saut, nous avons pu reconstituer des cotes au niveau de la crique Vénus, de 1969 à 1993 (les cotes 1994-1995 ayant été mesurées directement).

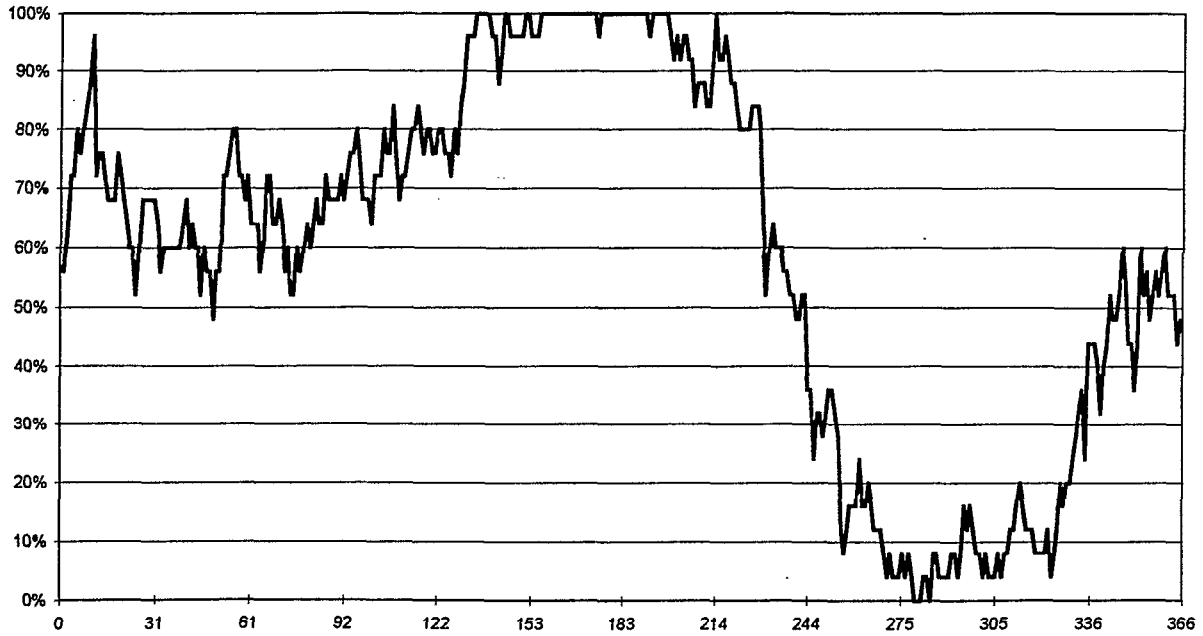
Nous pouvons ainsi calculer pour la crique Vénus et pour chaque année les durées où les cotes ont été supérieures à certains seuils, sur la période 1969-1995.

Nous présentons également pour chacun des seuils les fréquences de dépassement pour chacun des jours de l'année, calculées sur les 25 années reconstituées.

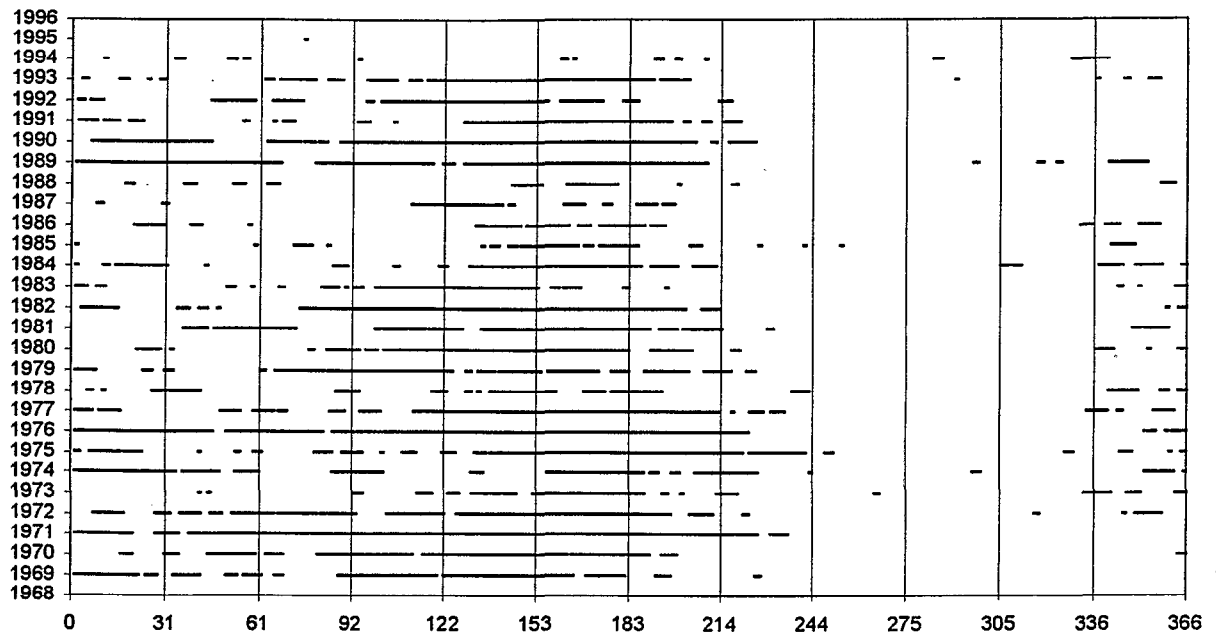
Crique Vénus (qualité)
Durées correspondant à des cotes supérieures à 300 cm



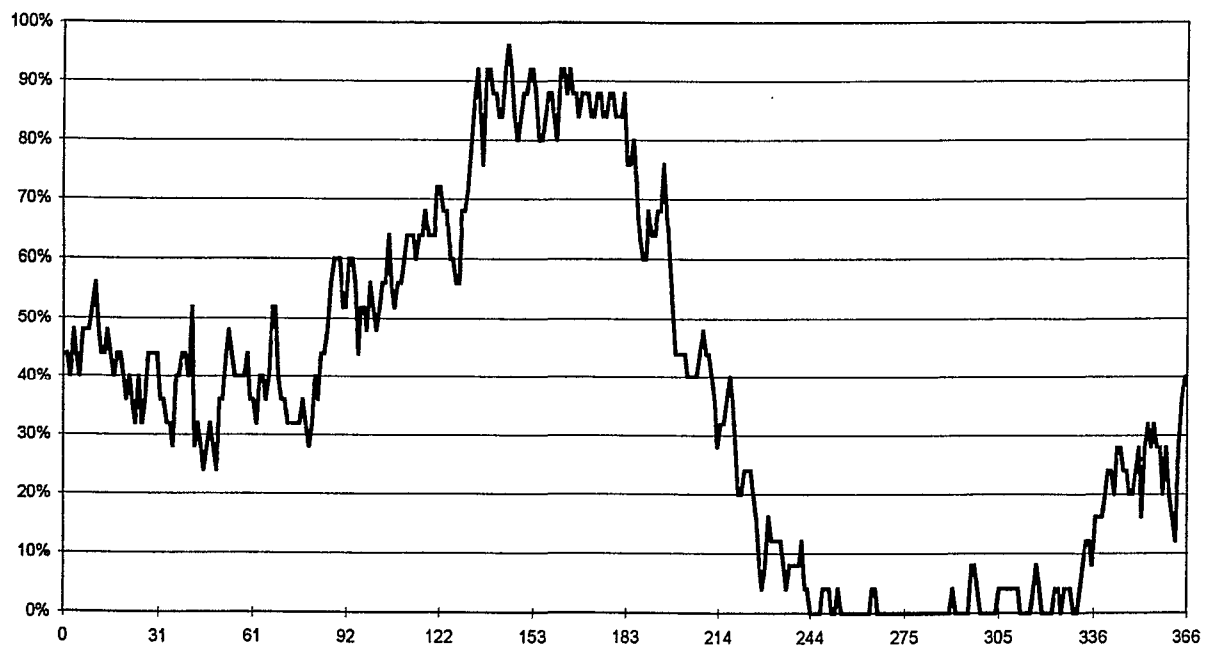
Crique Vénus, 1969 - 1993
Fréquence d'observation des cotes supérieures à 300 cm au long de l'année



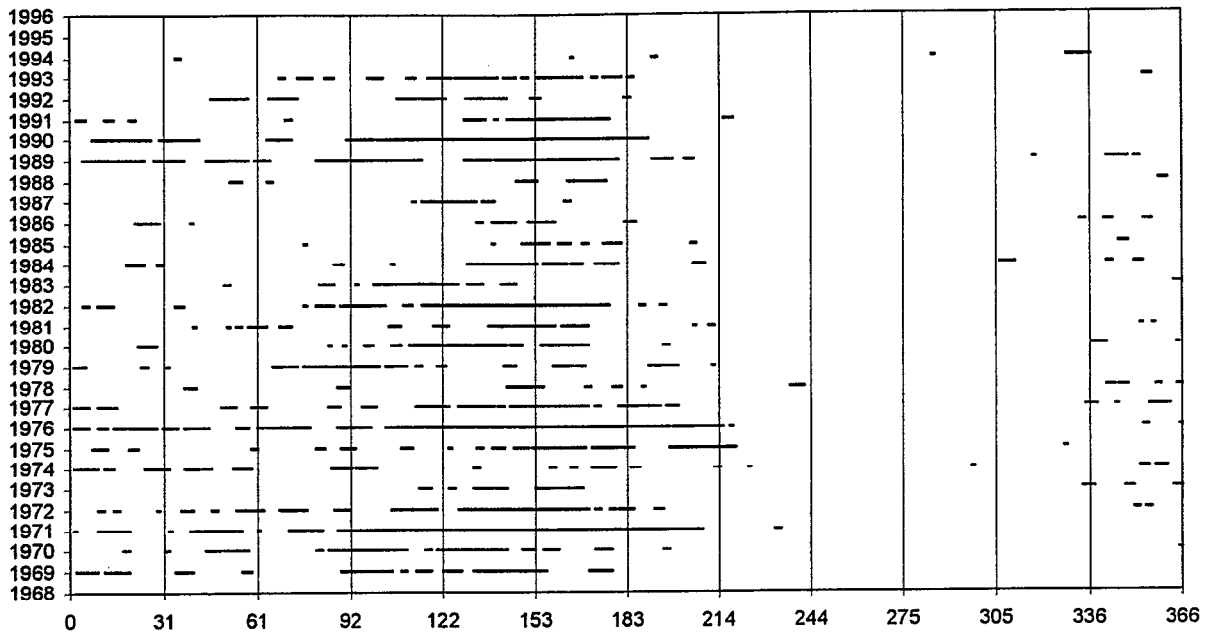
Crique Vénus (qualité)
Durées correspondant à des cotes supérieures à 350 cm



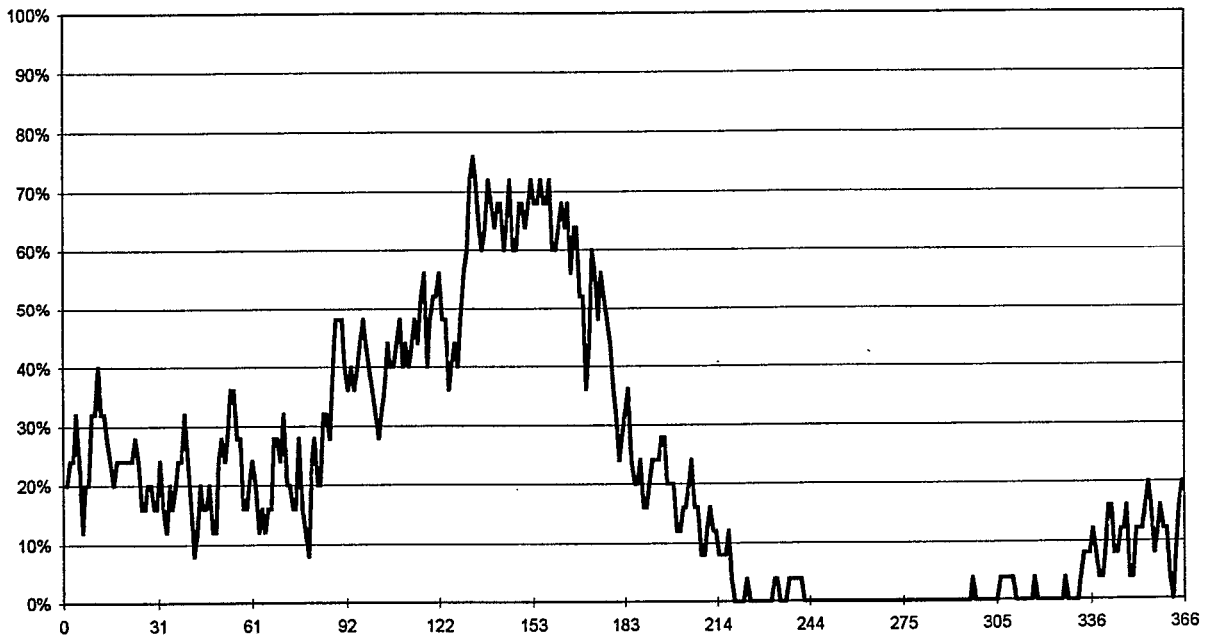
Crique Vénus, 1969 - 1993
Fréquence d'observation des cotes supérieures à 350 cm au long de l'année



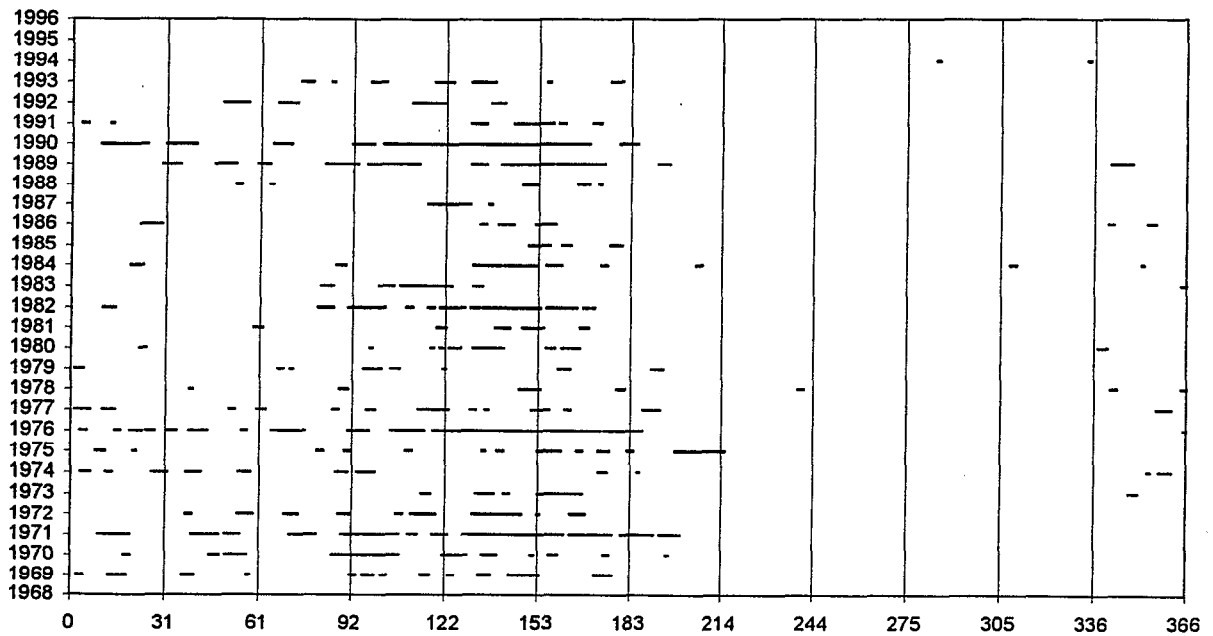
Crique Vénus (qualité)
Durées correspondant à des cotes supérieures à 400 cm



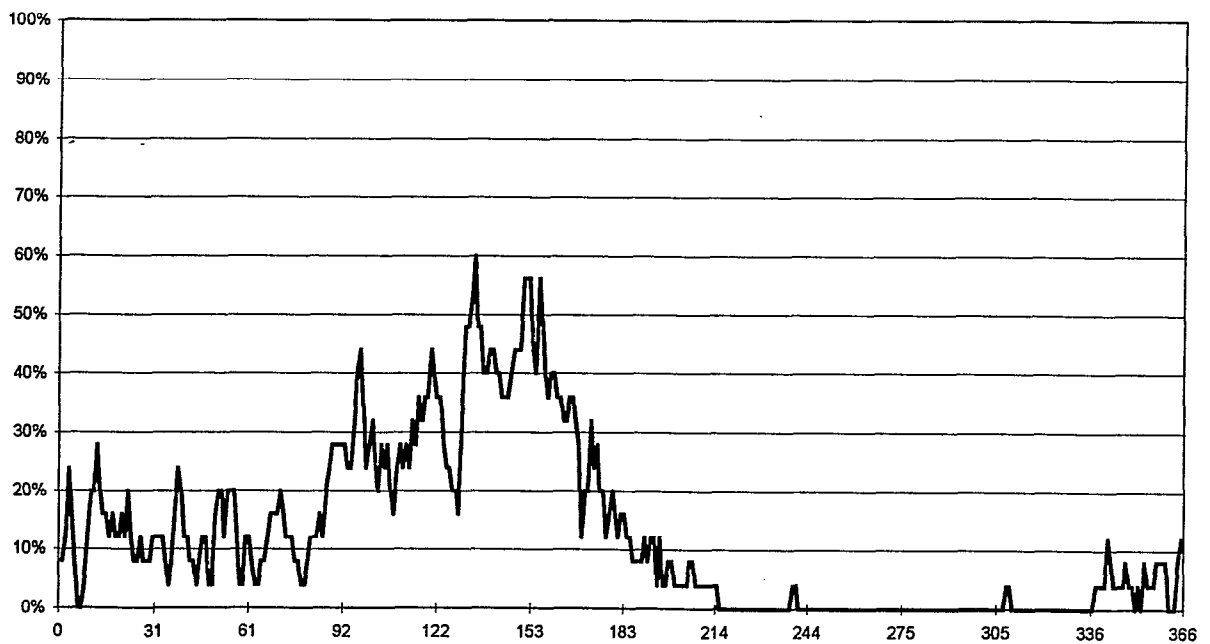
Crique Vénus, 1969 - 1993
Fréquence d'observation des cotes supérieures à 400 cm au long de l'année



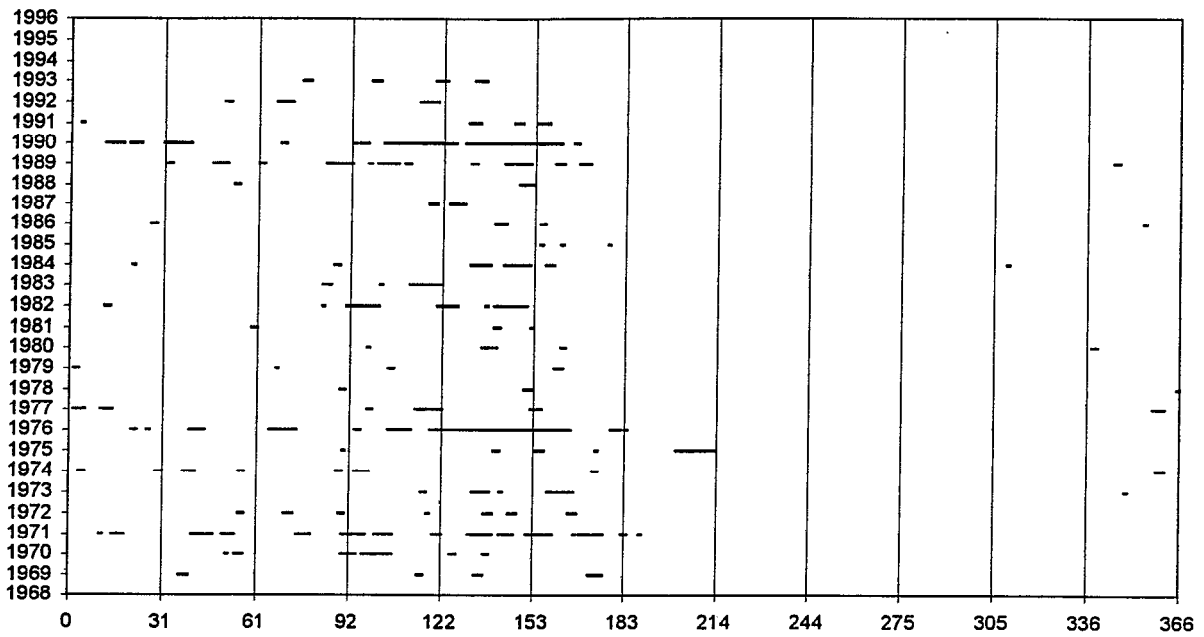
Crique Vénus (qualité)
Durées correspondant à des cotes supérieures à 450 cm



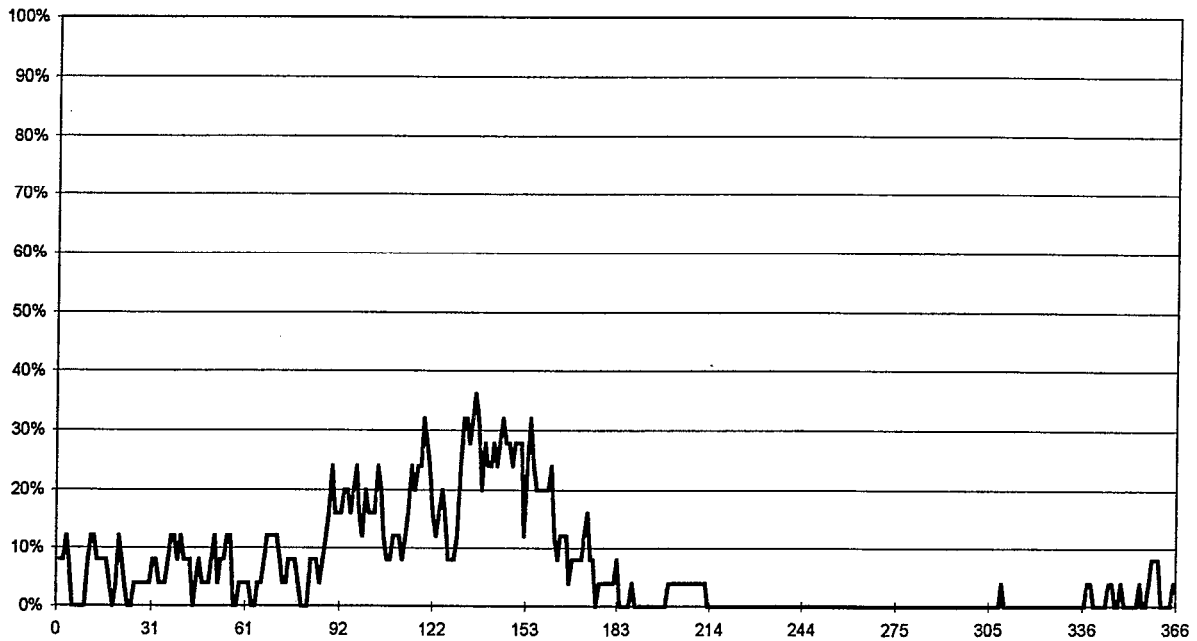
Crique Vénus, 1969 - 1993
Fréquence d'observation des cotes supérieures à 450 cm au long de l'année



Crique Vénus (qualité)
Durées correspondant à des cotes supérieures à 500 cm



Crique Vénus, 1969 - 1993
Fréquence d'observation des cotes supérieures à 500 cm au long de l'année



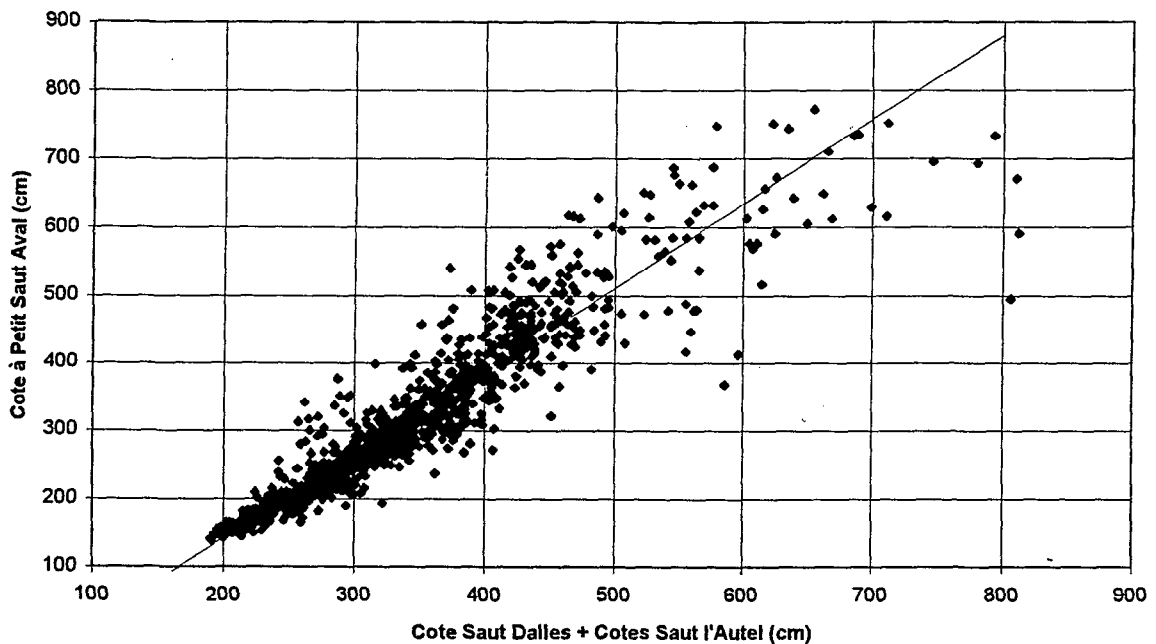
1.2 - Modifications des niveaux induites par le barrage

Afin de mieux comprendre l'effet du barrage, il nous a paru intéressant de reconstituer les niveaux que l'on aurait observé à Petit Saut Aval et à Vénus Qualité en régime naturel. Pour cela, nous avons d'abord reconstitué pour les années 94-95 une série de cotes à Petit Saut Aval en utilisant la corrélation établie sur la période 90-93 entre Petit Saut et les stations amont de Saut Dalles et de Saut l'Autel. Cette corrélation est la suivante :

$$PS = 1.232 \times (SD + SL) - 104.8 \quad (r = 0.951, \sigma = 37 \text{ cm})$$

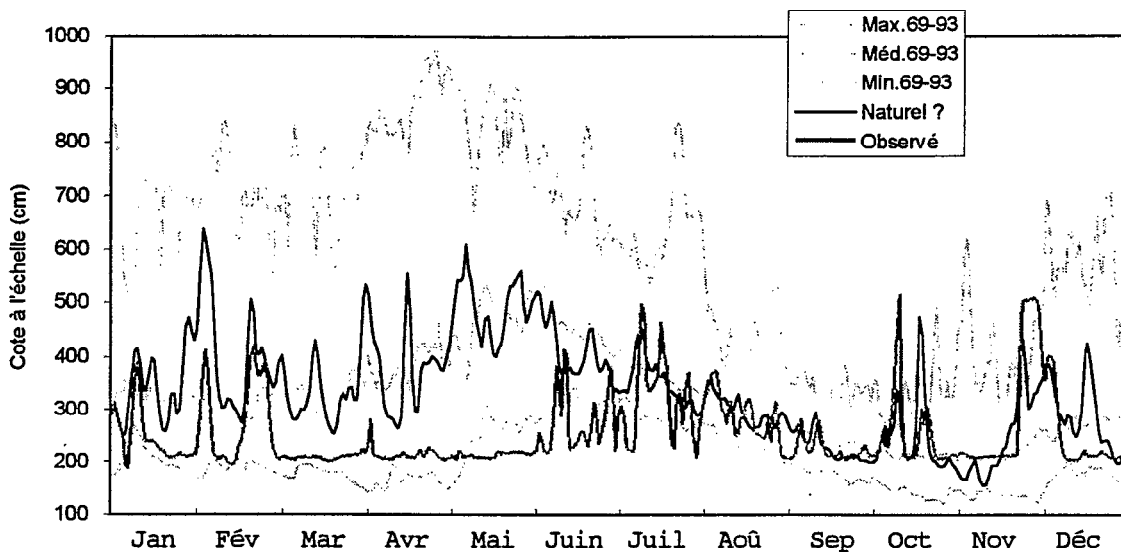
Cette corrélation n'est pas excellente, surtout pour les fortes valeurs (les stations amont contrôlent moins de la moitié du bassin versant), mais donne une idée vraisemblable sinon exacte des niveaux que l'on observerait à Petit Saut Aval en l'absence de barrage.

Corrélation entre Petit Saut Aval et Saut Dalles + Saut l'Autel



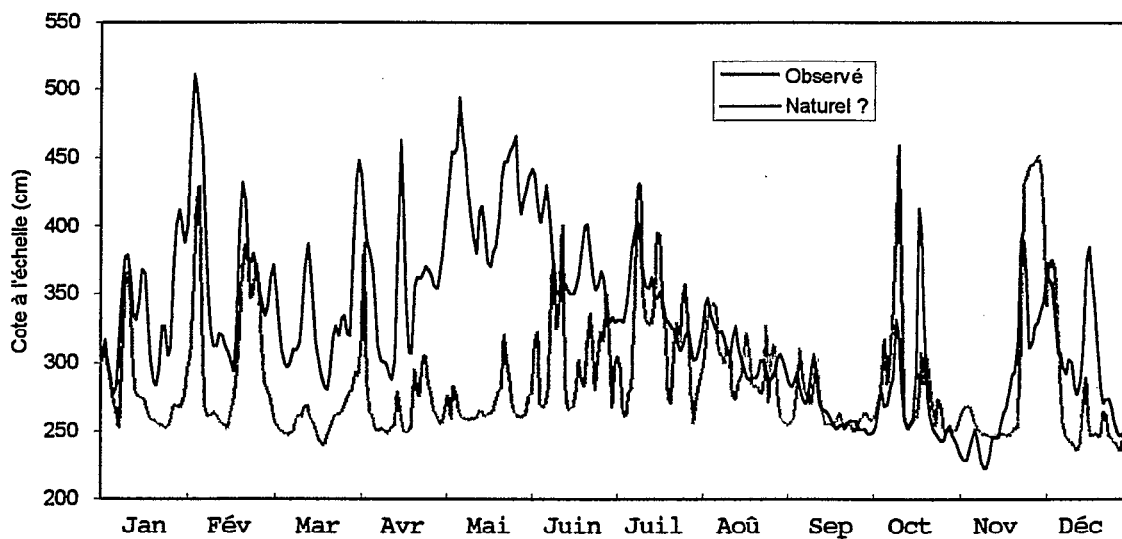
Cette corrélation permet de reconstituer les niveaux que l'on aurait observé à Petit Saut en l'absence du barrage, et de les comparer aux niveaux réellement observés. Le débit moyen sur l'année du fleuve Sinnamary à Petit Saut en régime naturel peut ainsi être évalué, il aurait été de l'ordre de 230 m³/s, valeur très proche de la médiane (240 m³/s).

Sinnamary à Petit Saut - limnigramme 94



De même pour la crique Vénus :

Sinnamary à Crique Vénus - limnigramme 94



2 - ETUDE DES VITESSES SUR LA CRIQUE VENUS

2.1 - Mesures disponibles

La station de mesure des vitesses a été installée fin 93 sur la crique Vénus. Elle a permis d'enregistrer depuis cette date (avec quelques lacunes) les vitesses du courant dans la crique Vénus à proximité de sa confluence avec le fleuve Sinnamary. Le pas de temps de l'enregistrement était fixé à 10 mn, mais les données ont été moyennées au pas de temps d'une heure.

Cette station se compose de 2 capteurs, l'un à 50 cm du fond et le deuxième initialement en surface, puis pour cause de défaillance du système de flotteur à environ 80 cm du fond.

Lorsqu'il fonctionnait en surface, le second capteur a permis de constater que les vitesses de surface étaient de l'ordre de 1.5 fois les vitesses du capteur de fond.

Sept mesures de débit réalisées en Mars - Avril 94 ont permis d'obtenir une première idée de l'étalonnage des capteurs. Le but de cet étalonnage était de rattacher la vitesse mesurée par le capteur (moyennée sur une heure) à la vitesse moyenne sur la section de la rivière. Nous obtenons :

Date	Cote (cm)	Section (m ²)	Débit (m ³ /s)	Vitesse moyenne (cm/s)	Vitesse capteur (cm/s)
21/03/94 14:15	495	38.5	2.2	6	5
21/03/94 14:55	488	42.0	2.9	7	6
21/04/94 16:30	535	47.5	34.3	72	68
21/04/94 17:20	530	50.0	36.3	73	75
22/04/94 08:10	500	42.3	15.4	36	35
22/04/94 09:45	483	37.9	13.8	36	36
22/04/94 12:00	463	33.9	14.3	42	59

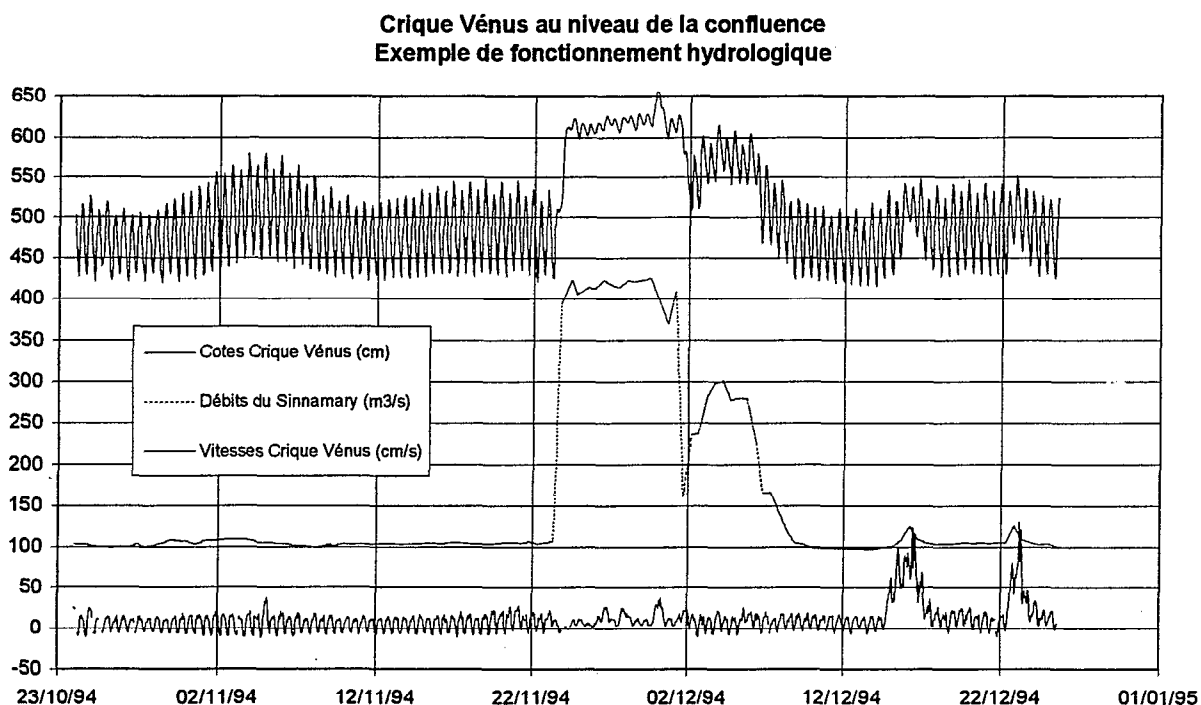
On constate une excellente adéquation entre les vitesses mesurées par le capteur du fond et les vitesses moyennes sur la section résultant des mesures de débit. La seule exception est la dernière mesure, mais la vitesse du capteur indiquée ici résulte d'une moyenne sur une heure. En regardant les mesures instantanées au pas de temps de 10 mn, on voit que la vitesse mesurée aux environs de 12h était en fait proche de 40 cm/s. Nous pouvons donc admettre en première approximation que les vitesses mesurées sur le capteur de fond donne une bonne idée des vitesses moyennes sur la section de la crique. On remarquera toutefois qu'aucun étalonnage n'a été effectué pour les vitesses négatives.

2.2 - Analyse du régime de variation des vitesses

Le régime hydrologique de la crique Vénus à proximité de sa confluence avec le fleuve Sinnamary est particulièrement complexe, puisque les niveaux y dépendent :

- des ondes de crue descendant le fleuve Sinnamary
- des ondes de marée bi-journalières remontant de fleuve Sinnamary
- des crues de la crique Vénus elle-même

Les enregistrements de cotes et de vitesses, reliés aux débits du fleuve, permettent de distinguer plusieurs régimes de fonctionnement de la crique Vénus, comme le montrent les exemples suivants :



2.2.1 - Fleuve à 100 m³/s et crique en étiage (23/10 au 22/11/94)

Les niveaux de la crique Vénus sont imposés par la marée. Le marnage bi-journalier dépend de l'amplitude de la marée et peut atteindre 1.50 m en période de marées de vives eaux. Il est intéressant de constater un gonflement des niveaux mesurés au moment de la marée basse (courbe enveloppe Mini des cotes) lors des marées de vives eaux. Cela traduit probablement un stockage d'eau dans les zones inondées du fleuve lors des fortes marées hautes, stockage qui ne se vidange totalement que lorsque les marées sont devenues plus faibles, en période de mortes eaux.

Les vitesses dans la crique Vénus sont générées principalement par les mouvements de stockage - déstockage dus à la marée. Le débit de la crique étant faible, l'eau du fleuve peut remonter la crique pour en ressortir à marée descendante. Les vitesses restent faibles tant qu'il n'y a pas de crue sur la crique (de l'ordre de plus ou moins 20 cm/s).

2.2.2 - Fleuve à 400 m³/s et crique en étiage (22/11 au 2/12/94)

Le passage d'un débit de 100 m³/s à 400 m³/s sur le fleuve provoque une montée des cotes de la crique de près de 2 m pour les niveaux à marée basse. L'amplitude du marnage dû à la marée devient faible, et ne crée plus de vitesses dans la crique. Les variations de vitesses dans la crique durant cette période sont donc dues au passage de faibles crues. Après la phase de montée des eaux, on n'observe plus de vitesses négatives, le niveau du fleuve ne variant plus suffisamment pour créer des mouvements de flux et reflux dans la crique.

2.2.3 - Fleuve à 100 m³/s et crique en crue (après le 12/12/94)

Le niveau du fleuve étant stabilisé à une cote relativement basse, les crues sur la crique Vénus provoquent une augmentation assez nette des vitesses, qui peuvent atteindre 1 m/s pour des crues moyennes. On notera que la station étant installée à proximité directe de la confluence avec le fleuve Sinnamary, les cotes mesurées sur la crique Vénus sont aussi représentatives des cotes du fleuve. On constate que la crue sur la crique Vénus (et sur les bassins voisins) provoque une nette augmentation de niveau du fleuve, qui est sensible jusqu'à Petit Saut.

2.2.4 - Conclusions

La partie aval de la crique Vénus constitue une zone dont l'hydrologie et en particulier les niveaux sont fortement influencés par la marée lorsque le fleuve est bas. L'influence de la marée diminue lorsque le débit du fleuve augmente, et s'annule presque lorsque le fleuve atteint un débit voisin de 400 m³/s (correspondant à une cote voisine de 500 cm à Petit Saut Aval).

Les vitesses de la crique sont nettement plus liées que les niveaux aux débits en provenance du bassin amont de la crique Vénus. Il existe certes un « bruit de fond » sur les vitesses dû essentiellement au flux et reflux provoqués par la marée ou les ondes de crue, qui peut conduire à des variations de vitesse de l'ordre de 50 cm/s en valeur absolue. Cependant, l'obtention de vitesses supérieures à 50 cm/s traduit toujours la présence de crues sur la crique Vénus.

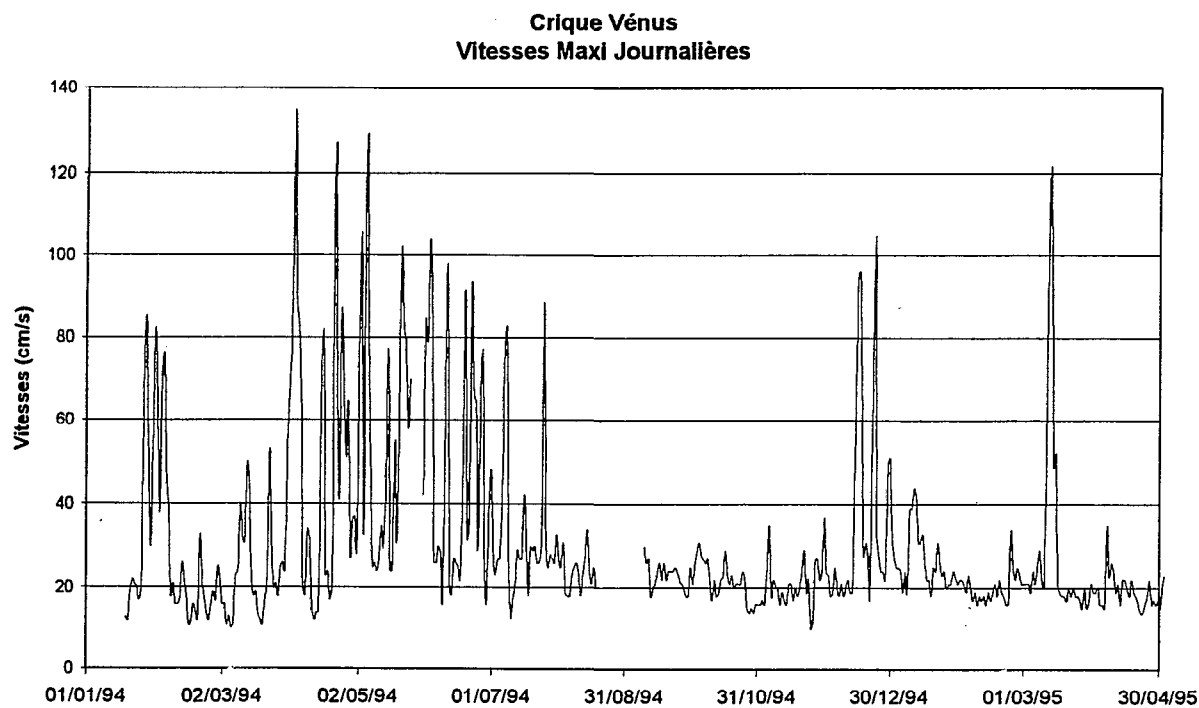
En cas de crue sur la crique Vénus, les vitesses mesurées dépendront toutefois dans une certaine mesure du niveau du fleuve au moment de la crue. Si le niveau du fleuve est élevé, il existe plusieurs facteurs susceptibles de freiner les vitesses sur la crique :

- les sections mouillées au niveau de la crique seront d'autant plus grandes que le fleuve est élevé, et le même débit transitant dans une section plus importante conduira à des vitesses plus faibles.
- lorsque le niveau monte, on observe la création de vastes zones inondées. Une crue survenant sur la crique Vénus pourra alors s'étaler dans les zones inondées, ce qui diminuera son débit de pointe.

Si par contre le niveau du fleuve est bas lorsque survient une crue sur la crique Vénus (comme c'est le cas général depuis la mise en eau du barrage de Petit Saut), le débit doit transiter dans des sections mouillées faibles, ce qui peut conduire à des vitesses élevées.

2.3 - Résultats des mesures des vitesses

Le graphique suivant donne la répartition des vitesses maxima journalières en fonction du temps.

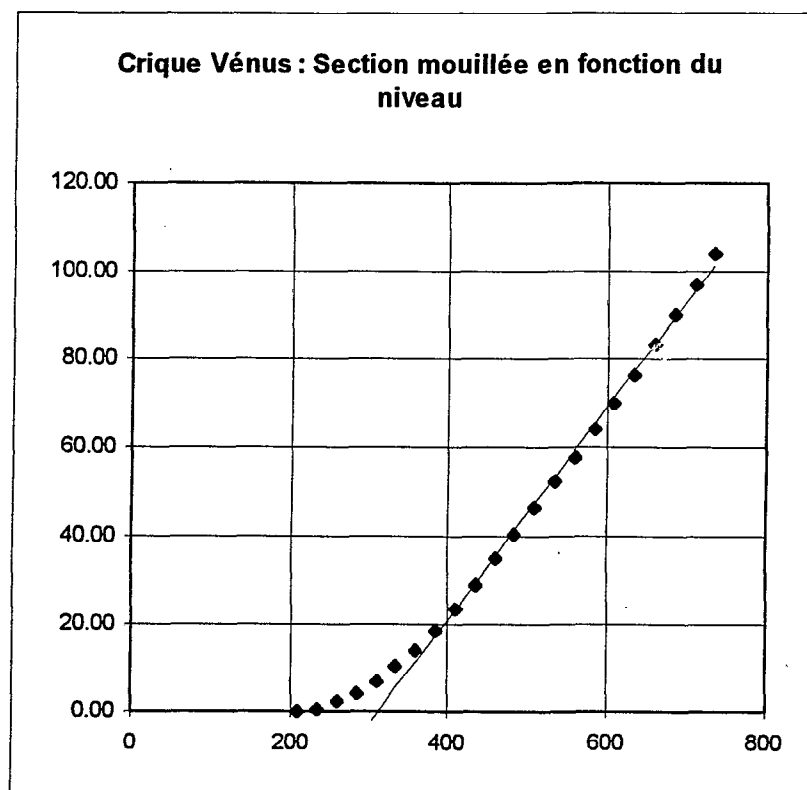


3 - ETUDE DES DEBITS DE LA CRIQUE VENUS

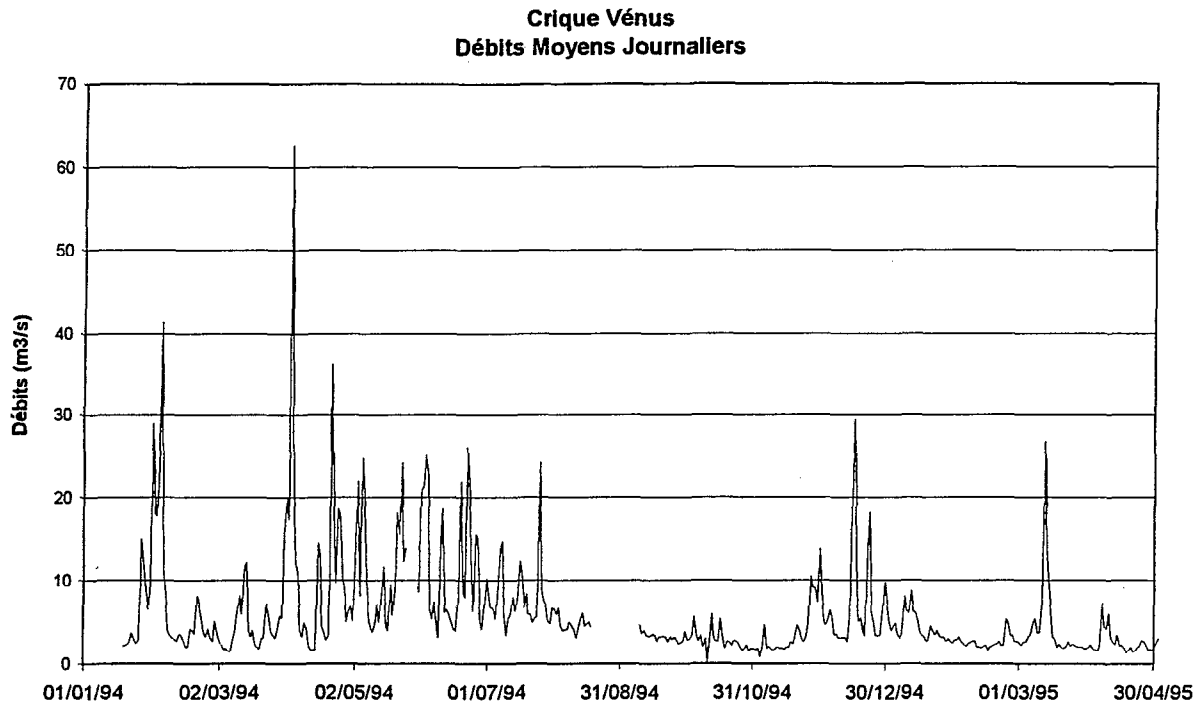
Connaissant à chaque moment la vitesse moyenne dans la section et la cote, on peut facilement imaginer d'utiliser la cote pour calculer la section mouillée et pour obtenir des débits.

La relation Cote - Section mouillée a été déduite des profils en travers réalisés lors des jaugeages. On obtient le graphique suivant, qui donne la section mouillée en fonction de la cote à l'échelle de la station des vitesses. Pour les cotes supérieures à 400 cm, on peut sans commettre une grosse erreur assimiler la courbe Cote - Section à une droite d'équation :

$$\text{Section} = 0.2125 \text{ Cote} - 64.75$$



Nous pouvons ainsi obtenir une estimation des débits de la crique Vénus sur la période observée. Pour l'année 94, le débit moyen annuel de la crique Vénus serait de 7 m³/s.

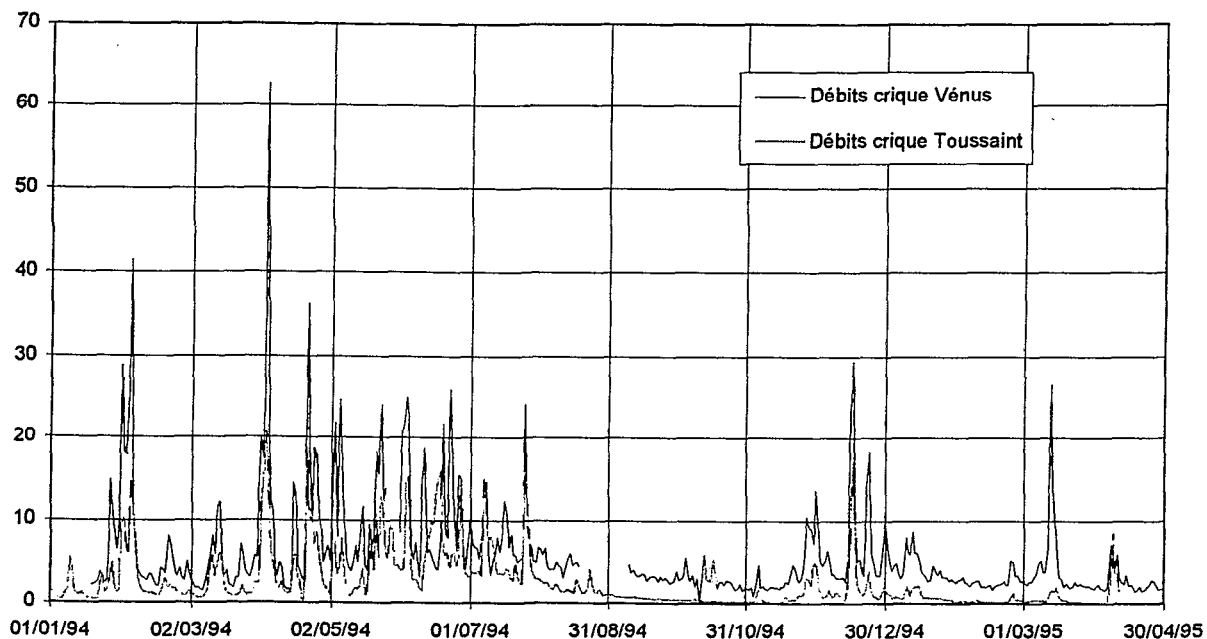


N.B. : on peut être surpris de constater une baisse importante du débit d'étiage le 10/10/94, qui paraîtrait impossible sur une rivière ordinaire. Cette baisse est due en fait à une brusque montée des eaux à Petit Saut Aval, qui a entraîné ce jour là une inversion des courants dans la crique Vénus pendant une bonne partie de la journée, diminuant ainsi artificiellement le débit journalier. La remontée de débit que l'on constate le jour suivant consiste en la restitution au fleuve d'une partie de l'eau stockée le jour précédent.

Il nous a paru intéressant de comparer les débits calculés sur la crique Vénus avec les débits de la crique Toussaint. La crique Toussaint est un affluent de rive gauche du fleuve dont la confluence se situe à peu de distance à l'amont de la ville de Sinnamary. Elle est suivie par l'ORSTOM depuis 1988, et l'on y connaît les débits avec une assez bonne précision, puisque la relation Hauteurs - Débits n'y est pas influencée par la marée. Le bassin de la crique Toussaint a une superficie de 55 km², contre 70 km² pour la crique Vénus. Le débit moyen de l'année 94 sur la crique Toussaint a été de 3 m³/s, contre 7 m³/s pour la crique Vénus. Cette différence paraît très importante, puisqu'on obtient sur la crique Vénus un débit du double de la valeur attendue suivant le rapport des superficies des bassins.

Il est vrai que la crique Vénus, située au sud-est de la crique Toussaint, bénéficie sans doute d'une pluviométrie plus abondante. La différence de débits paraît toutefois trop importante pour être attribuée totalement à la pluviométrie, et jette un doute sur la validité du calcul des débits à partir des vitesses que nous avons effectué. On trouvera au graphique suivant la comparaison des débits entre les 2 bassins :

Comparaison des débits de Crique Vénus et de Crique Toussaint



Ce graphe nous montre une bonne ressemblance qualitative entre les 2 criques (les crues sont généralement simultanées, et leurs amplitudes comparables), mais de nettes différences quantitatives. La différence la plus importante entre les 2 séries de débits se situe en étiage, où le rapport des débits peut atteindre 1 à 10. Cela peut traduire le fait que les zones marécageuses de la crique Vénus stockent une partie de l'eau qui les alimente lors des crues du fleuve Sinnamary, pour la restituer ensuite lentement, ce qui a pour effet de soutenir le débit d'étiage. Ces fortes différences nous amènent toutefois à nous interroger sur l'étalonnage de notre capteur de vitesses, surtout dans la mesure des débits négatifs. Il nous faudra une campagne de mesures de terrain supplémentaire en étiage pour préciser ce point.

4 - ESTIMATION DES DEBITS DU BASSIN AVAL DE PETIT SAUT

A partir des débits calculés pour la crique Vénus et la crique Toussaint, il est possible de réaliser une estimation grossière des débits du bassin versant du fleuve Sinnamary situé à l'aval de Petit Saut.

Nous avons vu que les débits de la crique Vénus calculés plus haut paraissent surestimés, à cause probablement d'un mauvais étalonnage du capteur vitesses pour les vitesses négatives. Nous pensons obtenir une valeur plus réaliste de ces débits en les multipliant par un coefficient de réduction de 0.6

Les superficies des bassins versants à l'aval du barrage de Petit Saut sont les suivantes :

Petit Saut - Pont de Sinnamary	530 km ²
Crique Vénus	70 km ²
Crique Toussaint	55 km ²

Les criques Vénus et Toussaint contrôlent donc 125 km² sur 530 km². En multipliant la somme des débits de Vénus et Toussaint par le rapport des surfaces des bassins, nous obtenons un bon ordre de grandeur des débits des affluents du Sinnamary à l'aval de Petit Saut. Nous avons résumé les résultats dans le tableau suivant :

Mois	Débit Petit Saut (m ³ /s)	Débit Bassin Aval (m ³ /s)
Janvier 94	135	27
Février 94	177	31
Mars 94	102	19
Avril 94	107	52
Mai 94	106	44
Juin 94	165	55
Juillet 94	205	41
Août 94	175	19
Septembre 94	116	10
Octobre 94	145	8
Novembre 94	181	13
Décembre 94	137	26
Janvier 95	107	14
Février 95	103	7.6
Mars 95	121	12

Nous pouvons constater que pour certains mois de saison des pluies, le débit du bassin versant à l'aval de la retenue arrive à représenter près de 50% du débit lâché par le barrage. Ces apports de l'aval du bassin jouent sans doute un rôle important sur la qualité de l'eau au niveau de l'estuaire, rôle qui n'avait peut-être pas bien été apprécié jusqu'à présent.

5 - CONCLUSION DE L'ETUDE DE LA CRIQUE VENUS

Le dispositif installé par l'ORSTOM au voisinage de la crique Vénus a permis une bien meilleure compréhension du régime hydrologique de cet affluent du Sinnamary. En particulier, de nombreuses connaissances nouvelles ont été acquises :

- une relation entre les niveaux de la ligne d'eau à Petit Saut Aval et sur la crique Vénus a pu être établie. Cette relation a permis de connaître le régime « naturel » de variation des niveaux de la crique Vénus, et d'évaluer les modifications apportées dans la phase de mise en eau du barrage. Il serait possible de réaliser une simulation du futur régime de variation des niveaux si l'on connaissait les règles de gestion du barrage qui vont être retenues par EDF en phase d'exploitation.
- la mesure des vitesses du courant sur la crique Vénus a permis de mieux connaître ce paramètre. Une augmentation des vitesses dans la crique Vénus du fait du maintien du fleuve à un niveau assez bas a pu être mise en évidence.
- enfin il a été possible de calculer les débits de la crique Vénus sur la période de remplissage de la retenue, même si des doutes subsistent sur les valeurs de ces débits. Des valeurs plus précises devraient pouvoir être obtenues en procédant à un étalonnage soigneux du capteur dans la gamme des vitesses négatives (de l'aval vers l'amont).

C - Etude et modélisation du coin salé

1 - INTRODUCTION

1.1 - Contexte de l'étude

Dans le cadre de l'aménagement du barrage de Petit Saut, EDF-CNEH souhaite évaluer et par la suite contrôler l'état des remontées salines dans l'estuaire du Sinnamary à l'aval du barrage.

A cette fin, il est nécessaire d'établir le « point zéro » qui devrait caractériser l'état initial de cette salinité avant la mise en eau du barrage, et de mettre en place un dispositif de mesures et d'observations permettant d'analyser les remontées salines.

A priori, on peut déjà prévoir que les remontées salines dans l'estuaire du Sinnamary dépendent principalement :

- du débit d'eau douce à Petit Saut Aval
- du débit d'eau douce des affluents situés à l'aval de Petit Saut
- de l'amplitude de la marée à l'embouchure du fleuve
- de la bathymétrie du fleuve, et surtout de l'embouchure qui est susceptible de se modifier par suite du déplacement de bancs de vase côtiers, et par érosion due aux crues sur le fleuve.

Pour prétendre réaliser un point zéro, il est indispensable de bien comprendre l'influence de tous ces différents facteurs. Il est donc nécessaire de caler un modèle d'intrusion saline qui prenne au mieux en compte l'ensemble de ces paramètres. Le modèle étant calé, il sera alors facile par la suite de réaliser de nouvelles mesures de salinité et de contrôler si ces mesures sont expliquées ou non par le modèle.

Dans les années 1983 et 1988, l'ORSTOM avait déjà réalisé des mesures permettant de positionner le coin salé. Malheureusement lors de ces études, aucun modèle n'avait été calé, ce qui rendait un peu difficile la comparaison des mesures anciennes avec les mesures récentes. On conçoit en effet facilement qu'étant donné le nombre de paramètres pouvant varier, on ne réalise jamais deux profils de salinité dans exactement les mêmes conditions, et qu'il est difficile de comparer 2 mesures différentes si l'on ne dispose pas d'un modèle servant d'intégrateur aux différentes mesures.

1.2 - Méthodologie adoptée

Nous avons choisi pour représenter le phénomène d'intrusion saline le modèle développé par Mr SAVENJE et décrit dans l'ouvrage « Rapid Assessment Technique for Salt Intrusion in Alluvial Estuaries ». Ce modèle est basé sur une résolution analytique des équations de conservation du mouvement et de la masse d'eau et de sel. Afin d'arriver à cette résolution, des hypothèses simplificatrices sont faites sur la géométrie de l'estuaire, l'hydraulique de la marée et les mécanismes de mélange.

Pour mettre en oeuvre ce modèle, il est d'abord nécessaire de connaître la géométrie de l'estuaire. Dans cette phase, on simplifiera la géométrie de l'estuaire afin d'exprimer les divers paramètres (largeur, profondeur et section) comme des fonctions exponentielles décroissantes de la distance à l'embouchure. Cela est généralement facile pour les estuaires alluviaux qui présentent une forme d'entonnoir se resserrant plus ou moins rapidement selon la texture des berges et les caractéristiques hydrologiques.

On réalise ensuite quelques profils de salinité maximale à l'étale de marée haute et minimale à l'étale de marée basse. Ces profils sont effectués grâce à des prélèvements à intervalles réguliers depuis l'embouchure du fleuve jusqu'à la limite de l'intrusion saline. Du fait que l'onde de marée se déplace de l'embouchure vers l'amont à une vitesse de 10 à 20 km/h, on accompagne les étales depuis l'embouchure jusque vers l'amont au moyen d'un bateau mobile suffisamment rapide. Le positionnement du bateau est relevé au GPS.

Ces profils seront utilisés pour mesurer l'excursion ou dérive (trajet moyen d'une particule d'eau partant de l'embouchure au moment de la marée basse) et caler les coefficients de mélange du modèle.

Lors de chacune des mesures, il faut évidemment connaître le débit en eau douce du fleuve (mesuré à Petit Saut, crique Vénus et crique Toussaint) et l'amplitude de la marée (tables des marées).

2 - BATHYMETRIE ET MODELISATION DES SECTIONS

La géométrie de l'estuaire et particulièrement sa profondeur joue un rôle important pour les remontées salines. Il était donc nécessaire de réaliser une étude soignée de la bathymétrie de l'estuaire.

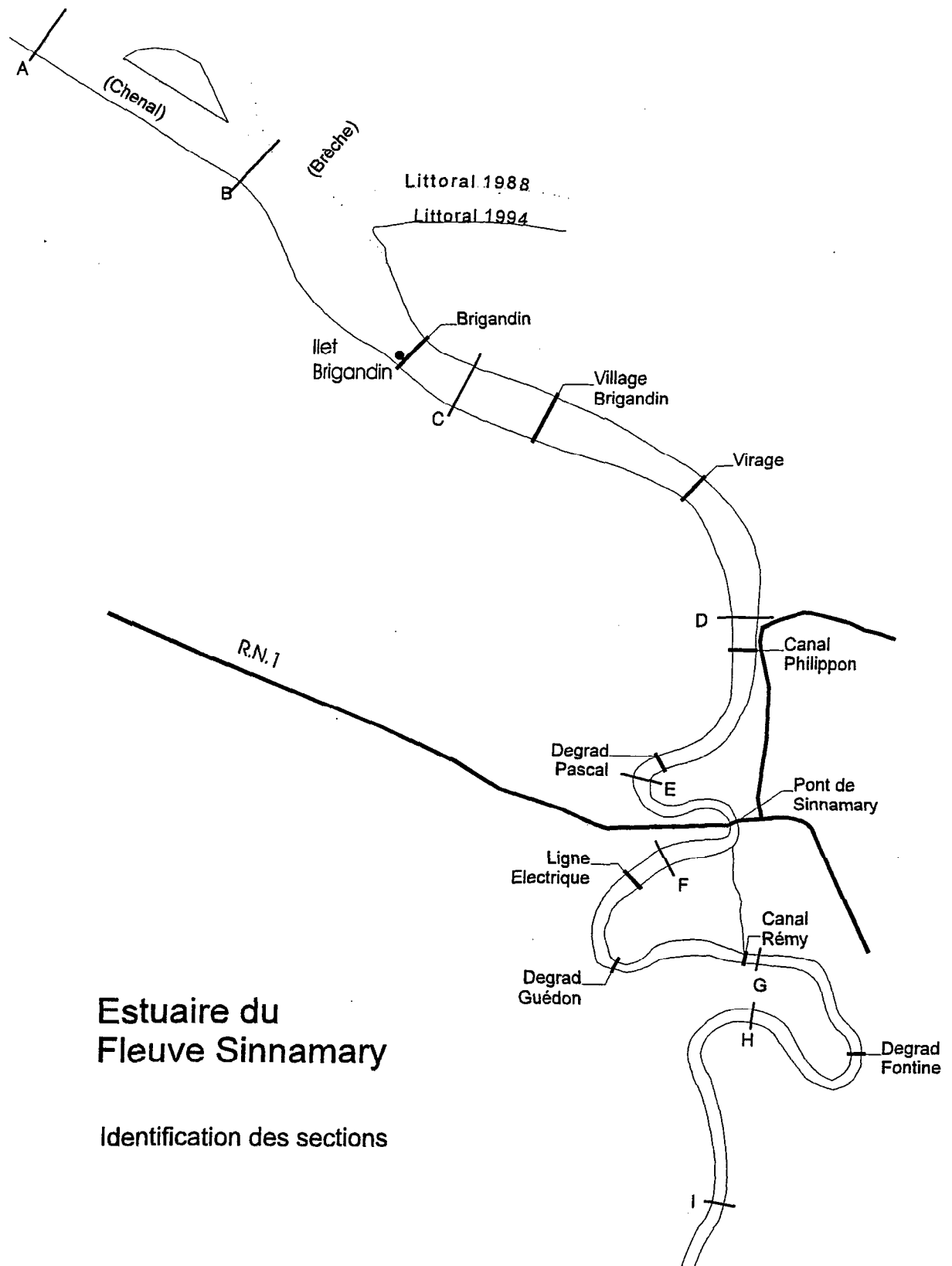
2.1 - Position des profils et méthodologie

Les 21 et 22 Décembre 1994, nous avons réalisé 19 profils en travers sur le fleuve Sinnamary entre Dégrad Fontine et l'embouchure, et 5 profils au voisinage de l'embouchure. Ce profils ont été réalisés au moyen d'un échosondeur, avec positionnement des points de départ et d'arrivée au GPS. Les positionnements des profils réalisés sur le fleuve sont donnés à la figure n° 1. On y trouvera les profils réalisés dans le cadre de cette étude, ainsi que la position des sections qui ont été étudiées en 1983 et 1988, identifiées par les lettres A à I.

Les profils réalisés au voisinage de l'embouchure (figure n° 5 et 6) ont pu être calés en altitude dans le système SHF (système de nivellement dans lequel sont exprimées les hauteurs de marée, dont le zéro est situé légèrement au dessous des plus basses marées possibles). Afin de rattacher ces profils au SHF, nous avons calculé le décalage de niveau entre les marées hautes mesurées sur le limnigraphe du Sémaphore et les marées hautes aux Iles du Salut.

Pour les profils situés entre Dégrad Fontine et l'embouchure (figure n° 3), il est plus difficile de trouver un système commun dans lequel exprimer les niveaux du fait que l'on ne dispose pas de repères de nivellement le long du fleuve, et que l'on connaît mal la pente du fleuve. Les profils ont d'abord été réalisés en mesurant les profondeurs par rapport à la surface libre du fleuve et en notant l'heure de la mesure. Afin de rendre homogènes les différentes mesures entre elles (certaines ont été réalisées à marée haute, et d'autres pour des niveaux plus bas...), nous avons exprimé les profondeurs en fonction du niveau du fleuve moyenné sur un cycle de marée, et ce pour un débit du fleuve de 100 m³/s à Petit Saut.

Pour cela, nous avons calculé pour chacune des sections un limnigramme fictif à la date de la mesure, à partir des enregistrements de niveau du Sémaphore et de Pointe Combi, en interpolant linéairement les temps et les niveaux en fonction de la distance. Nous pouvons alors en fonction de l'heure de la mesure lire sur ce limnigramme fictif un niveau, et calculer la différence avec le niveau moyen. Cette différence est alors utilisée pour corriger les profondeurs mesurées.



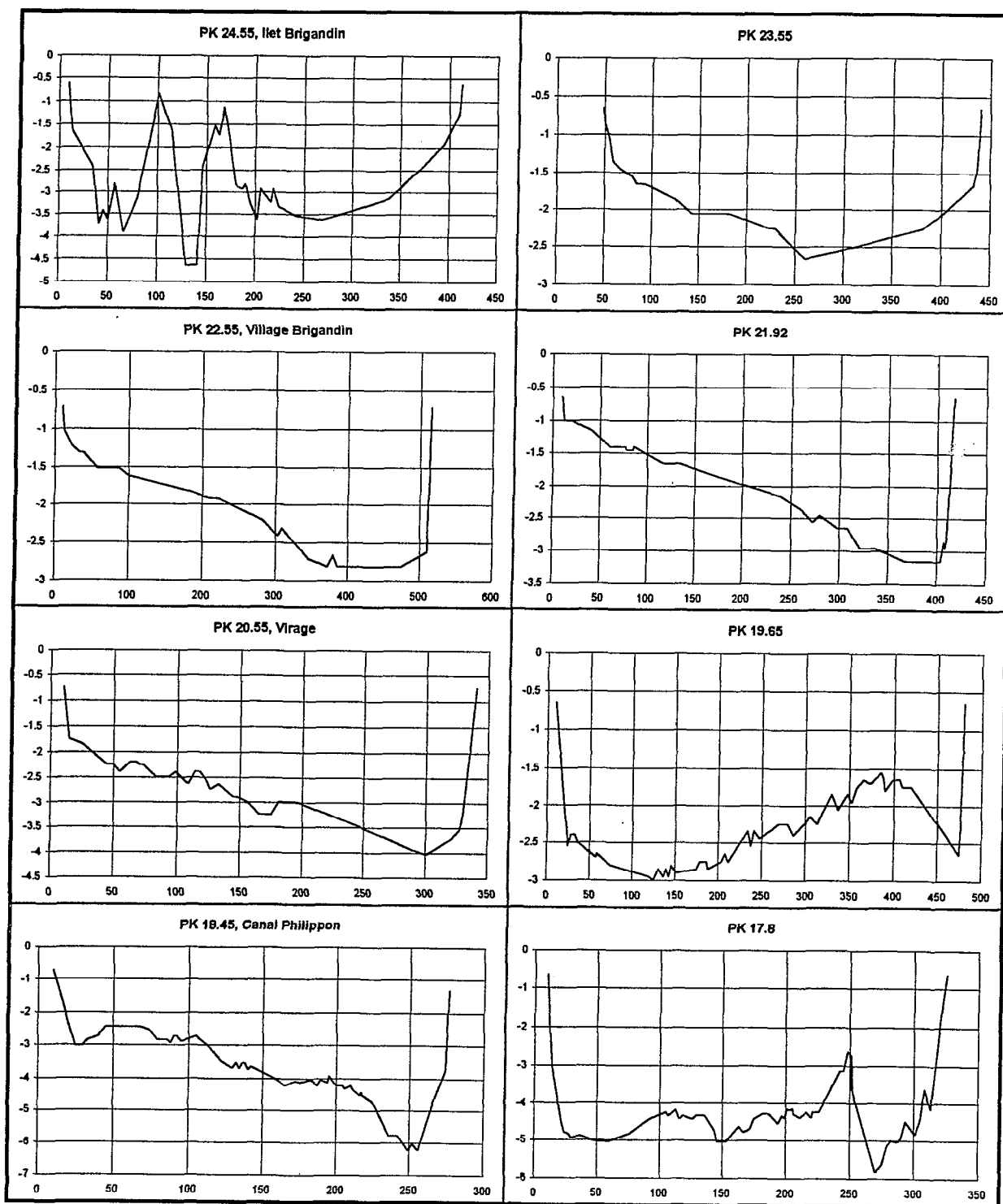
Estuaire du Fleuve Sinnamary

Identification des sections

Figure n° 1

2.2 - Profils en travers sur le fleuve

Nous présentons aux pages suivantes l'ensemble des profils en travers réalisés sur le fleuve, et rapportés au niveau moyen du fleuve pour un débit de 100 m³/s. On notera que les distances kilométriques ont été mesurées à partir de Pointe Combi, et que les distances portées en abscisse sont toujours les distances à la rive gauche du fleuve.



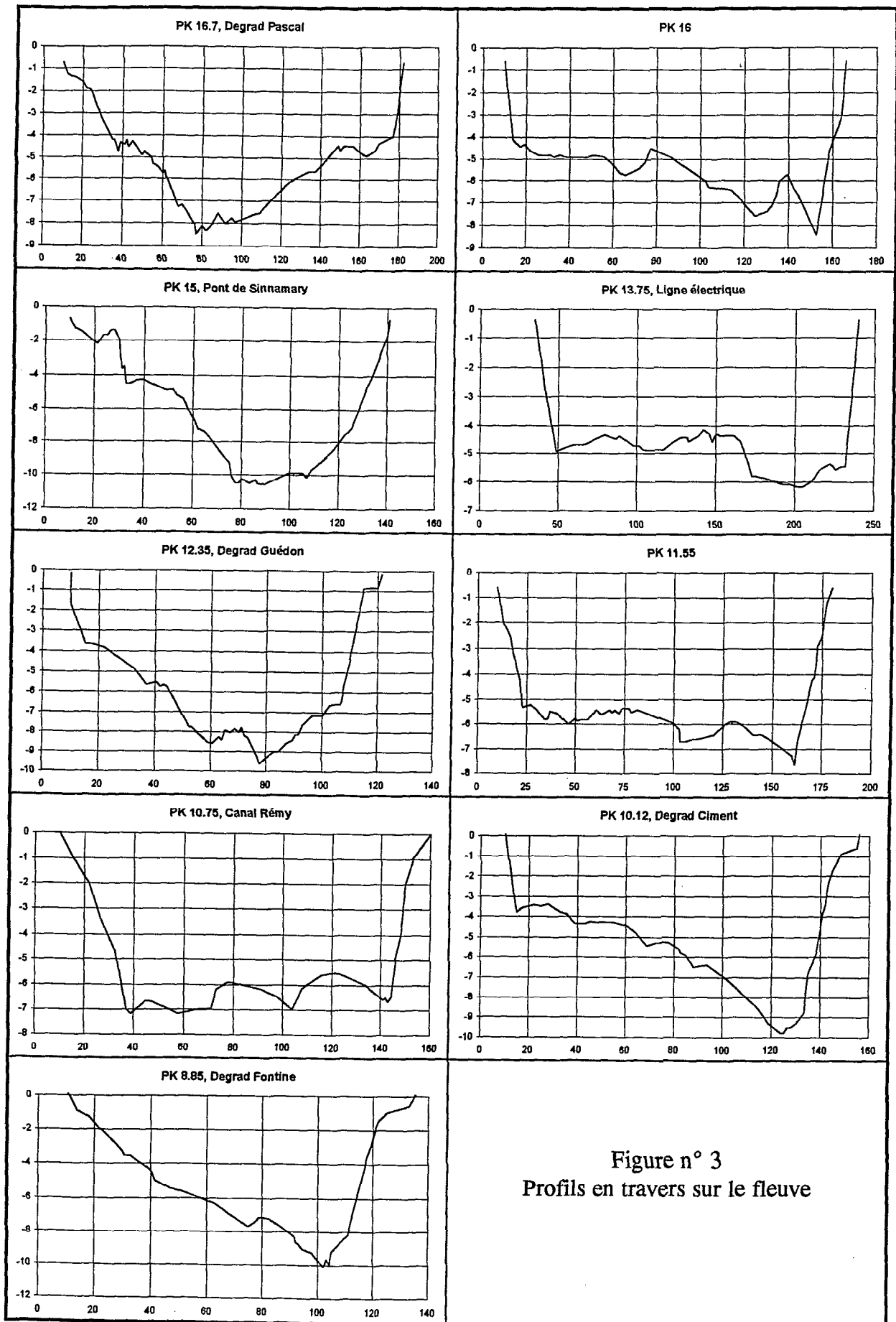


Figure n° 3
Profils en travers sur le fleuve

2.3 - Profils en travers au niveau de l'embouchure

La carte ci-dessous décrit la forme actuelle de l'embouchure du fleuve Sinnamary, et permet de visualiser les sections ayant fait l'objet de profils en travers.

Configuration actuelle de l'embouchure du Sinnamary et repérage des profils en travers

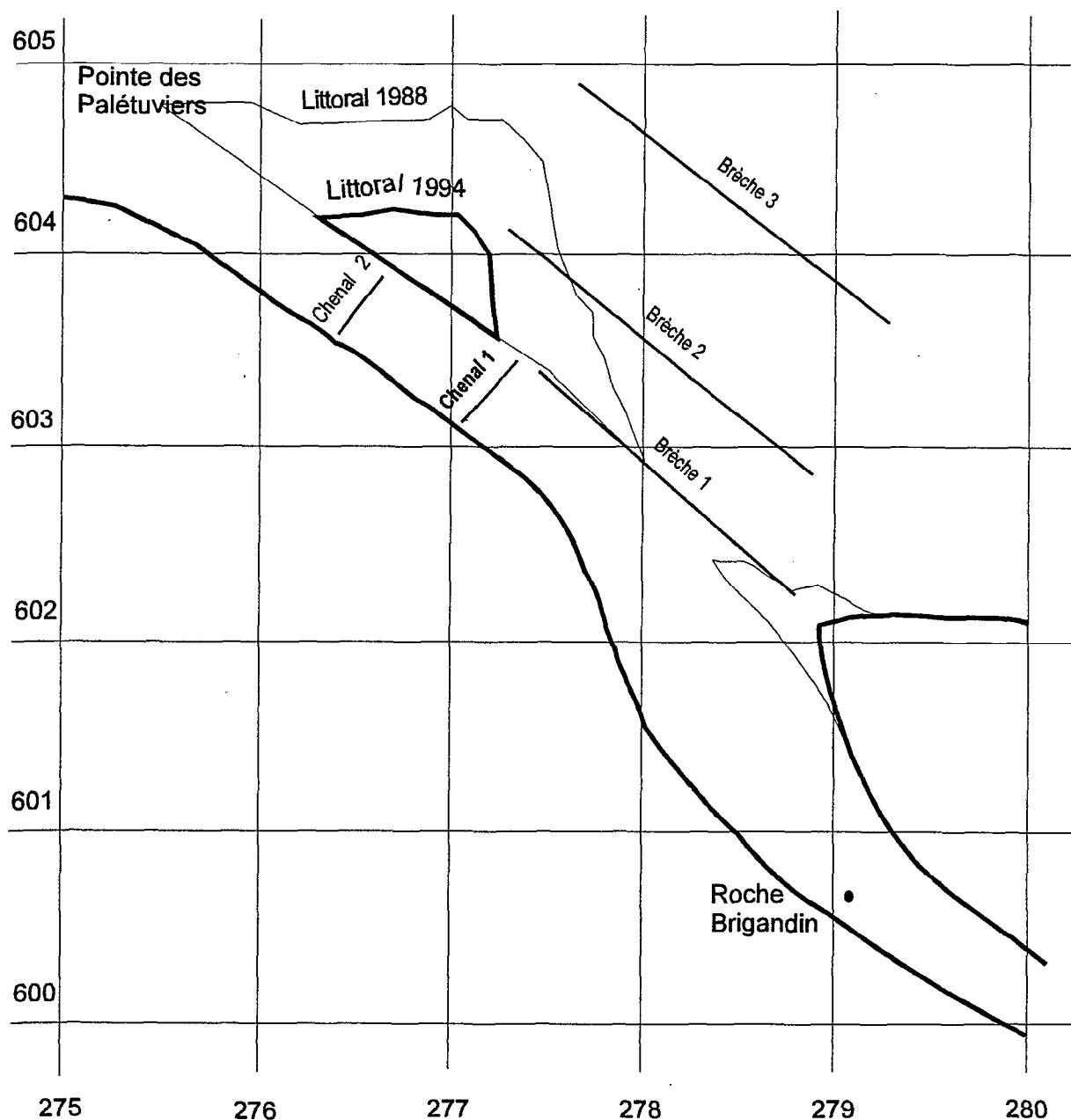


Figure n° 4

On trouvera aux graphiques ci-dessous les profils en travers réalisés au niveau de l'embouchure. Les niveaux sont exprimés dans le système SHF. Dans ce système, le niveau moyen de la mer aux Iles du Salut est donné à 192 cm. Les fortes marées hautes peuvent atteindre une cote de 340 cm, alors que les plus faibles marées basses descendent aux alentours de 40 cm.

Profils en travers au niveau de l'ancien Chenal

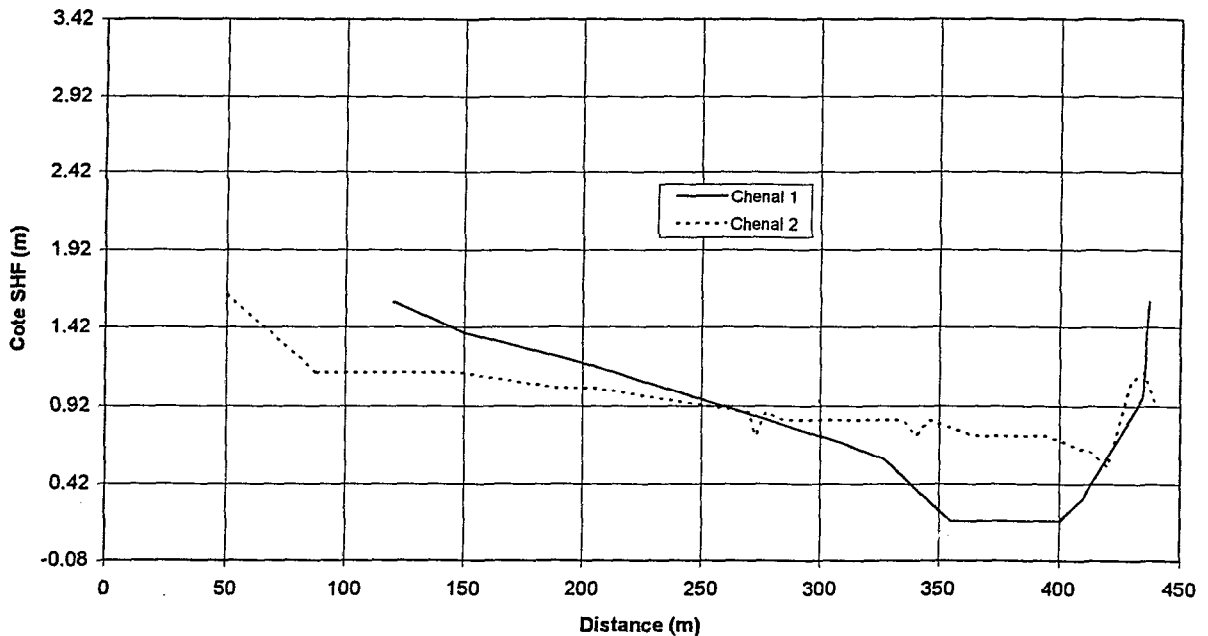


Figure n° 5

Les profils réalisés au niveau du chenal (figure n° 5), qui constituait l'ancien lit du fleuve avant l'ouverture de la brèche en 1987, montrent que ce chenal est en voie d'obstruction par sédimentation, et qu'il se trouve souvent exondé à marée basse.

Au niveau de la brèche ouverte vers 1987 (figure n° 6), les profondeurs sont un peu plus importantes que dans l'ancien chenal. Même à marée basse subsiste un chenal en eau avec une profondeur de l'ordre de 50 cm. Cette profondeur plus importante, combinée avec une largeur de près de 2 km, nous indique que dans la configuration actuelle le débit du Sinnamary doit passer en grande partie par la brèche plutôt que par l'ancien chenal.

On peut être surpris de trouver des profondeurs aussi faibles au niveau du profil n° 3, le plus éloigné du littoral, alors que les profils n° 1 et n° 2 laissaient apparaître la formation d'un chenal. En fait, il est probable que nous soyons au niveau du profil n° 3 sur un banc de vase, et que le lit du fleuve passe en réalité l'ouest de ce profil, entre les points de départ des profils « Brèche 2 » et « Brèche 3 ».

Profils en travers au niveau de la Brèche

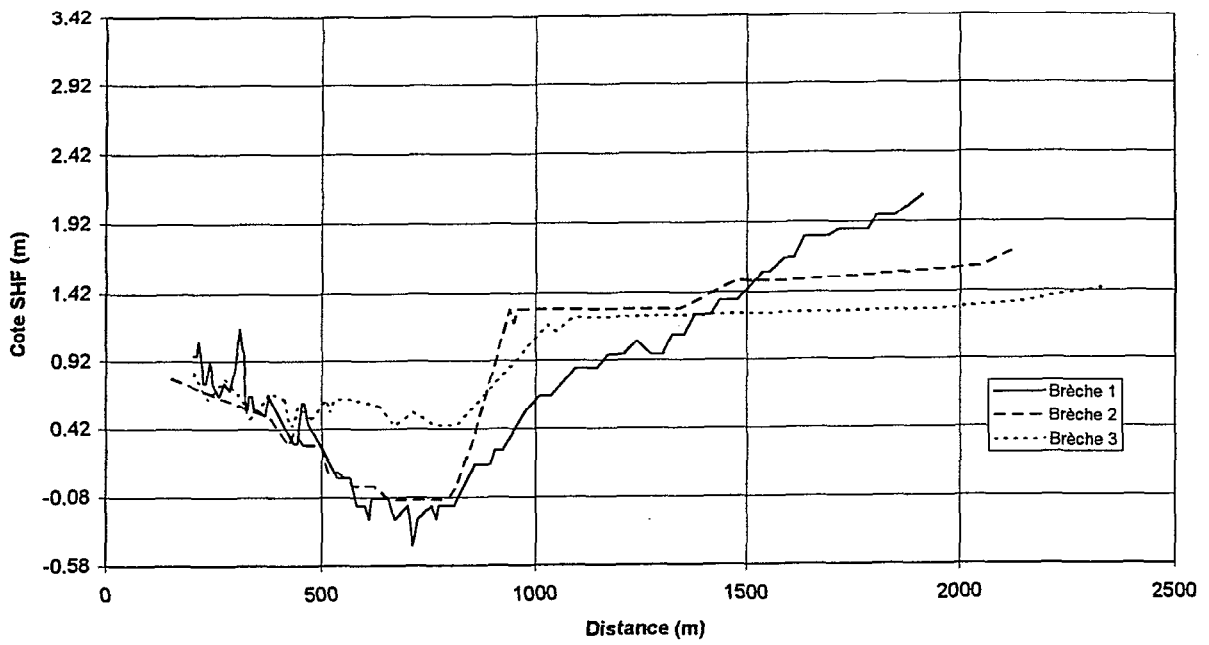


Figure n° 6

2.4 - Modélisation des sections de l'estuaire

Le modèle de Mr SAVENIJE assimile l'estuaire à un canal de section rectangulaire, dont la section suit une loi exponentielle décroissante depuis l'embouchure vers l'amont. Au cas où une seule fonction ne pourrait pas représenter la totalité de l'estuaire, il est admissible de le diviser en 2 tronçons présentant des paramètres différents. Pour le calage du modèle, nous avons positionné la limite de la mer à 2.95 km de l'Ilet Brigandin, soit à 27.5 km de Pointe Combi.

A partir des profils en travers qui précèdent, nous avons calculé les sections à mer moyenne et à marée haute le long de l'estuaire. Ces caractéristiques nous permettent de calculer une profondeur moyenne (à marée moyenne) de la zone du coin salé égale à 4.3 mètres.

Nous obtenons ainsi pour représenter les sections de l'estuaire à marée haute le modèle suivant (figure n° 7) :

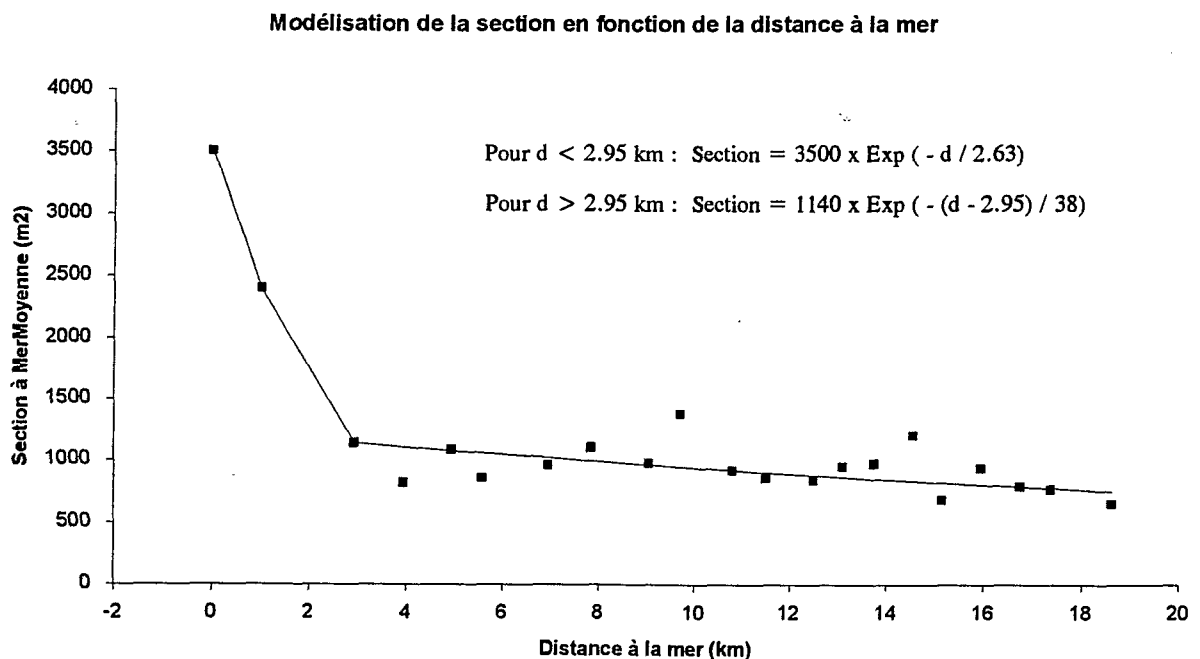


Figure n° 7

3 - PROFILS DE SALINITE EXPERIMENTAUX

3.1 - Méthodologie

Nous entendrons par salinité la concentration en Chlorure de Sodium (NaCl)

Les profils de salinité sont réalisés grâce à la méthode dite du bateau mobile. Les ondes de marée (haute comme basse) se propagent de l'embouchure du fleuve vers l'amont avec une vitesse de l'ordre de 15 km/h. Il est donc possible à une embarcation suffisamment rapide (pouvant atteindre au moins 30 km/h) d'attendre à l'embouchure l'étalement de marée haute ou basse, et d'accompagner l'étalement de l'embouchure vers l'amont en prélevant des échantillons d'eau tous les 2 km environ. On obtient ainsi un profil de concentrations maximales de sel à l'étalement de marée haute, ou minimales à l'étalement marée basse.

3.2 - Relation conductivité - NaCl

Lors des mesures de terrain, près de 450 échantillons d'eau plus ou moins salée ont été prélevés. Nous avons procédé à l'analyse en laboratoire de 190 de ces échantillons, afin de calibrer la relation entre les conductivités et la concentration en NaCl. Les conductivités ont été mesurées avec un conductimètre de marque WTW LF 196 qui rapporte les valeurs à une température de 25°C. Les concentrations en Na (Sodium) et Cl (Chlore) ont été mesurées respectivement par absorption atomique et au chlorinimètre. Nous avons obtenu la relation Conductivité - Salinité présentée à la figure n° 8.

NaCl en fonction de la conductivité

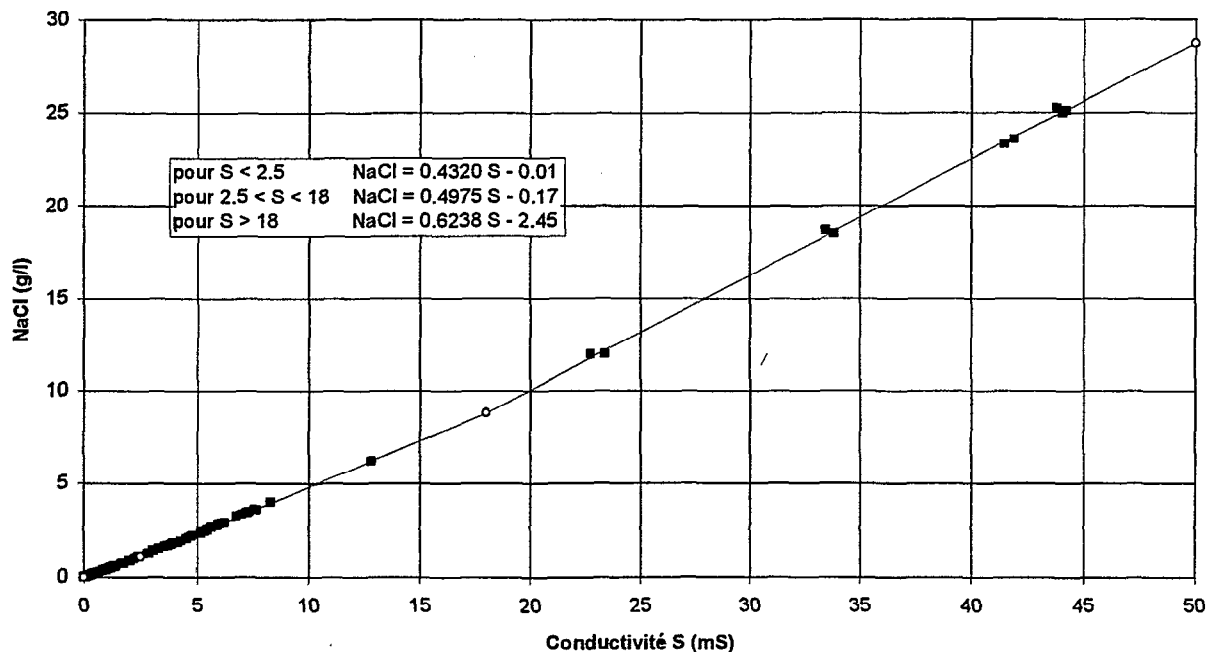


Figure n° 8

3.3 - Résultats des profils de salinité

Les résultats des 6 profils réalisés sont présentés sur les figures des pages suivantes (figures n° 10 à 15). Nous avons porté sur chaque graphe les profils des salinités (en NaCl) au fond, moyenne, et en surface. Afin de faciliter la comparaison entre les différents graphes, nous avons adopté un système d'unité commun à l'ensemble.

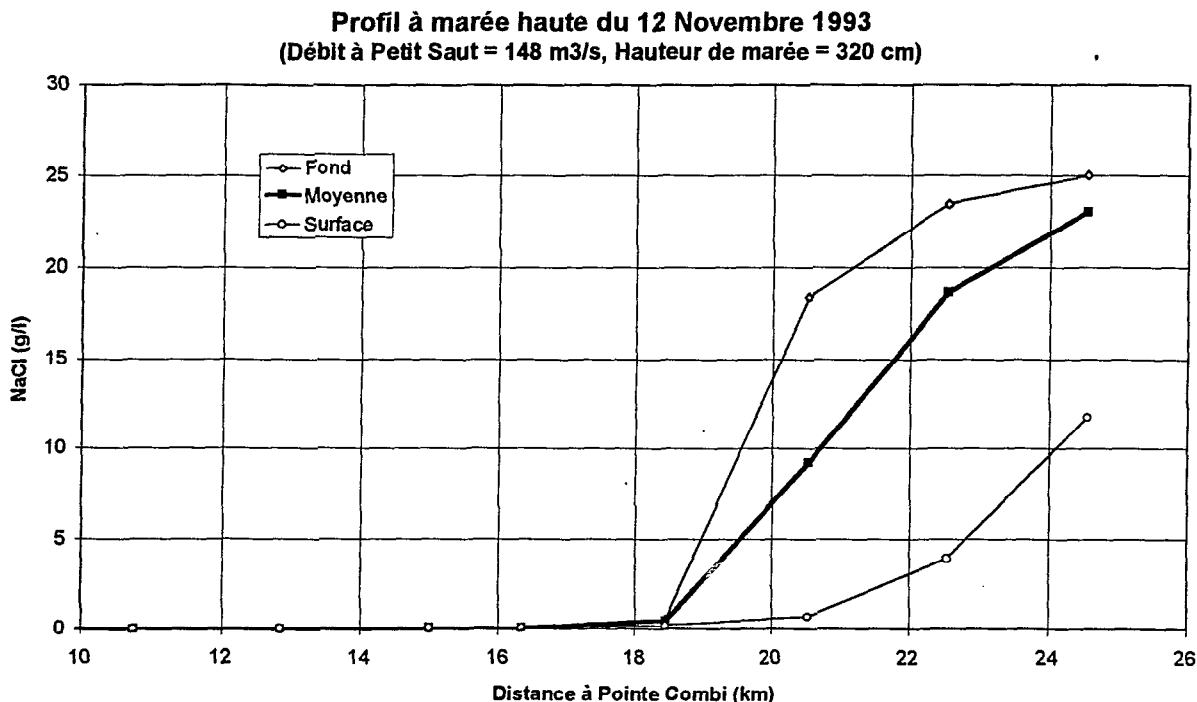


Figure n° 10

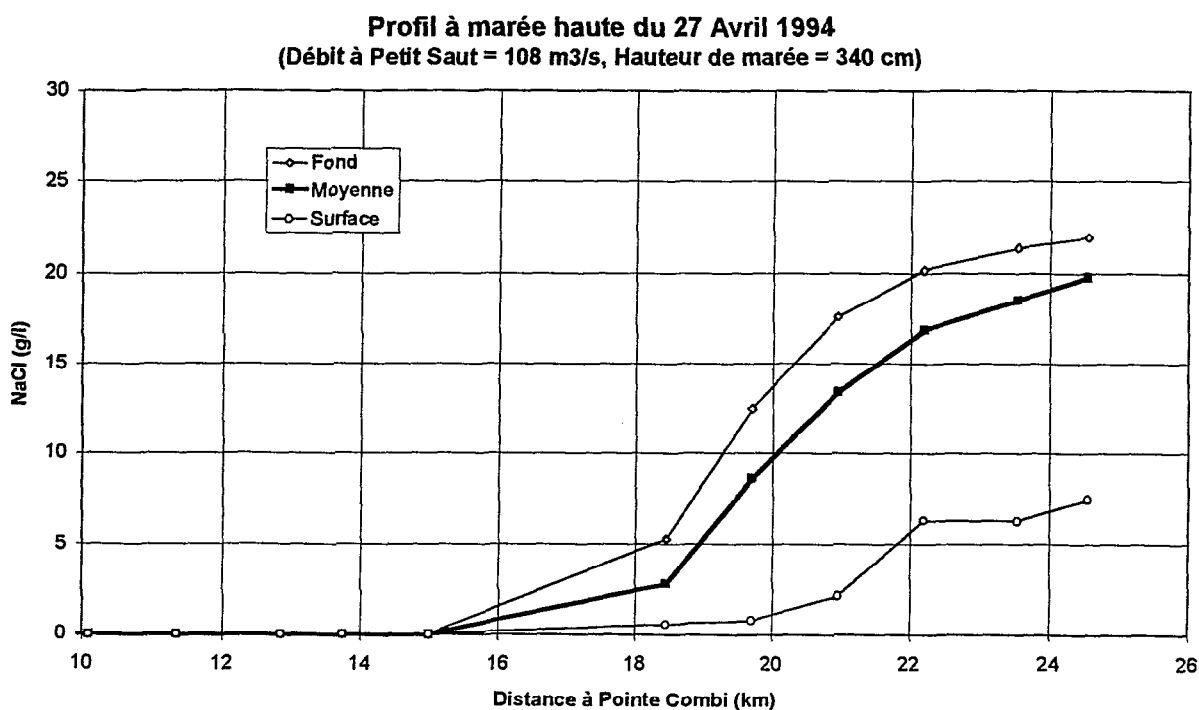


Figure n° 11

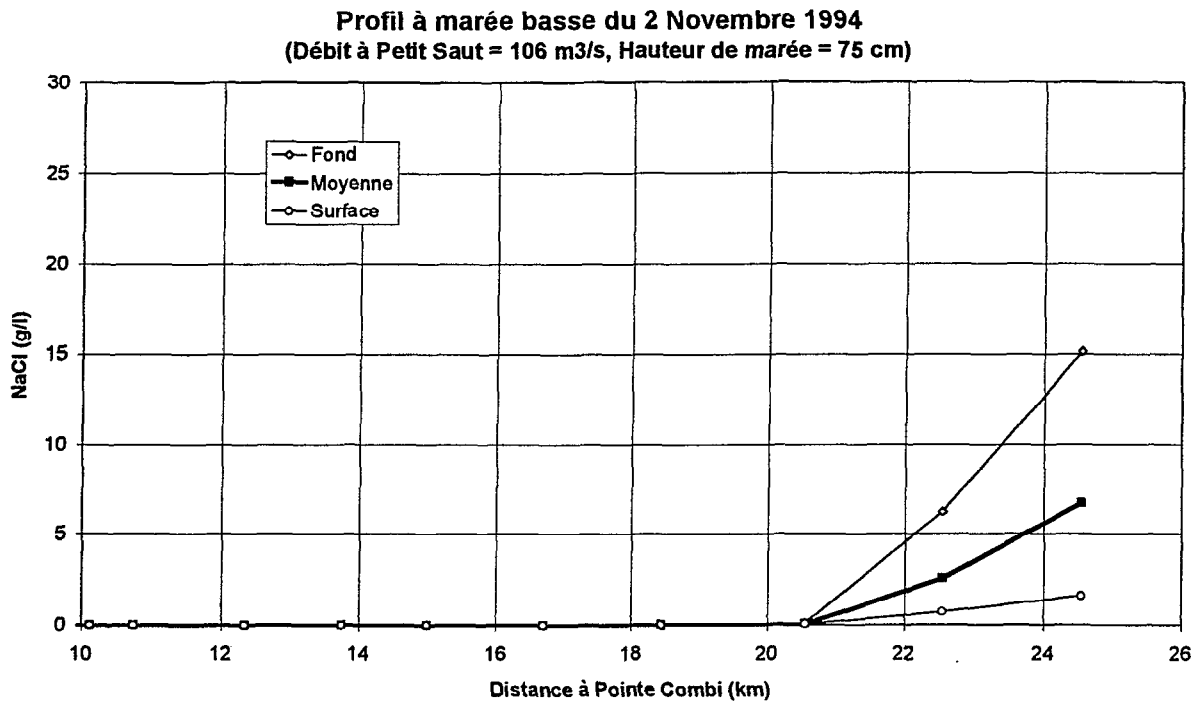


Figure n° 12

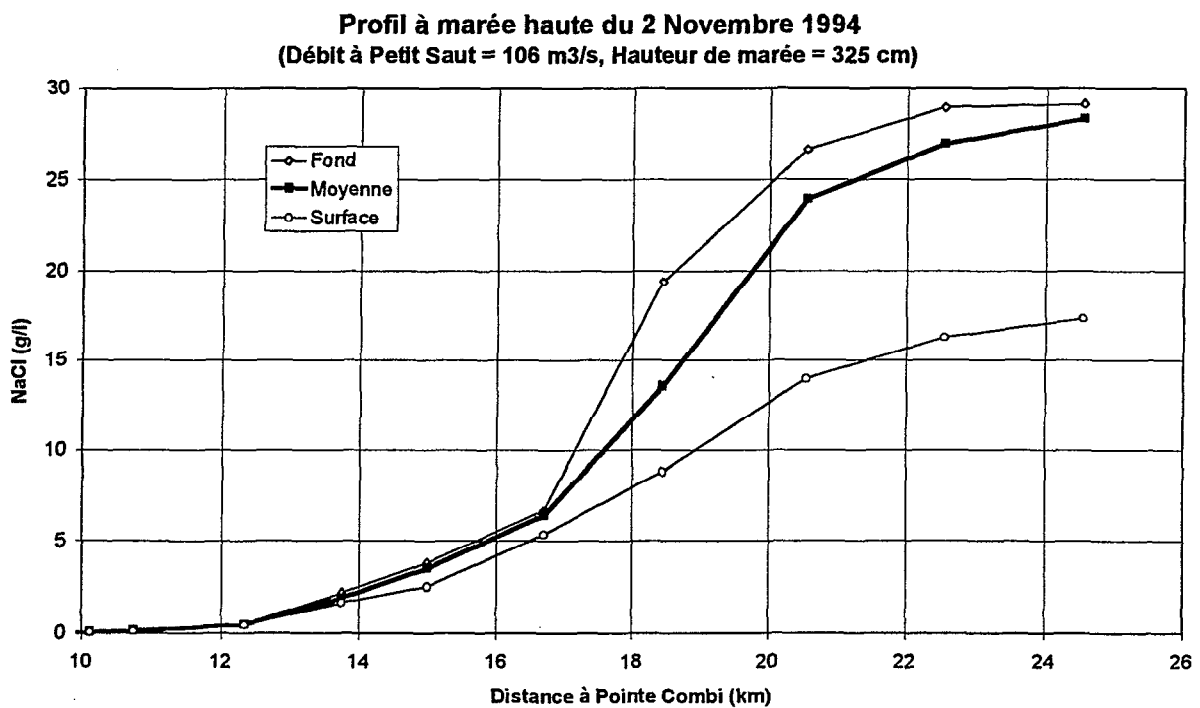


Figure n° 13

Profil à marée basse du 3 Novembre 1994
(Débit à Petit Saut = 106 m³/s, Hauteur de marée = 70 cm)

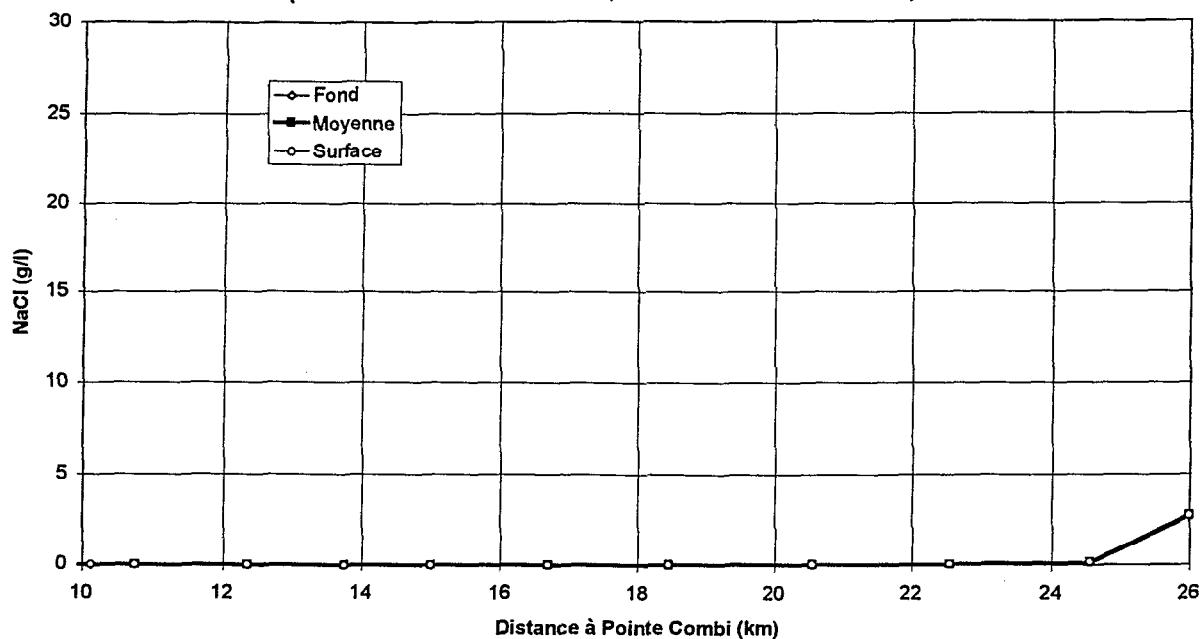


Figure n° 14

Profil à marée haute du 3 Novembre 1994
(Débit à Petit Saut = 106 m³/s, Hauteur de marée = 335 cm)

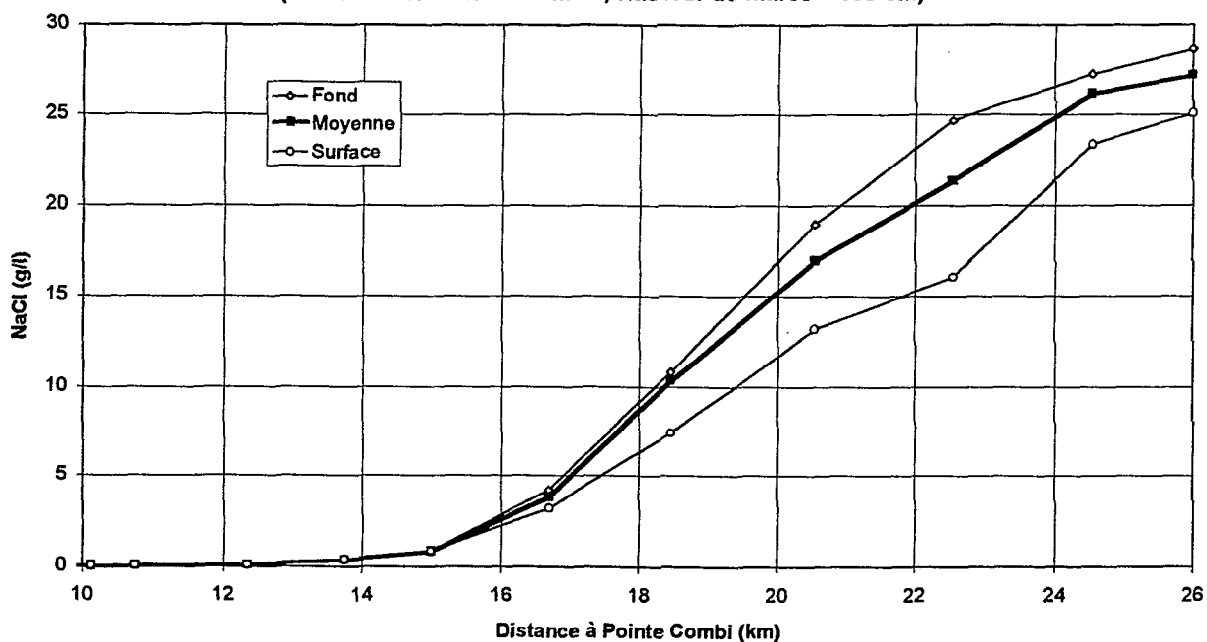


Figure n° 15

L'observation des différents profils appelle les observations suivantes :

- Il existe dans la partie aval de l'estuaire une stratification importante des eaux suivant la concentration en sel. Cette stratification diminue fortement dès les premiers méandres situés au niveau du pont de Sinnamary (kilomètre 15).
- Dans les conditions des mesures effectuées, le coin salé oscille entre l'embouchure et le kilomètre 12 (zone de départ du canal Rémy). Pour un débit du fleuve à Petit Saut de l'ordre de 100 m³/s, les eaux saumâtres sont évacuées en presque totalité à marée basse.
- Les concentrations de salinité à l'embouchure peuvent varier de manière importante d'un jour à l'autre, comme on peut le voir les 2 et 3 Novembre 1994 d'un profil de marée haute à l'autre.
- La distance de pénétration des eaux saumâtres dépend certes du débit du fleuve et de la hauteur de marée, mais semble aussi varier de manière importante en fonction de la concentration de sel à l'embouchure.

La figure n° 16 illustre bien l'effet d'une différence de salinité en mer devant l'embouchure du fleuve, alors que la figure n° 17 illustre l'effet d'une différence de débit.

Comparaison des profils de salinité à Marée Haute
Influence de la salinité à l'embouchure

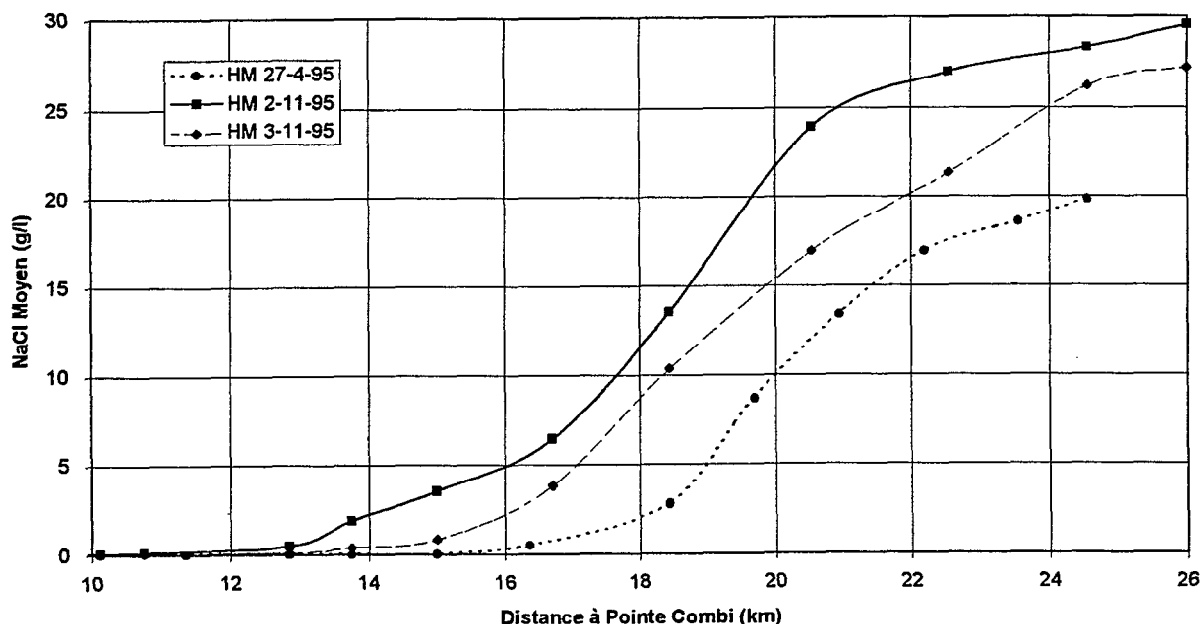


Figure n° 16

Comparaison des profils de salinité à Marée Haute
influence du débit du fleuve à Petit Saut

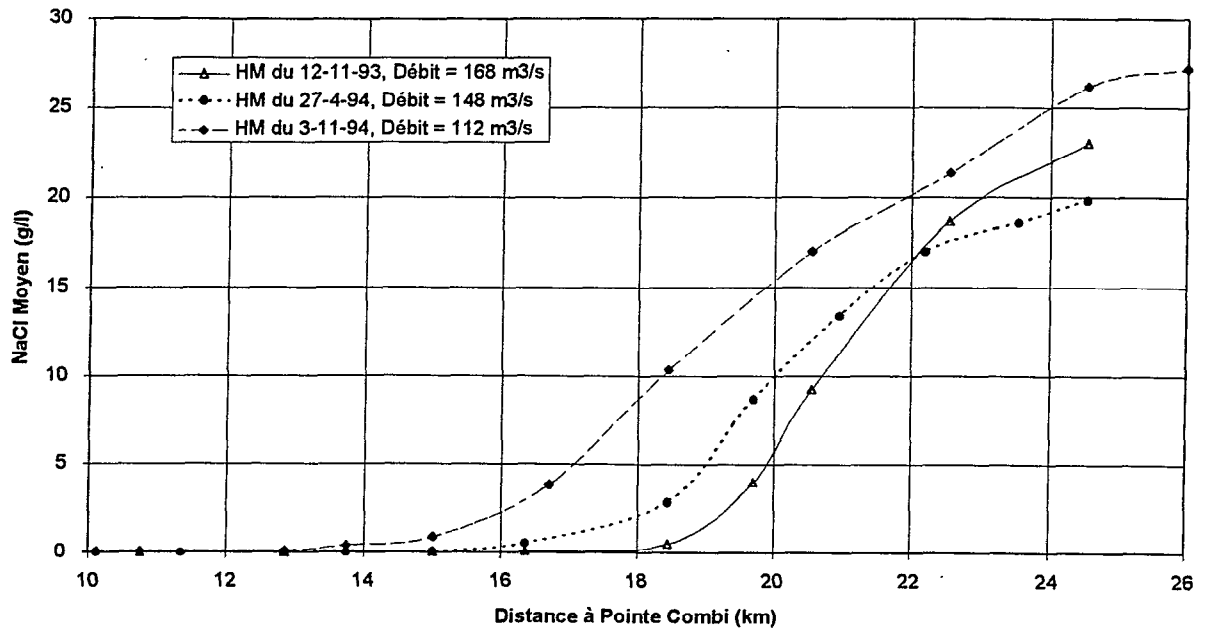


Figure n° 17

4 - CALAGE DU MODELE COIN SALE

4.1 - Estimation de l'excursion (ou dérive) à l'embouchure

L'excursion (ou dérive) est la distance moyenne parcourue par une particule d'eau entre deux étales successives (l'une étant une étale de marée basse et l'autre une étale de marée haute). Elle peut donc être estimée comme étant la distance moyenne séparant 2 profils de salinité réalisés successivement, l'un à l'étale de marée basse et l'autre à l'étale de marée haute.

Afin d'obtenir une première estimation de l'excursion, nous avons porté sur un même graphique (figure n° 18) les profils de salinité moyenne de 2 étales successives, obtenus lors des mesures des 2 et 3 Novembre 94.

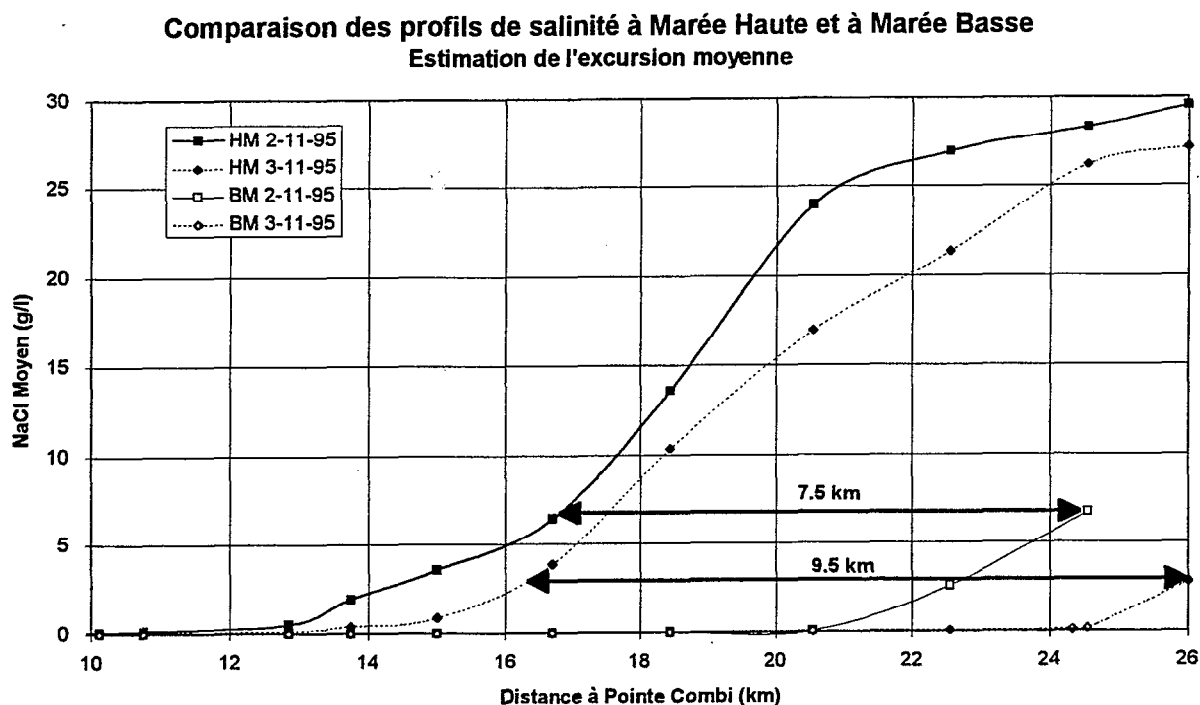


Figure n° 18

Les 2 excursions estimées sur le graphique sont ici relativement différentes. Nous sommes ici en fait dans un cas défavorable, car d'une part nous n'avons qu'une petite partie du profil à marée basse, et d'autre part les profils successifs sont très différents du fait de l'évolution de la salinité océanique à l'embouchure. Nous pouvons cependant estimer l'excursion à environ 3300 mètres par mètre d'amplitude de marée.

4.2 - Ajustements empiriques du modèle

Pour réaliser un ajustement empirique, il faut attribuer des valeurs à un certain nombre de paramètres afin de superposer les profils de salinité donnés par le modèle aux profils obtenus par mesure directe. Les paramètres à ajuster sont les suivants :

- Coefficient de Van Der Burgh : il caractérise un estuaire, et doit donc rester constant sur l'ensemble des profils. Nous avons donc dans un premier temps cherché par tâtonnements successifs la valeur du coefficient de Van Der Burgh qui puisse s'appliquer aux quatre profils de marée haute.
- Coefficient Alpha : ce coefficient représente le mélange dans l'estuaire. Il varie normalement en fonction de l'amplitude de la marée, et du débit en eau douce du fleuve.
- Excursion : nous avons utilisé les valeurs mesurées au paragraphe précédent, ajustés en fonction de l'amplitude de la marée.
- Salinité de la mer à marée moyenne : permet d'ajuster le modèle à proximité de l'embouchure, surtout quand la salinité de la mer peut varier fortement comme c'est le cas pour le fleuve Sinnamary.

Nous ne présenterons pas dans ce document les ajustements empiriques qui n'ont d'intérêt que pour comprendre la méthode de calage du modèle.

4.3 - Ajustement définitif du modèle

Les ajustements empiriques réalisés nous ont permis de connaître ou de confirmer les valeurs :

- du coefficient de Van Der Burgh, égal à 0.55
- de l'excursion par mètre d'amplitude de marée, égale à 3330 mètres
- de la salinité de la mer à l'embouchure, qui varie ici de 22 à 32 g/l de NaCl.

Afin d'obtenir un modèle unifié qui puisse représenter l'ensemble des mesures réalisées, il nous reste à exprimer le coefficient de mélange Alpha en fonction des caractéristiques mesurables de l'estuaire. Selon Mr SAVENIJE, le coefficient Alpha est lié aux caractéristiques de l'estuaire par la formule : Nous avons utilisé pour cela la formule donnée par Mr SAVENIJE qui permet d'exprimer Alpha en fonction principalement :

- de la profondeur moyenne de l'estuaire.
- du débit du fleuve en eau douce (Débit Petit Saut + Débit Aval)
- d'une fonction de correction en fonction de la salinité de la mer.

Nous avons donc fait tourner le modèle pour les différents profils expérimentaux, dont les caractéristiques sont résumées au tableau n° 3.

Tableau n° 3

Date	Amplitude marée	Débit Petit Saut	Débit Aval	Débit Total
12-11-93	2.60	148	20	168
27-04-94	2.90	108	40	148
02-11-94	2.70	106	6	112
03-11-94	2.90	106	6	112

Les résultats de ce modèle comparés aux profils mesurés sont donnés aux figures suivantes (figures n° 23 à 26) :

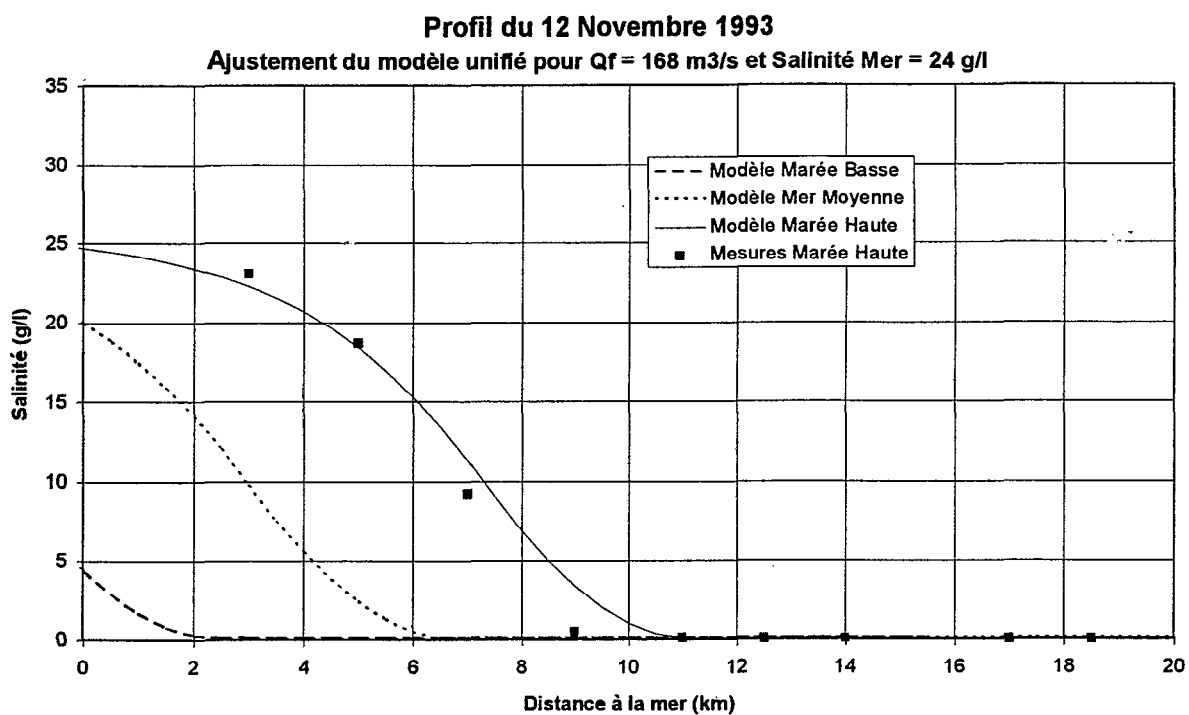


Figure n° 23

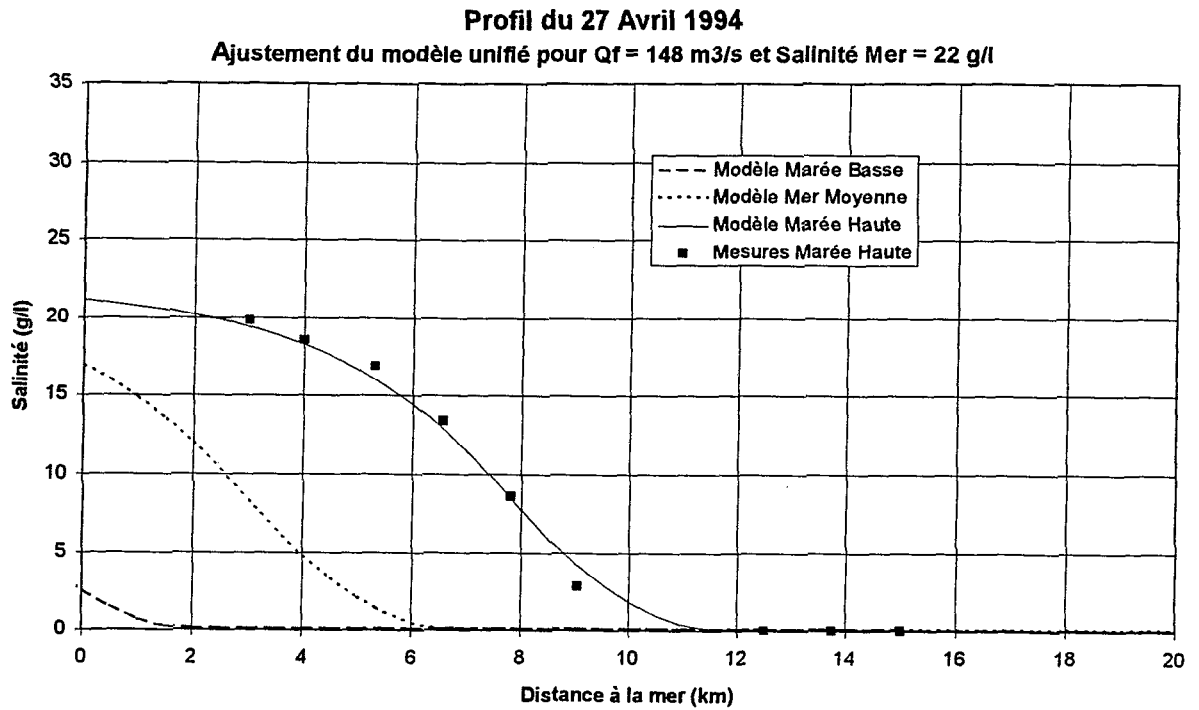


Figure n° 24

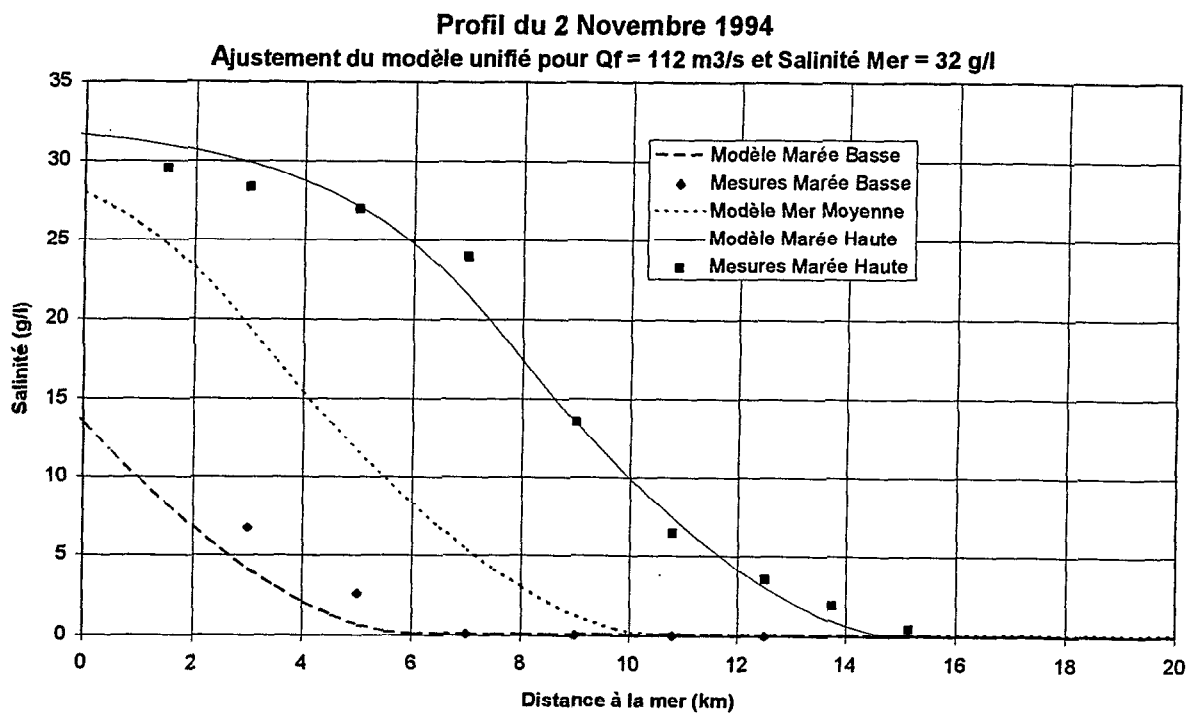


Figure n° 25

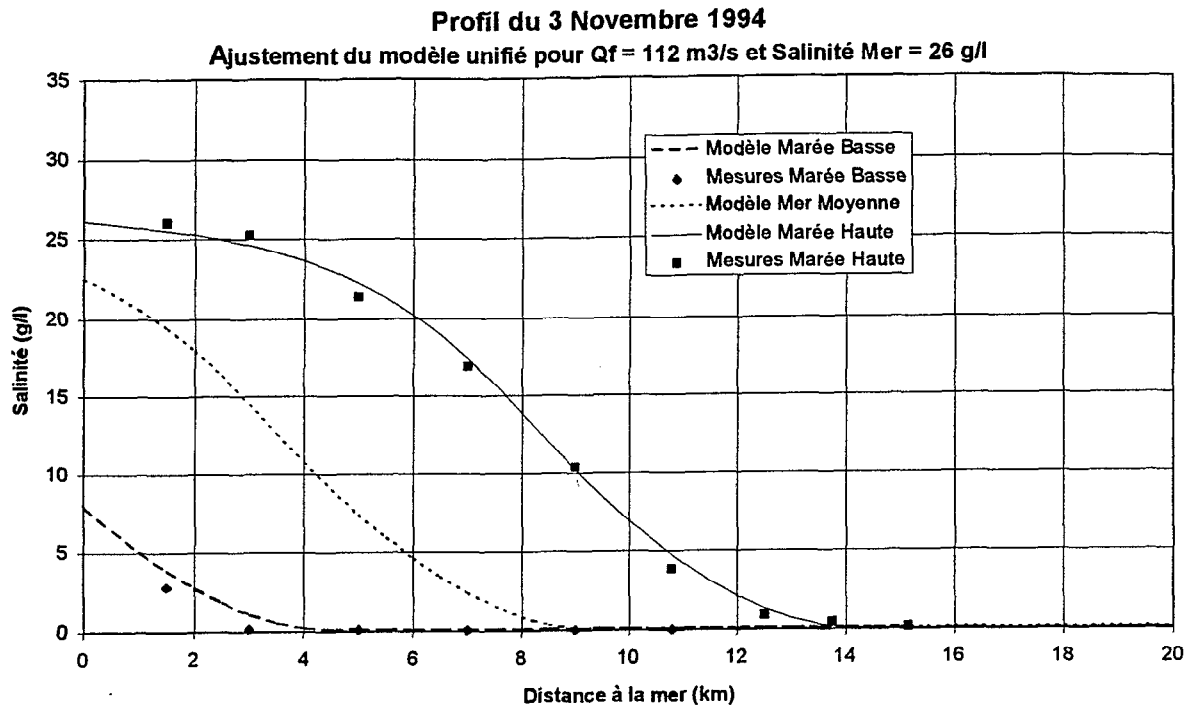


Figure n° 26

5 - COMPARAISON AVEC LES MESURES ANCIENNES

La comparaison des résultats actuels avec les mesures anciennes est malaisée, car la méthodologie adoptée pour les mesures anciennes est très différente de celle adoptée dans le cadre de cette étude. En 1983 comme en 1988, l'accent avait été mis en bonne partie sur les jaugeages. Les mesures de salinité effectuées ne consistaient pas en des profils aux étales de marée haute ou basse, mais représentaient généralement l'évolution de la salinité en une section sur un cycle de marée. Une grosse partie du travail de comparaison a donc consisté en la reconstitution à partir des mesures ponctuelles, réalisées parfois à un jour d'intervalle, de profils similaires à ceux obtenus dans l'étude actuelle.

D'autre part, lors des études anciennes, les débits du bassin à l'aval de Petit Saut n'étaient pas connus. Il nous a donc fallu réaliser une estimation grossière de ces débits.

5.1 - Comparaison du modèle avec les mesures de 1983

En 1983, la brèche dans l'estuaire n'était pas encore ouverte, et le chenal actuellement en voie d'obstruction constituait la seule communication du fleuve avec la mer. On peut donc considérer que la mer était alors distante de 3 km de plus qu'aujourd'hui.

Trois campagnes de mesures avaient alors été réalisées, les 23 et 24-10-83, 29 et 30-10-83 et 20 et 21-11-83. Pour obtenir des profils de salinité complets sur l'estuaire, nous avons dû agréger les résultats obtenus sur les 2 jours de mesures de chaque campagne. Aussi certaines des caractéristiques de ces profils résultent d'une moyenne sur plusieurs jours, ce qui fausse un peu les données. Il ne faudra donc pas s'étonner si les profils de salinité ne sont pas toujours aussi cohérents que ceux obtenus par mesure directe sur un seul cycle de marée. Nous avons pu cependant reconstituer 2 profils de salinité présentant les caractéristiques suivantes :

Date Mesure	Amplitude Marée (m)	Débit Petit Saut (m ³ /s)	Débit Aval estimé (m ³ /s)	Salinité Mer (g/l)
29 et 30-10-83	1.15	50	5 ?	33
20 et 21-11-83	2.30	80	10 ?	20 ?

Nous avons tracé sur le graphe n° 27 les profils obtenus en 1983, comparés aux sorties du modèle actuel avec les mêmes données d'entrée. Le profil des mesures d'Octobre 83 a une forme un peu surprenante, probablement du fait du mélange de données qui ne correspondent pas à la même journée. Nous constatons que malgré l'éloignement plus important de la mer en 1983, les mesures obtenues à cette époque sont assez semblables à celles que l'on obtiendrait actuellement.

Comparaison des profils 1983-1994

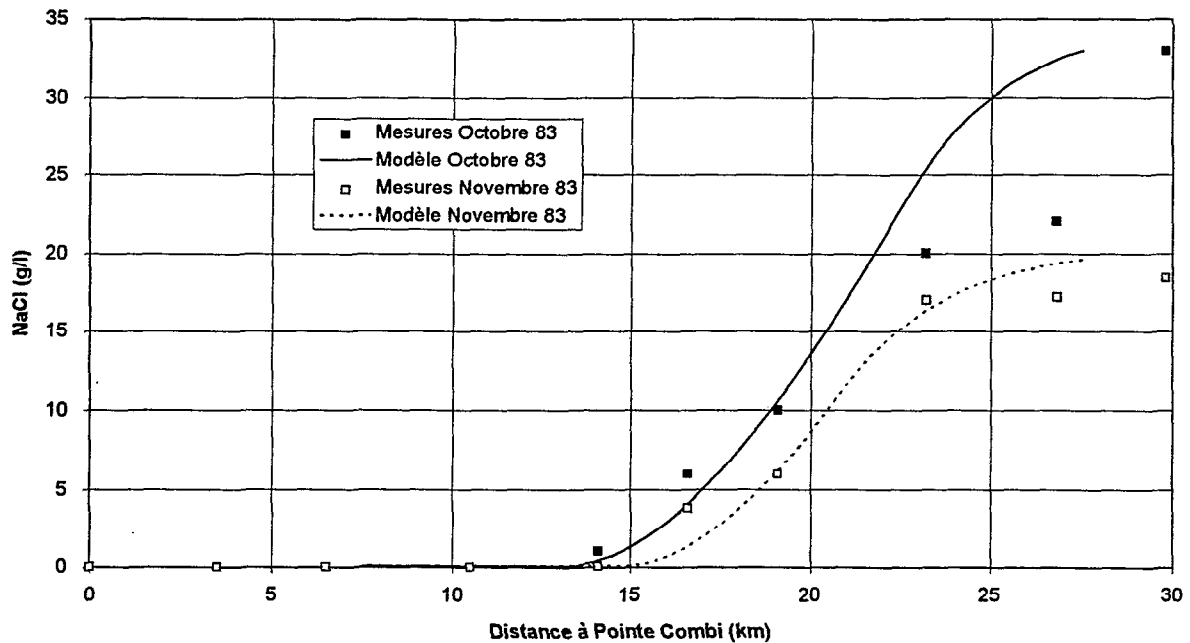


Figure n° 27

5.2 - Comparaison du modèle avec les mesures de 1988

En 1987-1988, suite à l'ouverture de la brèche dans le cordon littoral, une nouvelle campagne de mesures avait été réalisée, avec une méthodologie semblable à celle employée en 1983. Les profils obtenus et présentés ci-après résultent là encore de la combinaison des mesures sur 2 jours consécutifs, avec les risques d'incohérence que cela suppose étant donné la grande variabilité des conditions hydrauliques et de salinité d'un cycle de marée à l'autre.

Nous avons pu cependant reconstituer les profils suivants :

Date Mesure	Amplitude Marée (m)	Débit Petit Saut (m ³ /s)	Débit Aval estimé (m ³ /s)	Salinité Mer (g/l)
16 et 17-12-87	1.60	127	13 ?	30
03 et 04-05-88	2.20	125	15 ?	17
27 et 28-10-88	2.30	73	7 ?	32

Nous avons tracé sur la figure n° 28 les profils mesurés pour les 3 campagnes de mesures, comparés au calculs du modèle actuel dans les mêmes conditions d'hydraulique et de salinité. Nous constatons que les salinités sur la période de 1988 sont très mal représentées par le modèle actuel qui sous estime fortement les concentrations en NaCl. Les écarts entre les profils expérimentaux et les profils calculés par le modèle atteignent 4 à 5 km environ. Cela signifie qu'à cette époque le coin salé remontait environ 4 à 5 km plus loin vers l'amont du fleuve qu'actuellement.

Comparaison des profils 1988-1994

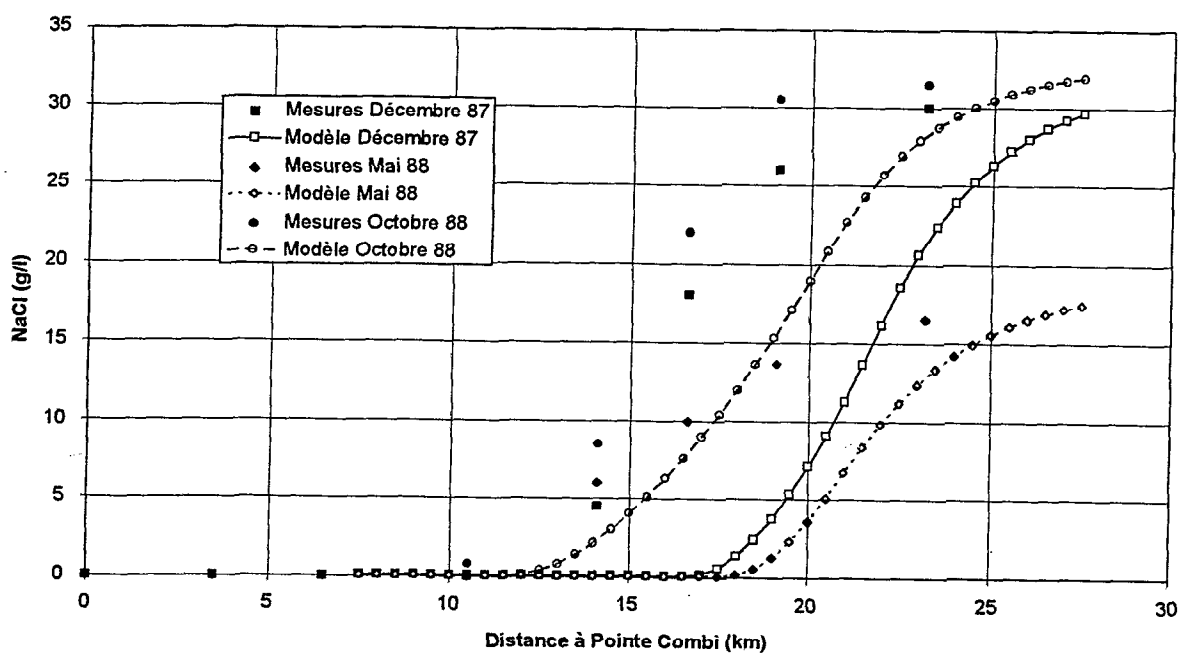


Figure n° 28

5.3 - Interprétation

Etant donné que la mer était distante de 3 à 4 km de plus en 1983 qu'en 1994, il était déjà étonnant que le modèle calé en 1994 puisse s'ajuster aux données de cette période. Les mesures de 1988, où la mer avait à peu près la même position qu'en 1994, confirment donc une nette régression du coin salé en 1994. Il est difficile de dater le début de ce mouvement, mais il est de toutes façons antérieur à la mise en eau du barrage puisqu'on l'observait déjà lors de la mesure de Novembre 1993.

Comme le modèle prend en compte les différences de débit en eau douce et de salinité au niveau de la mer, la différence de comportement ne peut provenir que de la configuration de l'embouchure elle-même. Nous avons donc cherché si l'on trouvait des différences de section et de profondeur depuis 1984, lorsqu'une bathymétrie du fleuve avait été réalisée.

Nous présentons ci-dessous un graphe comparatif des profondeurs moyennes calculées en 1984 et en 1994 (voir figure n° 29). Ce graphe nous montre une bonne similitude entre les deux séries de valeurs, même si des différences existent, dues peut-être à des modes opératoires différents. La diminution de la profondeur en 1994 au niveau de l'embouchure est mise en évidence.

Comparaison des profondeurs moyennes entre 1984 et 1994

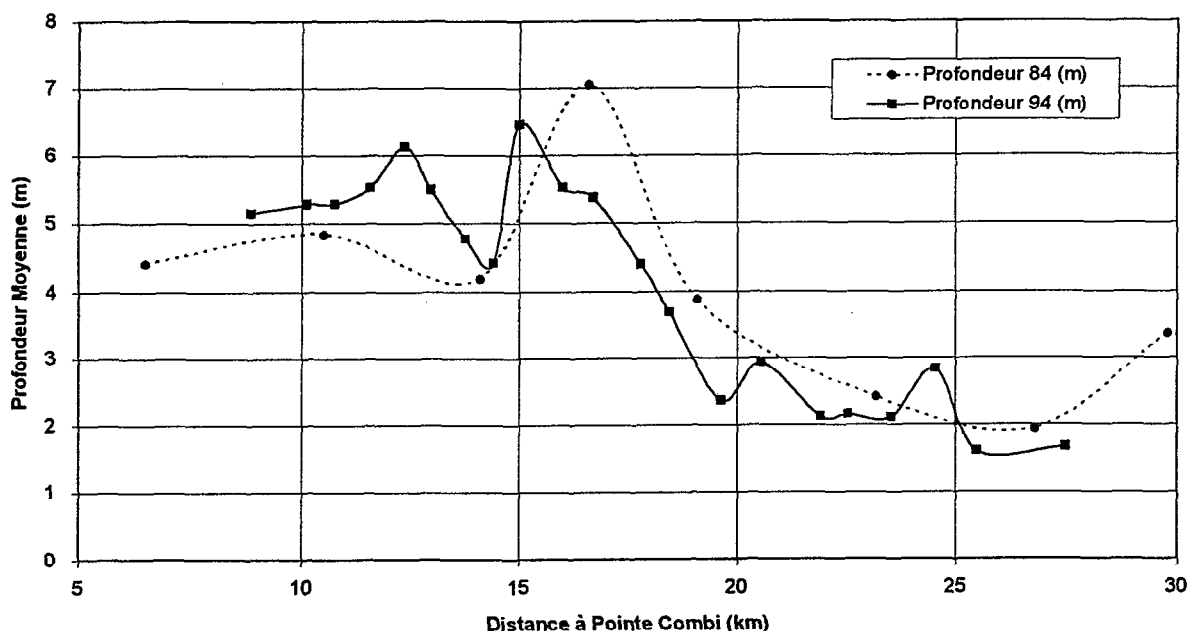


Figure n° 29

Nous avons tracé également le graphe comparatif des sections mouillées à mer moyenne (figure n° 30). Ce graphe représentant les sections mouillées en 1984 et 1994 montre une différence encore plus nette que le graphe des profondeurs au niveau de l'embouchure. On comprend que l'élargissement très important des sections depuis l'ouverture de la brèche a provoqué une diminution des profondeurs au contact fleuve - mer, surtout depuis l'arrivée d'un nouveau banc de vase à proximité de l'embouchure. Au vu des profils en travers réalisés en mer au niveau de la brèche et de la fermeture progressive de l'ancien chenal, il est d'ailleurs probable que l'on s'oriente vers la constitution à moyen terme d'un nouveau chenal décalé vers le nord par rapport à l'ancien. -

Comparaison des sections entre 1984 et 1994

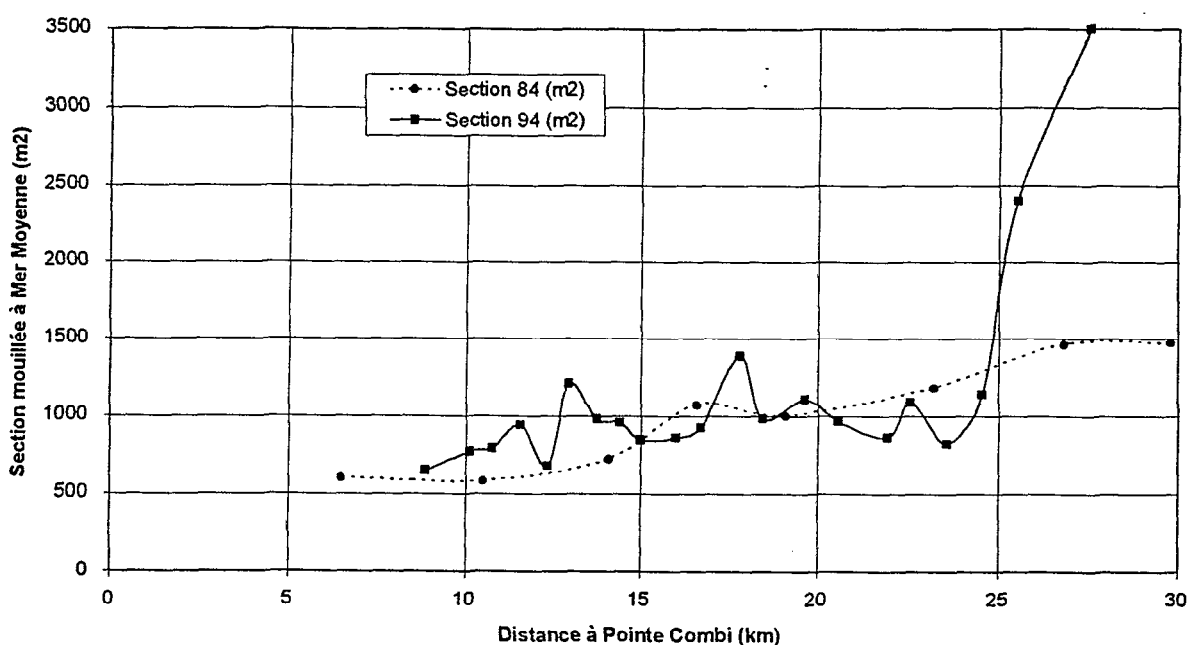


Figure n° 30

6 - CONCLUSION

Après une avancée aux environs de l'année 1988, le coin salé du fleuve Sinnamary semble retourner à la position qu'il occupait en 1983.

La cause de ce recul proviendrait de la diminution des profondeurs au niveau de l'embouchure, liée :

- à l'élargissement de l'embouchure suite à l'ouverture de la brèche en 1986
- à l'arrivée d'un banc de vase
- et dans une certaine mesure, à l'absence de crue importante depuis 1990

L'étude de la bathymétrie au voisinage de l'embouchure semble par ailleurs montrer qu'un chenal unique, décalé vers le nord par rapport à l'ancien chenal, est en train de se reconstituer.

Il est exclu de voir dans la position actuelle du coin salé et dans les faibles profondeurs au niveau de l'embouchure un effet du barrage de Petit Saut, puisque cette situation existait avant le début de la mise en eau.

Il est possible cependant à terme que l'écrêtement des fortes crues par la retenue retarde un recalibrage naturel de l'embouchure et la reconstitution d'un chenal plus profond. Dans les estuaires alluviaux comme celui du Sinnamary, ce sont en effet les fortes crues qui calibrent l'embouchure, alors qu'un colmatage peut se produire lors des périodes d'étiage où les vases marines peuvent pénétrer dans le fleuve.

Il paraît donc judicieux de continuer une certaine surveillance de l'embouchure du Sinnamary, surtout dans le contexte particulier à la Guyane du passage périodique de bancs de vase côtiers.

Le modèle de suivi du coin salé et la méthodologie développée à cette occasion constituent un outil performant qui permettra dans le futur d'apprécier rapidement une modification du régime de l'estuaire.