

HYDRODYNAMIQUE DE LA RIVIÈRE DE KAW

Février 1999-mai 2001

INTRODUCTION

Le fonctionnement écologique du marais de Kaw est en partie dépendant du régime hydrologique de son principal axe de drainage. Pour préciser cette influence, la présente étude se proposait d'analyser le fonctionnement de la rivière de Kaw, et principalement de sa partie estuarienne. Elle s'appuie sur des mesures limnigraphiques issues de deux stations (LIMNI 92.V98 et sonde PTX 1830) ; la première, mise en service le 4 février 1999 à l'embouchure de la crique des Deux Sœurs ($4^{\circ}42,51'N- 52^{\circ}05,57' W$) et la seconde, le 10 août 2000, plus en amont à l'embouchure de la crique Biche ($4^{\circ}36,42'N-52^{\circ}03,85'W$). L'étude s'est en outre appuyée sur des données limnigraphiques mesurées à l'îlet la Mère ($4^{\circ}47,42'N-52^{\circ}08,24'W$) et obtenues auprès de la DDE-Guyane française. Cette dernière station sera considérée comme traduisant les caractéristiques du principal forçage marin du système.

Le dispositif a été complété par l'installation d'une station météorologique (LI-COR 1400) au village de Kaw ($4^{\circ}29,44'N-52^{\circ}02,17'W$), le 28 janvier 2000. Parmi les capteurs déployés, un pluviomètre à auget permet d'effectuer une mesure quadri-horaire des précipitations.

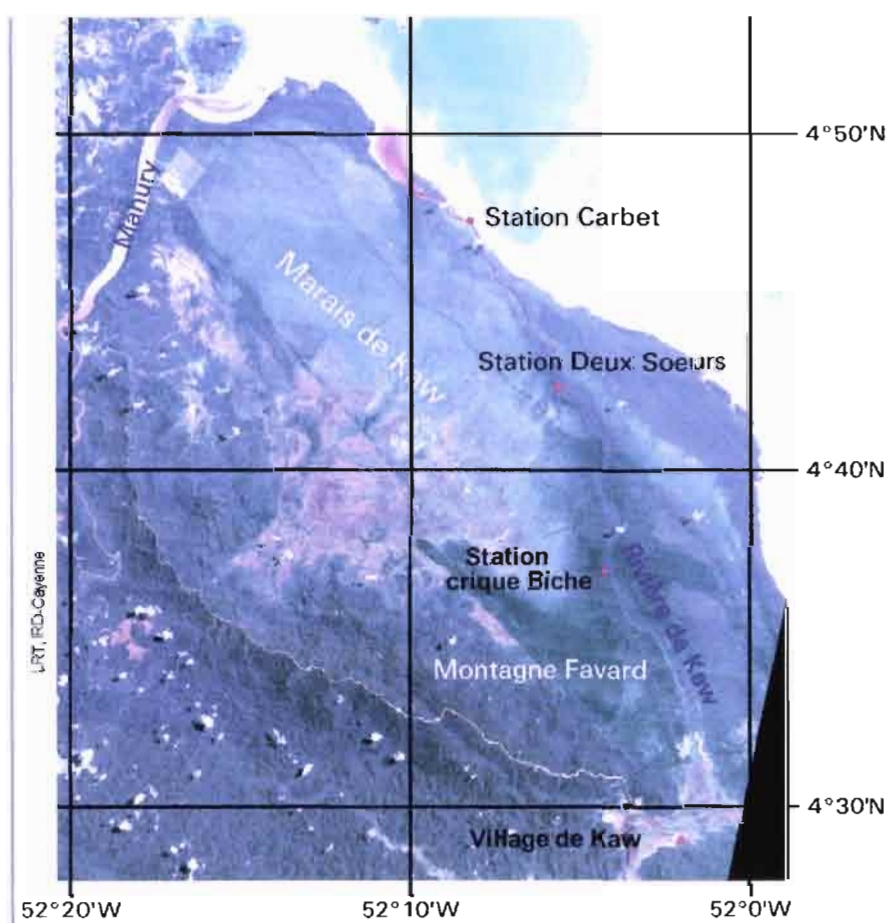


Figure 1. : Implantation des différentes stations (LANDSAT TM juillet 1988)

Le signal traduisant les variations de hauteurs d'eau est constitué par l'addition de deux composantes décorrélées et de natures différentes :

- une composante dite **tidale**, liée à l'intrusion marine dans l'estuaire
- une composante dite **fluviale**, liée au régime des pluies

Ces deux composantes font l'objet de traitements spécifiques.

COMPOSANTE TIDALE

Les marées sur les côtes de la Guyane française sont de type semi-diurne régulière (période de 12h25). Le signal modélisé à partir des données enregistrées à l'îlet la mère permet d'estimer au cours de la période 1999-2001 des extremums de marnage de 2,94 m en période de vive eau et de 0,60 m en morte eau, ainsi que des valeurs moyennes de hauteur d'eau et de marnage (Tab. 1).

	PM moyenne	BM moyenne	Marnage Moyen
Vive-eau	3m35	1m15	2m20
Morte-eau	2m90	1m50	1m40

Tableau 1 : Caractéristiques moyennes des marées en Guyane française estimées par décomposition harmonique du signal de marée à l'îlet la mère entre 1999 et 2001.

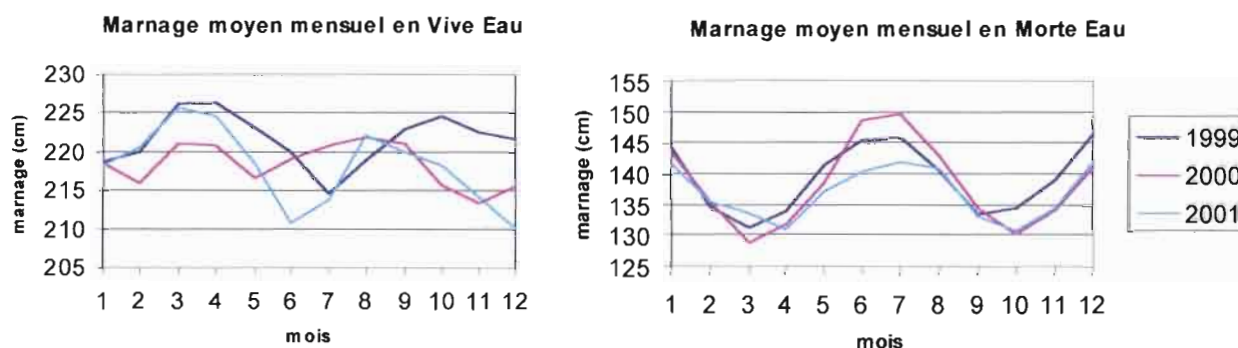


Figure 2 : Répartition des marnages moyens mensuels sur la période 1999-2000 à l'îlet la mère

L'intrusion de la marée en zone estuarienne peut être estimée grâce à la propagation de la composante tidale en fonction de la distance à l'embouchure. La décomposition harmonique du signal consiste à calculer les amplitudes et les déphasages de composantes périodiques, de caractéristiques connues¹. On obtient ainsi, une expression paramétrique du signal, permettant d'estimer sa valeur pour n'importe quel moment, y compris hors de la durée d'échantillonnage, tant que les caractéristiques géomorphologiques demeurent inchangées.

L'équation générale pour l'élévation de la hauteur d'eau à un instant (**t**) s'écrit :

$$H(t) = H_0 + \sum_{i=0}^n A_i \cos(\omega_i t + \varphi_i) + \mathfrak{R}_{es} \quad \text{Eq. 1}$$

avec :

- H_0 : hauteur moyenne du niveau de la mer (cm)
- ω_i : vitesse de l'harmonique i (degré / h)
- A_i : amplitude de l'harmonique i (cm)
- φ_i : phase de l'harmonique i (degré)
- \mathfrak{R}_{es} : bruit résiduel additif de la décomposition (cm)

Les vitesses ω_i des harmoniques sont dérivées de données astronomiques.

On fait l'hypothèse qu'entre deux points peu éloignés, les amplitudes et phases d'une même composante varient linéairement² :

Eq. 2

$$H(t, x_{int}) = H_{0,xint} + \sum_{i=0}^n \left(\frac{A_i^{fin} - A_i^{deb}}{x_{fin} - x_{deb}} (x_{int} - x_{deb}) + A_i^{deb} \right) \cos(\omega_i t + \sum_{i=0}^n \left(\frac{\varphi_i^{fin} - \varphi_i^{deb}}{x_{fin} - x_{deb}} (x_{int} - x_{deb}) + \varphi_i^{deb} \right))$$

Avec :

- t : temps
- x_{deb} : distance de la station de début de tronçon à une référence (m)
- x_{int} : distance de la station intermédiaire à une référence (m)
- x_{fin} : distance de la station de fin de tronçon à une référence (m)
- $H_{0,xint}$: hauteur d'eau moyenne à la station intermédiaire (cm)
- ω_i : vitesse de l'harmonique i (degré/h)
- A_i^{deb} : amplitude de la $i^{ème}$ composante harmonique du signal de début de tronçon (cm)
- φ_i^{deb} : phase de la $i^{ème}$ composante harmonique du signal de début de tronçon (cm)
- A_i^{fin} : amplitude de la $i^{ème}$ composante harmonique du signal de fin de tronçon (degré)
- φ_i^{fin} : phase de la $i^{ème}$ composante harmonique du signal de fin de tronçon (degré)

Un enregistrement en continu de la variation de la hauteur d'eau sur une période d'au moins six mois est nécessaire pour pouvoir effectuer une décomposition harmonique suffisamment précise. Le signal tidal correspondant au forçage marin au niveau de l'estuaire de la rivière de Kaw est assimilé au signal de marée enregistré à l'îlet la mère, distant de 6,5 milles nautiques. Les hauteurs d'eau à l'îlet la mère, en 1997, ont été obtenues auprès du service Phares et Balises de la DDE-Cayenne, sous forme d'enregistrements analogiques, et digitalisées par nos soins (vacation J-L. Betouille).

Les caractéristiques du signal de marée en un endroit donné dépendent principalement de la géométrie du canal dans lequel il se propage. Une estimation théorique n'est envisageable que dans la mesure où les caractéristiques du canal sont parfaitement connues, ce qui exclut les configurations naturelles. Dans le cas du marais de Kaw, la situation est encore complexe compte tenu de l'existence en amont de la rivière de Kaw d'un canal artificiel créant une communication entre la rivière de Kaw et le fleuve Approuague. Le positionnement des stations d'enregistrement des hauteurs d'eau dans la rivière de Kaw délimite des segments approximativement équivalents entre l'îlet la mère et le débouché du canal dans la rivière (Tab. 2).

Entre l'îlet la Mère et l'entrée de l'estuaire	11,5
Entre l'entrée de l'estuaire et la station des Deux Sœurs	10,4
Entre les stations des Deux Sœurs et la crique biche	11,6
Entre la station crique biche et le canal de Kaw	12,3

Tableau 2 : Distances approximatives en km
entre les stations et les points caractéristiques du système hydrologique

Entre l'estuaire et la crique des Deux Soeurs

Le tronçon sur lequel a porté la première partie de l'étude est délimité en amont par la crique des Deux Sœurs, et en aval par l'estuaire de la rivière de Kaw, soit une distance d'environ 10 kilomètres. Par linéarisation de chacune des composantes harmoniques, on peut estimer le

signal tidal correspondant à la propagation du signal initial, en chaque point du tronçon considéré.

Les figures 3 et 4 illustrent l'amortissement du marnage vers l'amont de la rivière. En période de vive-eau, le marnage est d'environ 2,0 m à l'embouchure pour 0,7 m à la crique des Deux Sœurs. En période de morte eau, il est de 1,2 m à l'embouchure et de 0,4 m à la crique des Deux Sœurs.

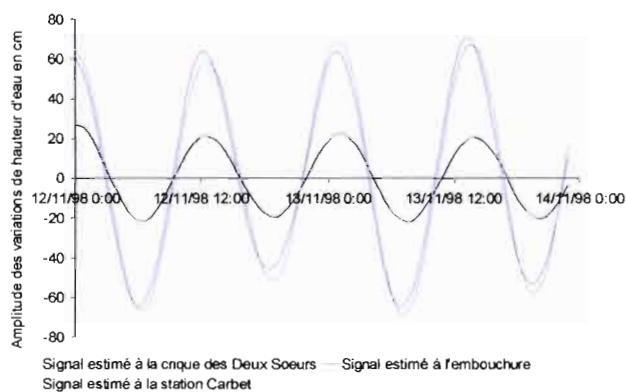


Figure 3 : Signal de marée estimé à plusieurs niveaux de la rivière en Morte Eau (période du 12 au 14 novembre 1999).

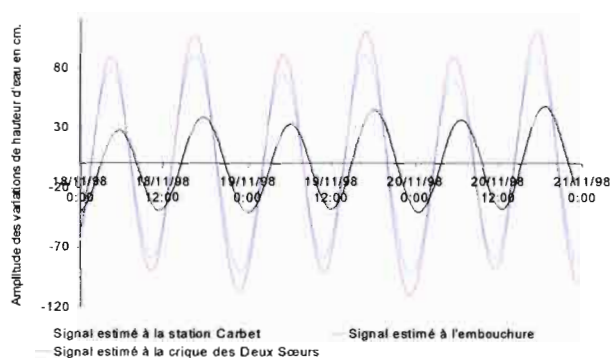


Figure 4 : Signal de marée estimé à plusieurs niveaux de la rivière Vive Eau. (période du 18 au 20 novembre 1999)

Afin de valider le modèle de propagation de l'onde de marée dans l'estuaire, une comparaison entre le signal tidal estimé et le signal effectivement enregistré pour une station intermédiaire du tronçon (station Carbet : $4^{\circ}47,42'N-52^{\circ}08,24'W$) a été réalisée. Les données relatives à cette station ont été acquises au cours de plusieurs missions de terrain à deux saisons hydrologiques différentes :

- en fin de saison sèche, du 12 au 13 et du 18 au 21 novembre 1998 (centrale d'acquisition Campbell Sci. CR10X et transducteur de pression PDCR830).
- durant la petite saison des pluies, du 18 au 19 janvier 1999 (liminigraphe-débitmètre SIGMA 950 AV).

La figure 5 illustre la composante tidale, estimée à la station Carbet, et le signal mesuré lors de la campagne de novembre 1998. Dans cette partie très estuarienne, la composante tidale prédomine sur la composante fluviale. Il est donc possible de comparer directement l'estimation de la composante tidale au signal mesuré. On constate globalement une très bonne concordance entre les cycles mesurés et estimés. L'écart lors des basses mers entre les données observées et prédites résulte d'un allongement de la période de jusant et est lié à la composante fluviale du signal. Logiquement elle n'apparaît donc pas dans le signal estimé qui repose sur la seule propagation des influences tidales.

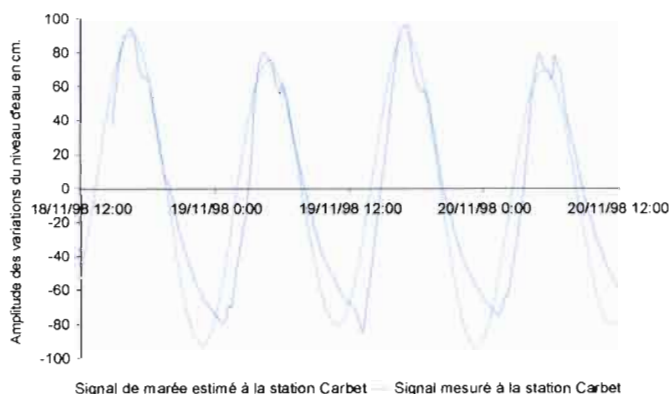


Figure 5 : Composante tidale et signal mesuré en zone estuarienne (station Carbet)

Par la composition du signal tidal, on estime un déphasage d'environ une demi-heure entre les signaux à l'embouchure de la rivière de Kaw et à la station Carbet, et d'environ une heure entre l'embouchure et la crique des Deux Sœurs.

Pour s'assurer de la validité de ces estimations d'amortissement et de retard, l'erreur de période et de déphasage entre les deux signaux (observé et théorique) à la Crique des Deux Sœurs a été analysé. Cette approche a fait l'objet d'un stage de fin d'étude (C. Angles, Intechmer³).

La concordance des signaux estimés et mesurés indique que la longueur du tronçon choisie *a priori* est cohérente avec l'hypothèse de linéarité des variations des amplitudes et phases des composantes harmoniques. Ce constat a conduit à l'installation d'une deuxième station limnigraphique, délimitant un second tronçon de longueur comparable au premier.

Entre la crique des Deux Sœurs et la crique Biche

Le signal de marée observé à la station de la crique Biche met en évidence un retard d'environ une heure ainsi qu'une augmentation des marnages par rapport à ceux observés plus en aval au niveau de la crique des Deux Sœurs; plus proche de l'estuaire. Ce constat peut résulter du rétrécissement progressif de la rivière de Kaw dans sa partie amont.

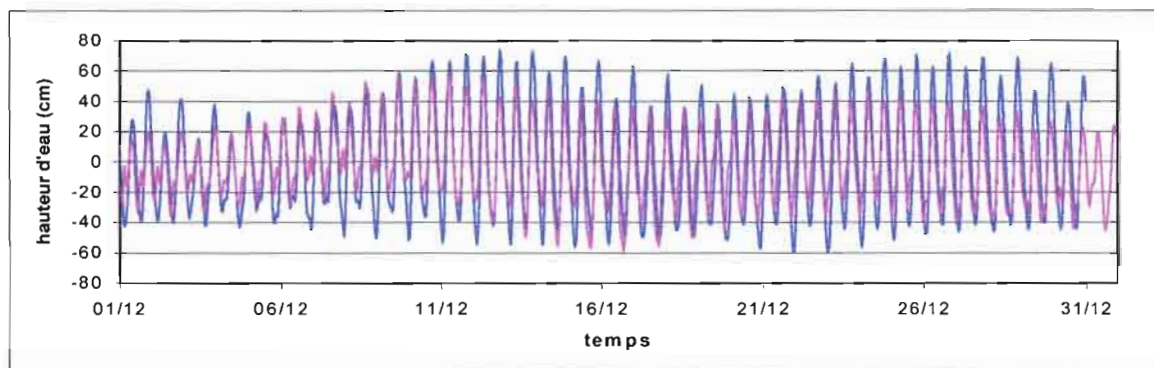


Figure 6 : Signaux tidaux estimés aux criques **Biche** et des **Deux Sœurs** en décembre 2000

Par contre, des composantes lentes, prédominantes dans le signal le plus estuarien, sont absentes de la décomposition harmonique effectuée à partir des données de la station de la crique Biche. Ceci peut être lié à une durée insuffisante d'acquisition de données pour l'extraction de ces harmoniques de période longues.

Des études complémentaires seraient en outre nécessaires afin de préciser la contribution du signal tidal se propageant entre l'Approuague et le marais via le canal de Kaw.

Composante fluviale

Les hauteurs d'eau

Reposant sur l'hypothèse selon laquelle la variation de hauteur d'eau résulte de l'addition de deux signaux indépendants ; l'un de nature tidale, l'autre de nature fluviale, on extrait la composante purement fluviale, par soustraction puis filtrage du bruit périodique résiduel⁴. La figure 6 présente les variations de la hauteur d'eau fluviale à la crique des Deux Sœurs. On observe une augmentation relativement régulière de la hauteur d'eau avec des valeurs maximales en fin de saison des pluies pour la période de février à août 1999. Au début de l'année 2000, l'évolution est sensiblement identique mais avec des fluctuations de plus grandes amplitudes.

La variation de la composante fluviale semble ainsi fortement dépendante à l'échelle saisonnière de la pluviométrie.

Composantes du signal limnigraphique

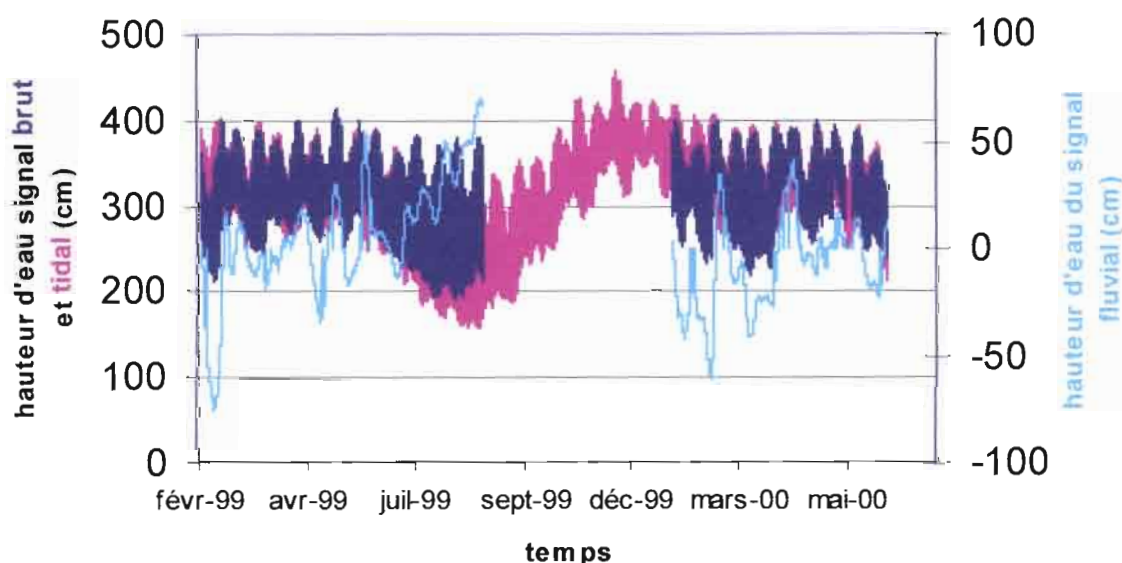


Figure 6 : Extraction d'un signal fluvial à la crique des Deux Sœurs

La mise en évidence du lien entre ces deux signaux nécessiterait une connaissance approfondie du bassin versant alimentant le marais de Kaw. Il est néanmoins possible d'envisager la forme d'une fonction de transfert reliant un épisode pluvieux à une variation de hauteur.

On choisit une forme composée de deux parties traduisant:

- un transitoire

$$f_{transitoire}(pluvio, t) = Bv pluvio \frac{1 - \cos\left(\frac{\pi(t - \Delta t)}{T_{montée}}\right)}{2 norm} \quad \text{Eq. 3}$$

- une descente

$$f_{decay}(pluvio, t) = Bv pluvio \frac{\exp\left(-\frac{t - \Delta t - T_{montée}}{T_{descente}}\right)}{norm} \quad \text{Eq. 4}$$

Avec :

- t : temps (heure)
- pluvio : précipitation horaire (mm/h)
- Bv : facteur caractéristique du bassin versant (sa)
- Δt : délai entre l'épisode pluvieux et la réponse (h)
- $T_{montée}$: durée du transitoire (h)
- $T_{descente}$: durée de la descente (h)
- norm : facteur de normalisation (mm)

La figure 7 illustre la réponse fournie par cette fonction de transfert à un épisode pluvieux à t_0 , normalisée en énergie.

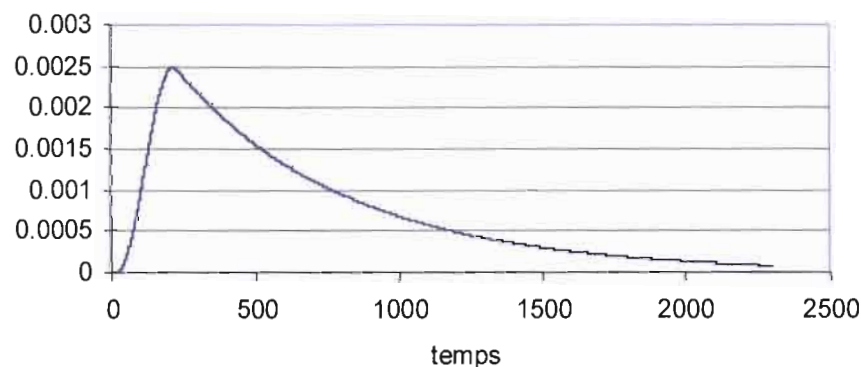


Figure 7 : Fonction de transfert

L'application de cette fonction de transfert au relevé horaire de la pluviométrie fournit une réponse pouvant être comparée à la composante fluviale (Fig.8). La phase d'augmentation de des niveaux d'eau en relation avec les précipitations au cours de la grande saison des pluies est relativement bien décrite par l'application de cette fonction de transfert. A l'opposé, la phase de décrue observée est nettement plus rapide et atteint des niveaux moins importants que ceux prédits par le modèle. Ce résultat démontre l'existence de relations complexes entre la zone de marais et la rivière de Kaw. Il apparaît ainsi indispensable d'accéder à une connaissance des variations de hauteur d'eau au sein du marais. En effet, en fonction des niveaux d'eau respectivement dans le marais et la rivière de Kaw, le marais, d'une superficie de l'ordre 100 000 ha, peut soit stocker des volumes considérables d'eau venant de la rivière directement alimentée par la montagne de Kaw soit, à l'opposé, par débordement, alimenter d'une manière différée la rivière.

Une première exploitation des résultats indique que la hauteur d'eau maximale à la crique des Deux Sœurs atteint son maximum environ 12 heures après le début des averses. Ce retard est cohérent avec la distance entre la station limnigraphique de la crique des Deux Sœurs et la montagne de Kaw qui constitue l'essentiel du bassin versant de la rivière de Kaw.

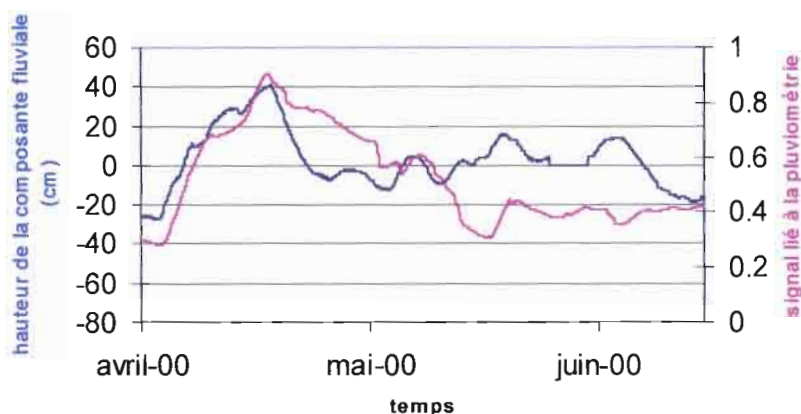


Figure 8 : Composante fluviale estimée à la crique des Deux Sœurs en fonction de pluviométrie mesurée au village de Kaw.

A la station crique Biche, le signal estimé de variations du niveau d'eau fluvial présente un déphasage (estimé par inter-correlation des deux signaux) par rapport aux précipitations enregistrées au village de Kaw de l'ordre de 8 heures (Fig. 9).

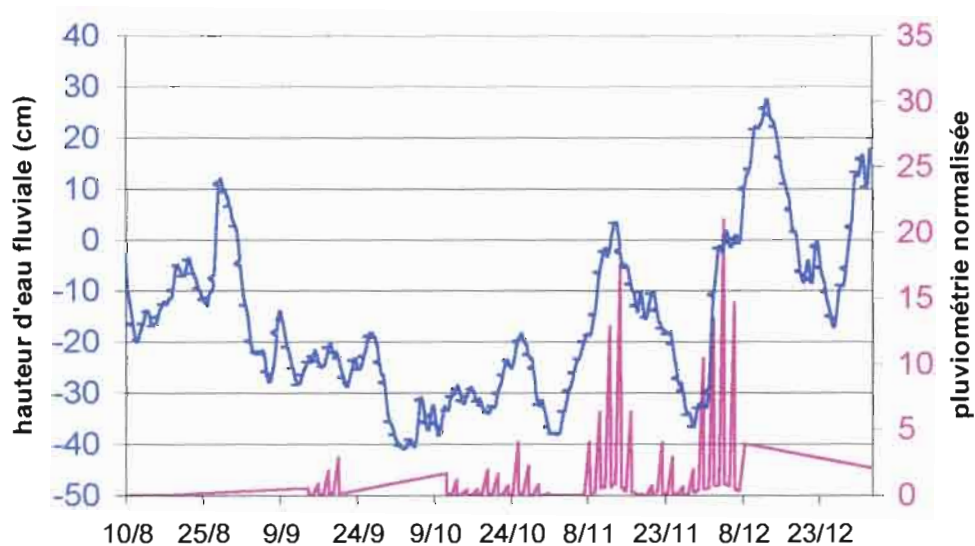


Figure 9 : Composante fluviale estimée à la crique Biche en fonction de la pluviométrie enregistrée au village de Kaw.

Les débits

Bien que la bathymétrie des sections limites du tronçon a été déterminée par échosondage (SONAR LITE), il est difficile de modéliser le débit réel de la rivière de Kaw, compte tenu de l'incertitude sur la stratification des courants liée aux intrusions marines. La figure 10 présente un relevé d'amplitude des courants mesurés à la station Carbet avec un débitmètre (GENERAL OCEANICS INC.). D'une manière générale les profils verticaux de vitesse sont uniformément croissant en fonction de la profondeur. Les variations de vitesse en surface sont comprises entre 0 et 50 cm/s en relation avec les cycles de marée.

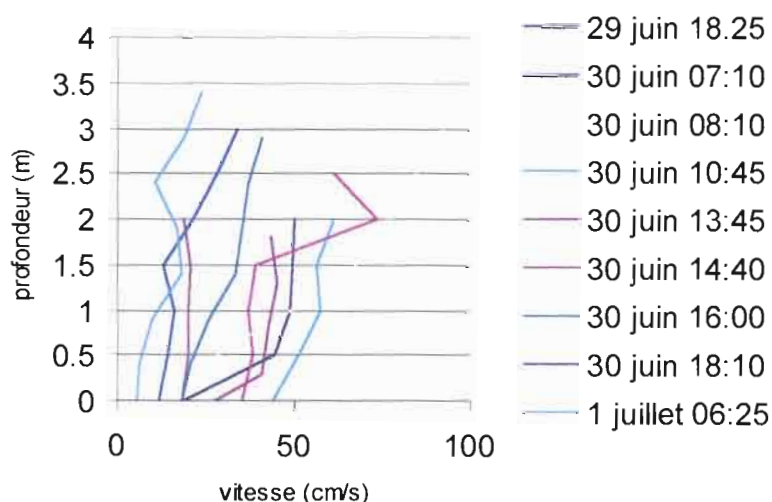


Figure 10 : Profils de vitesse d'écoulement à différentes conditions de marée

Le débit fluvial moyen sur la colonne d'eau a été mesuré au cours du mois de mai 1999, soit durant la grande saison des pluies, à la station limnigraphique de la crique des Deux Sœurs. Ce débit a été mis en relation avec les événements pluviométriques majeurs de manière à approcher les modalités d'écoulement des eaux de pluies du bassin versant jusqu'à la rivière de Kaw. (Fig 11).

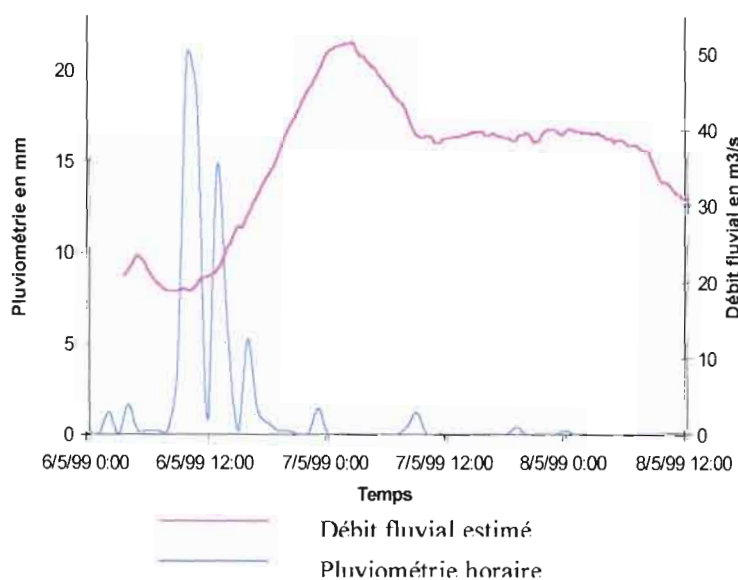


Figure 11 : Impact d'un événement pluviométrique sur le débit fluvial estimé à la station limnigraphique de la crique des Deux Sœurs.

On constate que le débit fluvial atteint progressivement son maximum environ 12 heures après le début des évènements pluvieux . Son augmentation est alors d'environ $30 \text{ m}^3/\text{s}$ pour une hauteur de pluie mesurée d'environ 20 mm en une heure. La phase de décrue présente par contre une évolution plus complexe. Après une première phase de décrue de 6 h (réduction des débits en moyenne de $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ par heure) on observe une relative stabilisation des débits sur une période près de 24 h. En l'absence de nouvel évènement pluvieux, une nouvelle phase de réduction des débits s'amorce avec une cinétique proche, dans sa phase initiale, de la première phase de décrue.

CONCLUSION

Les résultats obtenus, u cours de cette première étude relative à l'hydrodynamique de la rivière de Kaw, ont permis de quantifier dans une certaine mesure les variations de hauteur d'eau en fonction du signal de marée incident et de la pluviométrie. Si la pluviométrie ne peut être que grossièrement prévue, le signal de marée incident peut-être extrapolé avec une précision satisfaisante sur plusieurs années, voire plusieurs dizaines d'années. La propagation du signal dans la rivière dépend largement du tracé de celle-ci. Le modèle obtenu ne reste donc valable que dans la mesure où il ne se crée pas de modifications majeures du tracé. L'évolution géomorphologique de l'estuaire, dépendant de la dynamique des apports amazoniens, fait l'objet d'une étude spécifique de quatre années dans le cadre du Programme National d'Environnement Côtier (1999-2003)⁵.

En ce qui concerne l'hydrologie fluviale et ses relations avec le régime des précipitations il est maintenant nécessaire d'obtenir pour les deux stations limnigraphiques actuellement en fonctionnement des abaques permettant d'estimer des volumes d'eau écoulés en fonction de relations hauteur/débit et hauteur/section mouillée. Des premières mesures mettant en œuvre un ADCP (RDI 1 200 kHz) ont été réalisées en juin 2001 (fin de la saison de pluie) au niveau des trois stations instrumentées (Carbet, crique des Deux Sœurs, crique Biche).

En outre, les premiers résultats présentés dans ce rapport indiquent la nécessité de suivis couplés climatologiques et limnigraphiques. Pour ces derniers, il importe de suivre simultanément les variations de hauteur d'eau dans la rivière et dans le marais. Pour la climatologie, et en particulier pour l'estimation des précipitations, les observations qui reposent actuellement sur les deux stations en fonctionnement sur la montagne de Kaw (Météo France) et au village de Kaw (IRD) devraient être complétées par une station au sein du marais. En effet, compte tenu de sa localisation, il est probable que les précipitations qui alimentent directement le marais soient significativement différentes de celles reçues au sommet de la montagne de Kaw ou en limite de la zone inondable correspondant au site d'implantation du village de Kaw (cf. rapport climatologie).

Compte tenu de l'inaccessibilité par voie terrestre et fluviale de la zone centrale du marais de Kaw la réalisation d'une plate-forme flottante est actuellement en projet de réalisation grâce à un financement de la Région. Cette plate-forme héliportée et déposée dans le marais servira de support pour l'installation d'une station climatologique et d'un limnigraphe. Cette plate forme et ses équipements annexes devraient être opérationnels à partir du début de l'année 2002. Enfin, deux stations limnigraphiques complémentaires seront installées sur la rivière de Kaw avant la fin 2001. Ces équipements complémentaires permettront de disposer d'un suivi des variations de hauteurs d'eau en amont de la zone inondable (apports directs par les précipitations reçues sur la montagne de Kaw) et dans le canal de Kaw qui relie la rivière à l'estuaire de l'Approuague.

BIBLIOGRAPHIE

1. The analysis of tide, G. Godin, University of Toronto Press, 1972.
2. Cours d'hydraulique maritime, R. Bonnefille, Masson, Paris, 1992.
3. Étude de l'hydrodynamique estuarienne de la rivière de Kaw, C. Angles, rapport de stage, Intechmer, 1999.
4. Méthodes et techniques de traitement du signal et applications aux mesures physique; tome 1, J. Max, Masson, Paris, 1985.
5. Propositions d'actions de recherche et demandes budgétaires pour 2000, Chantier Guyane : Dynamique des apports amazoniens, PNEC, mars 2000.