

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE  
Union - Discipline - Travail

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



U.F.R. DES SCIENCES DE LA TERRE ET DES RESSOURCES MINÉRIÈRES

N° d'ordre : 393 / 04

## THESE

En vue de l'obtention du

### DOCTORAT UNIQUE

Spécialité : GEOLOGIE MARINE

Option : OCEANOLOGIE

Par

WOGNIN AMA VALERIE IRMA

# CARACTERISATION HYDROLOGIQUE ET SEDIMENTOLOGIQUE DE L'EMBOUCHURE DU FLEUVE BANDAMA

Soutenue publiquement le 26 janvier 2004, devant la commission d'Examen.

MM →	BIEMI-JEAN →	→	→	Professeur Titulaire Université de Cocody →	→	→	Président
→	AKA-SOUAME →	→	→	Professeur Titulaire Université de Cocody →	→	→	Examinateur
→	POTHIN-KABRAN →	→	→	Maître-Conférencier Université de Cocody →	→	→	Examinateur
→	SAVANE-ISSIAGA →	→	→	Maître de Recherche Université d'Abobo-Adjamé →	→	→	Rapporteur
→	AFFIAN-KOUADIO →	→	→	Docteur d'Etat-Maître Assistant à l'Université de Cocody →	→	→	Rapporteur

# TABLE DES MATIERES

## INTRODUCTION

1- LA SPECIFICITE DE LA ZONE D'ETUDE .....	1
2 - OBJECTIFS DE CE TRAVAIL.....	5
3 - ETAT ACTUEL DES CONNAISSANCES .....	6
4 - LES DONNEES .....	6
5 - ORGANISATION DU MEMOIRE .....	7

## PREMIER PARTIE : GENERALITES

### **I - CADRE GEOGRAPHIQUE, GEOLOGIQUE ET MORPHOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE..... 9**

I-1 - LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE.....	9
I-2 LE COMPLEXE LAGUNAIRE DE GRAND -LAHOU.....	10
I- 3 LE REGIME CLIMATIQUE ET SAISON LAGUNAIRE.....	12
I - 4 LE LITTORAL IVOIRIEN .....	13

### **II – CONNAISSANCES DE L'ARRIERE PAYS..... 16**

II – 1 APERÇU SUR LA COTE D'IVOIRE .....	16
II –2 LE BASSIN VERSANT DU FLEUVE BANDAMA .....	19
<i>II – 2 – 1 présentation .....</i>	<i>19</i>
<i>II- 2 – 2 Les régimes climatiques du bassin versant du Bandama.....</i>	<i>20</i>
<i>II- 2 –3 Relief et géologie.....</i>	<i>21</i>
II- 2 –3 –1 Relief.....	21
II - 2 –3 -2 Géologie.....	24

### **III CARACTERES HYDRODYNAMIQUES DU LITTORAL IVOIRIEN ..... 27**

III –1 LE VENT.....	27
---------------------	----

III –2 LA MAREE .....	30
III – 3 LA HOULE .....	30
III- 3– 1 Déformation des plans de houle à la côte.....	32
III- 3 –2 Les courants induits par la houle.....	33
III- 3 – 3 La houle sur le littoral de Côte d'Ivoire.....	34
III- 3 – 4 La dérive littorale .....	36
<b>IV- GENERALITES SUR LES ESTUAIRES.....</b>	<b>38</b>
IV – 1 DEFINITION.....	38
IV– 2 HYDROLOGIQUE DES MASSES D’EAU .....	39
IV– 2 –1 L’eau douce .....	39
IV– 2 –2 L’eau marine. ....	39
IV - 3 LES LIMITES DE L’ESTUAIRE.....	40
IV – 4 LES DIFFERENTS TYPES D'ESTUAIRES .....	41
IV – 4 – 1 Estuaire de type stratifié.....	41
IV – 4 – 2 - Estuaire de type partiellement mélangé.....	41
IV – 4 – 3 Estuaire de type verticalement homogène ou bien mélangé .....	42
IV – 4 – 4 Estuaire de type verticalement et latéralement homogène.....	42
IV- 5 PHENOMENE DE FLOCCULATION DES PARTICULES FINES .....	44
IV- 5 –1 Variation de la floculation et de la vitesse de chute en fonction de différents paramètres.....	44
<b>V- GENERALITES SUR LES PROFILS DE PLAGES.....</b>	<b>46</b>

## **DEUXIEME PARTIE : MATERIELS ET METHODES**

<b>I –MATERIEL.....</b>	<b>52</b>
I – 1 SUR LE TERRAIN .....	52
I- 2 AU LABORATOIRE: .....	53
<b>II – METHODES.....</b>	<b>53</b>
II – 1 METHODES D'ETUDE SEDIMENTOLOGIQUE.....	54
II – 1 - 1 Prélèvement.....	54

II – 1 - 1 -2 Prélèvement de sédiment .....	55
II – 1 - 1 -3 Positionnement.....	55
II – 1 - 1 –4 Stockage et la conservation des échantillons .....	55
<i>II – 1- 2 Analyse des échantillons .....</i>	<i>56</i>
II – 1- 2 - 1 Description visuelle des sédiments .....	56
II –1- 2 – 2 Granulométrie.....	56
II – 2 LEVE BATHYMETRIQUE .....	61
II - 3 MORPHOLOGIE DES PLAGES .....	61
II – 4 HYDROLOGIE DE L'ESTUAIRE .....	65
II- 5- EVOLUTION DE LA COTE DE GRAND-LAHOU.....	66

## **TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSIONS**

### **I - LES CARACTERES HYDRODYNAMIQUES DE L'ESTUAIRE..... 67**

I– 1 - LA MAREE DYNAMIQUE .....	67
I - 2 LA MAREE DE SALINITE .....	67
<i>I– 2 –1 Evolution de la salinité en étiage.....</i>	<i>68</i>
<i>I– 2 –2 Evolution de la salinité en crue .....</i>	<i>71</i>
<i>I– 2 –3 La salinité dans les chenaux lagunaire de l'estuaire.....</i>	<i>75</i>
I– 2 –3 –1 La salinité dans le chenal sud-ouest.....	76
I– 2 –3 – 2 Salinité dans le chenal nord .....	76
I– 3 EVOLUTION DES MATIERES EN SUSPENSION DANS LES EAUX ESTUARIENNES DU BANDAMA .....	79
I– 4 LA TEMPERATURE, LE PH, ET LA CONDUCTIVITE .....	82

### **II- MORPHOLOGIE ET SEDIMENTOLOGIE DE L'ESTUAIRE DU BANDAMA ..... 89**

II – 1 - MORPHOLOGIE DE L'ESTUAIRE .....	89
<i>II –1 - 1 allure générale du cours de l'estuaire du Bandama .....</i>	<i>89</i>
<i>II- 1 - 2 la bathymétrie de l'estuaire.....</i>	<i>92</i>
<i>II-1-3 La configuration des chenaux.....</i>	<i>96</i>
II – 2 - SEDIMENTOLOGIE DES FACIES SUPERFICIELS .....	103

### **III – EVOLUTION DU SEGMENT DE COTE DE GRAND-LAHOU .... 125**

III - 1- EVOLUTION A LONG TERME ( DE 1957 A 2003).....	125
III - 2 EVOLUTION DE LA PASSE .....	131
III – 3 EVOLUTION A COURS TERME (UN AN) .....	137
III – 3 EVOLUTION A COURS TERME (UN AN) .....	138
<i>III – 3 –1 suivi morphologique des plages profil par profil.....</i>	<i>138</i>
III – 3 –1 –1 Les profils à l'ouest de la passe .....	138
III – 3 –1 –2 Les profils à l'Est de la passe.....	148
<i>III – 3 – 2 Analyse des remaniements sédimentaires de la plage sur un an .....</i>	<i>156</i>
III –4 EVOLUTION DES FACIES SUPERFICIELS.....	169
III – 5 LES CAUSES DE L'EROSION A GRAND-LAHOU.....	174
<i>III – 5 –1 Les causes naturelles.....</i>	<i>174</i>
III – 5 –1 –1 Les causes liées aux tempêtes .....	175
III – 5 –1 –1 Les causes liées à l'orientation du trait de côte.....	175
III – 5 –1 –3 Les causes liées à la côte du cordon littoral .....	176
III – 5 –1 –1 Les causes liées à L'élévation du niveau de la mer .....	176
<i>III – 5 –2 Les causes anthropiques.....</i>	<i>177</i>

## **CONCLUSION GENERALE**

### **I RAPPEL DES OBJECTIFS :..... 181**

### **II - RAPPEL DES RESULTATS..... 181**

II- 1 - HYDROLOGIE DE L'ESTUAIRE .....	181
II- 2 MORPHOLOGIE ET SEDIMENTOLOGIE DE L'ESTUAIRE.....	182
II- 3 L'EROSION A GRAND-LAHOU .....	183
<i>II – 3 – 1 Le recul du trait de côte d'e 1957 à 2003.....</i>	<i>183</i>
<i>II – 3 – 2 Evolution morphologique et sédimentologique de la plage sur un an .....</i>	<i>185</i>

### **III CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS ..... 186**

### **BIBLIOGRAPHIE**

### **ANNEXES**

## Liste des figures

FIGURES	PAGES
Figure 1 : Localisation de la zone d'étude	11
Figure 2 : Géologie et morphologie du littoral de Côte d'Ivoire	15
Figure 3 : Le réseau hydrographique et les grands bassins versants de Côte d'Ivoire	17
Figure 4 : Le relief du bassin versant du fleuve Bandama	23
Figure 5 : La géologie du bassin versant du fleuve Bandama	26
Figure 6 : Débit solide en fonction de la vitesse du vent mesuré à 4,2 cm du sol	28
Figure 7 : Régime des vents sur le littoral ivoirien	29
Figure 8 : Schéma des paramètres de la houle	30
Figure 9 : Déformation de la houle au rivage	32
Figure 10 : Direction de la houle sur le littoral ivoirien	35
Figure 11 : Fréquence des périodes des houles relevées sur fond de 20 m	35
Figure 12 : Les différents types de circulation des eaux dans un estuaire	43
Figure 13 : Morphologie d'une plage typique	48
Figure 14 : Les paramètres du profil de plage	61
Figure 15 : Répartition des iso-halines dans l'estuaire du Bandama en étiage pendant le flot	67
Figure 16: Evolution de la salinité en fonction de la marée à la station 1	68
Figure 17: Evolution de la salinité en fonction de la marée à la station 2	68
Figure 18 : Répartition des iso-halines dans l'estuaire du Bandama en étiage pendant le jusant	70
Figure 19 : Répartition des iso-halines dans l'estuaire du Bandama en crue pendant le flot	71
Figure 20 : Répartition des iso-halines dans l'estuaire du Bandama en crue pendant le jusant	72
Figure 21 : Evolution de la salinité en fonction de la marée à la station 3	76
Figure 22 : Evolution de la salinité en fonction de la marée à la station 4	76
Figure 23 Variation des concentrations en matières en suspension en fonction de la salinité	77
Figure 24 : Quatre générations de panache turbide expulsées en mer lors des quatre marées basses avant la prise de l'image	78
Figure 25 : Carte sédimentologique du plateau continental en face de l'embouchure du fleuve Bandama	79
Figure 26 : Corrélation entre les paramètres physico-chimiques dans l'estuaire	81
Figure 27 : Allure du cours de l'estuaire du Bandama	88
Figure 28 : Carte bathymétrique de l'estuaire du fleuve Bandama (Zone 1 extrême sud de l'estuaire)	91
Figure 29 : Carte bathymétrique de l'estuaire du fleuve Bandama (du canal au pont de N'Zida)	92

Figure 30 : Carte bathymétrique de l'estuaire du fleuve Bandama (entre le pont de N'Zida et Sikasso)	<b>93</b>
Figure 31 : plan de position des radiales étudiées	<b>96</b>
Figure 32 : Courbes morphologiques du chenal Sud de l'estuaire du Bandama	<b>97</b>
Figure 33 : Courbes morphologiques du chenal de la lagune Nyouzoumou	<b>98</b>
Figure 34 : Courbes morphologiques du chenal Nord de l'estuaire du Bandama (radiale 14 à 18)	<b>99</b>
Figure 35 : Courbes morphologiques du chenal Nord de l'estuaire du Bandama (radiale 10 à 13)	<b>100</b>
Figure 36 : Histogramme de fréquences des sédiments sur la zone 1	<b>102</b>
Figure 37 : Histogramme de fréquences des sédiments sur la zone 2	<b>103</b>
Figure 38 : Carte de répartition des teneurs en fraction A dans l'estuaire (Zone 1)	<b>105</b>
Figure 39 : Carte de répartition des teneurs en fraction A dans l'estuaire (Zone 2)	<b>106</b>
Figure 40 : Carte de répartition des teneurs en fraction B dans l'estuaire (Zone 1)	<b>107</b>
Figure 41 : Carte de répartition des teneurs en fraction B dans l'estuaire (Zone 2)	<b>108</b>
Figure 42 : Carte de répartition des teneurs en fraction C dans l'estuaire (Zone 1)	<b>109</b>
Figure 43 : Carte de répartition des teneurs en fraction C dans l'estuaire (Zone 2)	<b>110</b>
Figure 44 : Carte de répartition des teneurs en fraction D dans l'estuaire (Zone 1)	<b>111</b>
Figure 45 : Carte de répartition des teneurs en fraction D dans l'estuaire (Zone 2)	<b>112</b>
Figure 46 : Carte de répartition des moyennes granulométriques (zone14)	<b>114</b>
Figure 47 : Carte de répartition des moyennes granulométriques (zone 2)	<b>115</b>
Figure 48 : Carte de répartition des écarts types dans l'estuaire (Zone 1)	<b>117</b>
Figure 49 : Carte de répartition des écarts types dans l'estuaire (Zone 2)	<b>118</b>
Figure 50 : Evolution du cordon ouest de l'embouchure du Bandama de 1957 à 1995	<b>124</b>
Figure 51 : Evolution de l'embouchure de 1957 à 2003	<b>125</b>
Figure 52 : Schéma récapitulatif de l'évolution de l'érosion de 1957 à 2003	<b>126</b>
Figure 53 : Morphologie de la passe de 1957 à 1995	<b>130</b>
Figure 54 : Schémas interprétatifs de la morphologie de l'embouchure en période de crue et d'étiage	<b>132</b>
Figure 55 : Evolution de l'érosion à l'embouchure du fleuve Bandama de 1957 à 2003 sur la photo de 1993	<b>133</b>
Figure 56 : Les différents types de débouchés en mer des estuaires	<b>135</b>
Figure 57 : Répartition des profils sur la plage	<b>137</b>
Figure 58 : Evolution du profil A sur une année	<b>138</b>
Figure 59 : Evolution du profil B sur une année	<b>140</b>
Figure 60 : Evolution du profil C sur une année	<b>142</b>

Figure 61 : Evolution du profil D sur une année	<b>144</b>
Figure 62 : Evolution du profil E sur une année	<b>146</b>
Figure 63 : Evolution du profil F sur une année	<b>149</b>
Figure 64 : Evolution du profil 1 sur une année	<b>150</b>
Figure 65 : Evolution du profil 2 sur une année	<b>153</b>
Figure 66 : Evolution du profil 3 sur une année	<b>154</b>
Figure 67 : Evolution du profil 4 sur une année	<b>156</b>
Figure 68 : Schéma de l'évolution de la plage entre mars et avril 2002	<b>158</b>
Figure 69 : Schéma de l'évolution de la plage entre avril et mai 2002	<b>160</b>
Figure 70 : Schéma de l'évolution de la plage entre mai et janvier 2003	<b>163</b>
Figure 71 : Schéma de l'évolution de la plage entre janvier et mars 2003	<b>165</b>
Figure 72 : Schéma de l'évolution de la plage entre mars 2002 - mars 2003	<b>167</b>
Figure 73: Répartition des faciès sédimentologique sur la plage à partir de la moyenne granulométrique et de l'indice de classement (période calme janvier 2003)	<b>170</b>
Figure 74 : Répartition des faciès sédimentologique sur la plage à partir de la moyenne granulométrique et de l'indice de classement (période turbulente mai 2002)	<b>172</b>

## Liste des photos

<b>Photos</b>	<b>Page</b>
Photo 1 : Maison détruite par la mer à l'embouchure du Bandama à Grand-Lahou	3
Photo 2 : Plantation de cocotiers attaquée par l'érosion à l'embouchure du Bandama	3
Photo 3 : Epi de protection contre l'érosion isolé par la mer à Grand-Lahou	4
Photo 4 : flèche de sable évoluant vers l'est en étiage.	95
Photo 5 : Sables grossiers aux abords de l'embouchure	119
Photo 6 : Méga rides observées sur les rives en marée basse	120
Photo 7 : Micro falaise de sables stratifiée	120

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableaux</b>	<b>Pages</b>
Tableau 1 : Orientation du trait de côte du littoral ivoirien	14
Tableau 2 : Débit moyen de crue et d'étiage de quelques fleuves de Côte d'Ivoire	18
Tableau 3 : Tableau récapitulatif de la lithologie et des cycles orogéniques du socle ivoirien	25
Tableau 4: Fréquences des houles par mois	35
Tableau 5 : Tableau de repérage des profils de plage	62
Tableau 6: Récapitulatif de la vitesse de l'érosion côtière (Zone 1)	126
Tableau 7 : Tableau récapitulatif de la vitesse d'érosion de la flèche littorale (Zone 2)	127
Tableau 8 : Volumes et surfaces remaniés entre mars et avril 2002	157
Tableau 9 : Volumes et surfaces remaniés entre avril et mai 2002	161
Tableau 10 : Volumes et surfaces remaniés entre mai 2002 et janvier 2003	162
Tableau 11: Volumes et Surfaces remaniés par profil entre janvier et mars 2003.	164
Tableau 12 : Volumes et surfaces remaniés entre mars 2002 et mars 2003.	166

## **Liste des abréviations**

AFNOR : Association Française de Normalisation  
B.N.E.T.D. : Bureau National d'Etudes Techniques et de développement  
C.C.T. : Centre de Cartographie et de Télédétection  
CIAPOL : Centre Ivoirien Anti Pollution  
C.R.E. : Centre de Recherche en Ecologie  
C.R.O. : Centre de Recherche Océanologique  
CURAT : Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection  
LCHF : Laboratoire Central d'Hydraulique de France  
SHOM : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine française

# INTRODUCTION

## CHAPITRE I

### GENERALITES

#### I - CADRE GEOGRAPHIQUE, GEOLOGIQUE ET MORPHOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

**II - CONNAISSANCES DE L'ARRIERE PAYS**

**III- CARACTERES HYDRODYNAMIQUES DU LITTORAL IVOIRIEN**

**IV – GENERALITES SUR LES ESTUAIRES**

**V- GENERALITES SUR LES PROFILS DE PLAGE**

Le domaine littoral d'une manière générale, constitue un "environnement attractif pour les établissements humains". Les pays ayant une façade maritime comptent "les deux tiers (2/3) de leur population" sur cette partie du territoire. En Côte d'Ivoire, la prolifération des projets de développement, d'assainissement et de gestion de l'espace littoral justifie à l'heure actuelle, l'intérêt de plus en plus croissant accordé à la zone côtière dans les plans de développement. Aussi, la gestion durable et efficace de cet espace passe-t-elle par une bonne connaissance du milieu physique, en particulier des phénomènes qui le caractérisent, leurs manifestations, leurs durées, leurs conséquences, sur le milieu physique et biologique.

La présente étude porte sur les caractères hydrologiques, morphologiques et sédimentologiques de l'embouchure du fleuve Bandama.

## **1- LA SPECIFICITE DE LA ZONE D'ETUDE**

La spécificité de cette portion de côte réside dans le fait que :

- l'embouchure du fleuve Bandama constitue l'interface entre trois milieux physiques différents. Il s'agit du milieu fluvial, lagunaire et marin. En effet, la passe de Grand-Lahou est le seul exutoire en mer du système lagunaire (lagune Tagba, Nyouzoumou, Tadio, Mackey) et du fleuve Bandama. En plus, par ce grau oscille au gré des marées, l'eau marine dont la pénétration dans l'estuaire dépendra des débits fluviaux et lagunaires et des caractéristiques des marées. Quelles sont les caractéristiques hydrologiques et sédimentologiques de l'interface résultant de l'interaction entre ces trois milieux physiques différents ? Existe-t-il une prédominance du milieu continental ou marin ?

- l'estuaire du fleuve Bandama et les plans d'eaux adjacents (lagunes et mer), constituent pour les populations de Brafédon, de véritables supports de subsistance. En effet, l'activité économique principale et traditionnelle de cette population est la pêche. Mais à cause des phénomènes de pollution (dont la

conséquence immédiate la rareté du poisson) et d'érosion (dont la conséquence immédiate à Grand-Lahou est la perte des terres habitables), les pêcheurs sont obligés d'abandonner leur site originel et leur activité pour devenir peu à peu des cultivateurs.

- de plus, sur ces plans d'eau se posent des problèmes de navigation à cause des haut fonds. Si les populations par habitude connaissent plus ou moins l'emplacement de ces haut fonds et des zones de turbulence, il est important de mettre à la disposition des touristes et autres utilisateurs potentiels des cartes bathymétriques et sédimentologiques précises. Ces documents permettront une meilleure navigation et un meilleur repérage de certaines espèces de poisson dont les habitats sont liés à la nature des fonds.

- Par ailleurs, l'embouchure du fleuve bandama est un des lieux de transit de la crevette rose (*Penaeus Natialis*) dont le cycle vital comprend une phase lagunaire juvénile et une phase marine adulte. Il est donc essentielle pour cette espèce prisée par la population que l'embouchure soit lors des migrations larvaires (de la mer vers la lagune) et juvénile (lagune vers la mer).

– De plus, ce petit village situé sur le cordon littoral de Grand-Lahou est un site important du patrimoine touristique de notre pays. Il constitue un lieu de plaisance, attirant de nombreux touristes. Ce site est fortement menacé de disparition par l'érosion. En effet, l'érosion sur cette portion de côte y est particulièrement active et est ressentie quotidiennement par les riverains. Ce phénomène d'érosion du littoral de Grand-Lahou n'est pas un phénomène récent. De nombreux témoignages font état de plusieurs manifestations violentes détruisant habitats et biens (photos 1 et 2 ).



Photo WOGNIN Valérie

Photo 1 : Maison détruite par la mer à l'embouchure du Bandama à Grand –Lahou  
(4 janvier 2003)



Photo WOGNIN Valérie

Photo 2 : plantation de cocotiers attaquée par l'érosion à l'embouchure du Bandama  
à Grand –Lahou (4 janvier 2003)

Varlet, en 1958 signale la destruction d'une allée de cocotier par un "raz de marée" en 1860. Un rapport du 18 décembre 1882 de l'administration coloniale française installée à Grand-Lahou écrit : "La mer provoque un rétrécissement lent mais continu de la bande sablonneuse" (Kipré, 1985). D'autres manifestations aussi spectaculaires se sont produites en notre siècle. D'après des témoignages, recueillis à Grand-Lahou, les habitants du village de Brafedon abandonnèrent leur site originel en 1952 pour regagner la rive nord des lagunes à la suite d'importants dégâts causés par l'érosion dans la période 1949-1950. En juillet 1989, l'érosion côtière a détruit le phare de la ville, des bâtiments historiques et le quai d'accostage protégé par un petit épi. Ce petit épi est aujourd'hui complètement isolé en mer, (photo 3). Cette même année, l'érosion a entraîné la destruction d'un petit hôtel situé à proximité de la passe.



Photo 3 : Epi de protection contre l'érosion isolé par la mer à Grand –Lahou  
(4 janvier 2003)

L'érosion côtière constitue un réel problème dans cette région. Elle justifie pour une grande part le transfert de la ville de Grand-Lahou sur la rive nord des lagunes dans les années 1970 (Hauhouot, 1997).

Face à ces destructions spectaculaires de l'érosion, une question fondamentale se pose. L'érosion à Grand-Lahou est-elle temporaire, périodique ou continue ? .

– de plus il s'agit de l'embouchure du plus grand fleuve du pays. Son bassin couvre le tiers du territoire ivoirien. Ce cours d'eau draine la quasi-totalité des formations géologiques du pays. Les données géologiques du bassin versant influencent-elles la sédimentation à l'exutoire du fleuve ?

## **2 - OBJECTIFS DE CE TRAVAIL**

L'objectif principal de ce travail est d'étudier la dynamique sédimentaire actuelle de l'embouchure du fleuve Bandama afin de comprendre le fonctionnement de ce milieu.

Les objectifs spécifiques sont :

- déterminer les caractéristiques hydrologiques de l'estuaire du Bandama;
- préciser la nature et quantifier l'importance des apports fluviaux dans le budget sédimentaire de l'embouchure du fleuve ;
- étudier la morphologie de l'estuaire ;
- préciser la répartition des faciès sédimentologiques superficiels ;
- quantifier l'érosion à Grand-Lahou.

### **3 - ETAT ACTUEL DES CONNAISSANCES**

Malgré la spécificité de cet espace littoral, peu de travaux dans le domaine de la sédimentologie lui ont été consacrés. Les plus importants sont ceux de Monnet et de Lecolle en 1972.

Les travaux de Monnet (1972) ont porté sur "la dynamique et la nature des matières en suspension" du Bandama et "l'évolution des éléments chimiques des eaux estuariennes".

Lecolle (1972) a, quant à lui, travaillé sur "l'évolution du milieu fluvio-marin à l'embouchure du fleuve" en insistant sur les aspects physico-chimiques. A ces deux thèses, on peut ajouter :

- la publication de Abé *et al* (1993) parue au journal "Ivoir. Océanol. Liminol." du CRO sur la morphologie et l'hydrodynamisme de l'embouchure du fleuve Bandama ;

- et celle de Affian *et al* (1993) parue au journal "Actualité Scientifique" "AS" de L'AUPELF- UREF sur la "caractérisation du panache turbide d'un fleuve en zone intertropicale à l'aide d'image HRV de SPOT : cas du Bandama en Côte d'Ivoire".

C'est pour ces raisons que la présente étude aborde des aspects originaux qui n'ont pas fait l'objet d'étude ou ont été abordés partiellement dans les travaux précités.

### **4 - LES DONNEES**

Les données analysées dans ce travail ont été recueillies après plusieurs missions sur le site d'étude depuis 1999 :

- un levé bathymétrique à l'échosondeur a été effectué pour l'étude de la morphologie de l'estuaire ;
- des levés topographiques saisonniers au théodolite sur les cordons littoraux ont permis d'étudier la morphologie des plages ;

- des prélèvements d'eau à la bouteille hydrologique (72 échantillons) et des mesures physico-chimiques "*in situ*" ont permis d'étudier l'hydrologie de l'estuaire ;
- le prélèvement de sédiment à la benne Van Veen et des prises directes de sédiments au sol (112 échantillons au total) ont permis de comprendre la sédimentation de l'estuaire et de ses environs ;
- enfin, des photographies aériennes et des images satellites à différentes dates, des observations directes du terrain et les témoignages des riverains nous ont permis d'estimer l'ampleur et la cinématique de l'érosion dans cette zone.

## **5 - ORGANISATION DU MEMOIRE**

Le mémoire est organisé autour de trois parties

- la première partie place la zone d'étude dans son contexte géographique, géologique, et structural, puis recense les données générales indispensables à l'approche des phénomènes sédimentologiques.

- La deuxième partie est consacrée à la méthodologie mise en œuvre dans ce travail ;

- La troisième partie expose les résultats de l'étude. Elle se consacre :

- \* d'abord à l'analyse de l'hydrodynamisme de l'estuaire, à partir duquel nous procéderons à l'estimation des transits sédimentaires et des masses d'eaux, principalement à l'aide de l'étude de la salinité des masses d'eaux, et des matières en suspensions ;

- \* ensuite, l'analyse détaillée de la morphologie de l'estuaire et de la passe ;

\* puis à l'individualisation et à la répartition des principaux stocks sableux dans l'estuaire. Ainsi, seront caractérisés les différents stocks sédimentaires liés à la morphologie.

\* ensuite à l'étude de l'érosion à l'embouchure du fleuve Bandama sur une longue période (1957 à 2003) afin de comprendre l'évolution de cette érosion ;

\* puis, à l'étude de l'érosion sur une courte période (1 an) en procédant à l'analyse morphologique et sédimentologique des plages sur cette période de 1 an.

- Enfin dans la conclusion nous ferons la synthèse des différents résultats acquis, ce qui nous permettra de répondre en partie aux préoccupations qui ont engendré le choix de ce thème.

## **I - CADRE GEOGRAPHIQUE, GEOLOGIQUE ET MORPHOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE**

L'environnement adjacent à la zone d'étude, surtout le bassin versant qui le précède a une influence certaine sur les caractéristiques hydrologiques et sédimentologiques du site étudié. Ainsi, dans cette première partie, nous rassemblons les données générales susceptibles d'avoir un impact sur la zone d'études.

Ces données concernent :

- le cadre géographique, géologique et morphologique du littoral ivoirien, environnement dans lequel s'inscrit l'embouchure du fleuve ;
- le cadre géographique, géologique et morphologique de l'arrière pays, surtout le bassin versant du fleuve Bandama ;
- les facteurs dynamiques du littoral ;
- les données générales sur les estuaires ;
- l'aperçu sur les profils de plage.

### **I –1 - LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE**

L'exutoire en mer du fleuve Bandama est situé à Grand –Lahou à l'extrême sud de la Côte d'Ivoire. L'embouchure du fleuve, objet de notre étude est compris d'une part entre 4° 26 et 5°20 de latitudes nord et d'autre part entre 4° 20 et 5°20 de longitudes ouest. Elle est constituée par l'estuaire de Grand-Lahou et intègre les cordons littoraux adjacents et une partie du système lagunaire, en particulier la lagune Nyouzoumou et Tagba (Figure 1). Le débouché naturel (ou grau) de la lagune Tagba dans lequel se jette le fleuve Bandama et qui lui sert alors d'exutoire est relié dans sa partie orientale à un important système lagunaire : le système lagunaire de Grand-Lahou.

## **I-2 LE COMPLEXE LAGUNAIRE DE GRAND -LAHOU**

Les lagunes ivoiriennes sont rassemblées dans la moitié Est le long du littoral sur près de 300 km. (Dare 1983). Elles sont constituées par trois ensembles lagunaires qui sont d'Ouest en Est, l'ensemble lagunaire de Grand -Lahou, l'ensemble lagunaire Ebrié et la lagune Aby. Ces lagunes sont des dépressions fluviales submergés et séparées de la mer par un cordon littoral (Tastet et al, 1994). Ces ensembles lagunaires sont reliés entre eux par les canaux. Le Canal d'Assagny creusé en 1939 reliant la lagune Ebrié au système lagunaire de Grand-Lahou et le Canal d'Assinie creusé en 1955 et 1957 reliant le système lagunaire Aby à la lagune Ebrié.

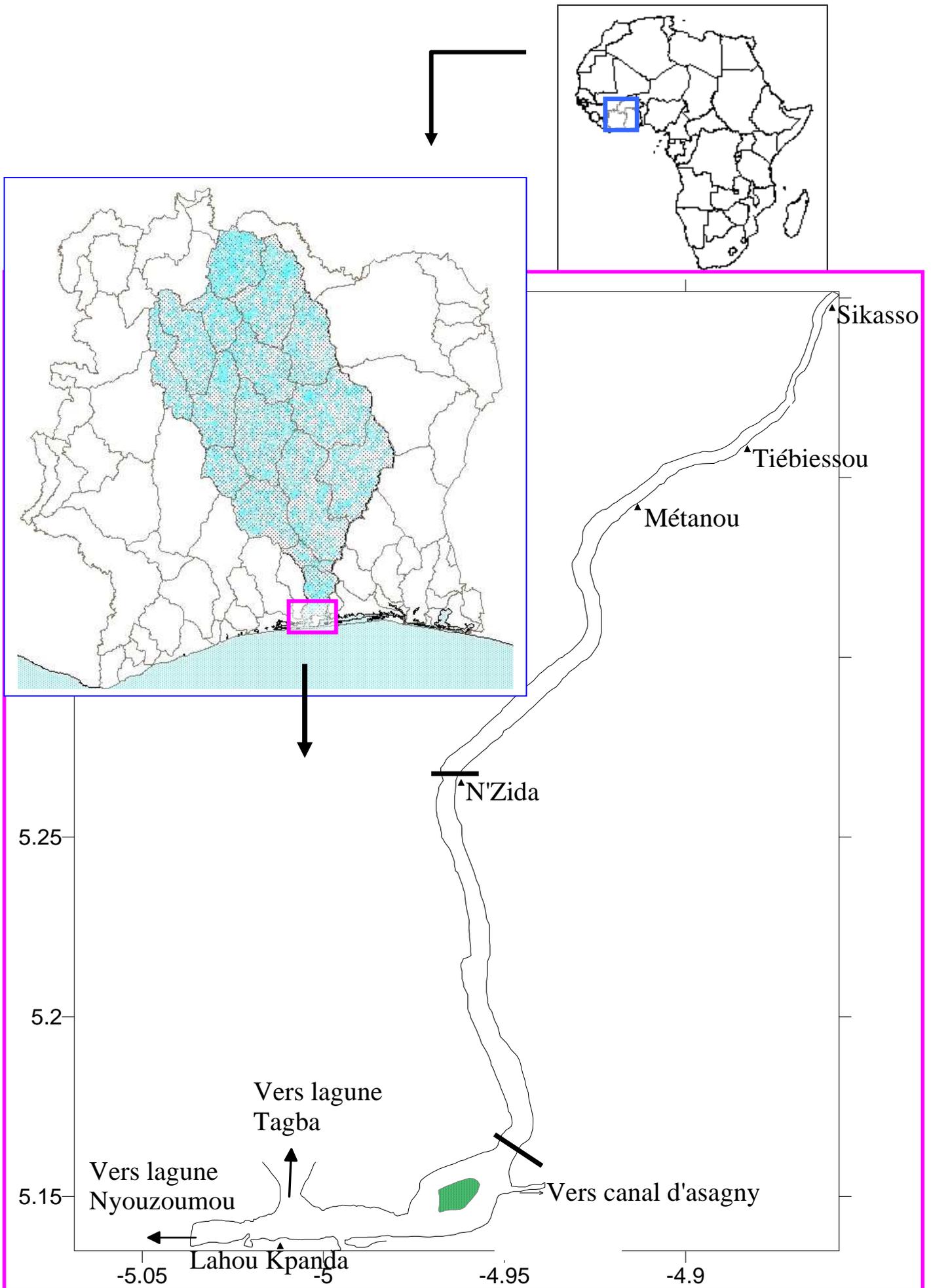


Figure. 1 : Localisation de la zone d'étude

L'ensemble lagunaire de Grand-Lahou, de direction est-ouest est, le plus petit ensemble avec une longueur totale de 50 km et couvre une superficie de 190 km<sup>2</sup>. Il est constitué de quatre (4) petites lagunes qui sont d'Ouest en Est :

- la lagune Tadio : c'est la plus vaste des quatre (4) avec une superficie de 90 km<sup>2</sup>;
- la lagune Nyouzoumou : elle a une forme allongée et est parallèle au littoral. Sa superficie totale est de 15 km<sup>2</sup> environ et sa profondeur n'excède pas 3 mètres. Elle est marquée par une influence marine par rapport à la lagune Tadio (Hie Darre 1983). Cette influence s'est accrue grâce à un petit canal percé par la SODEPALM et qui la relie à la lagune Tagba, qui elle, est directement en contact avec la mer ;
- la lagune Mackey est la moins profonde (2 mètres au maximum). Elle a une superficie d'environ 28 km<sup>2</sup> et relie la lagune Tadio à la lagune Tagba;
- la lagune Tagba est située à l'extrémité Est du système lagunaire de Grand-Lahou. Sa superficie est d'environ 57 km<sup>2</sup> avec une profondeur moyenne d'environ 3 m. On trouve cependant par endroits, au niveau et aux alentours de la passe, des profondeurs pouvant atteindre 8 m. Cette lagune communique directement avec la mer par le seul exutoire qui constitue l'embouchure du fleuve Bandama. Cette lagune est sous l'influence des effets conjugués du fleuve et de la mer.

### **I- 3 LE REGIME CLIMATIQUE ET SAISON LAGUNAIRE**

Le système lagunaire est sous l'influence des régimes du Bandama, des cours d'eau côtiers et des saisons marines. La résultante de ces trois régimes définit une alternance de saisons des pluies et de saisons sèches sur l'ensemble lagunaire :

- de janvier à avril, c'est la saison sèche. Le système lagunaire est sous influence marine ;
- de mai à août, le régime dominant est celui des cours d'eau côtiers ;
- de septembre à décembre, c'est la période des grandes crues. Durant cette période, tout le système lagunaire est sous l'influence du Bandama.

#### **I - 4 LE LITTORAL IVOIRIEN**

Long de 566 km, le littoral ivoirien s'étend du Cap des trois points (Ghana) au cap des palmes (Libéria). (Figure 2)

De la frontière du Ghana à l'extrême ouest de la lagune Niouzoumou (Grand-Lahou), le littoral est une côte basse, formée de cordons littoraux isolant de nombreuses lagunes. Ces cordons sont constitués de sables quaternaires.

De la lagune Niouzoumou à l'embouchure du fleuve Sassandra, les formations géologiques rencontrées sont constituées de sables argileux plus ou moins cuirassés formant des plateaux de 20 à 50 m d'altitude dans la région de Fresco. Ces formations sont des sédiments tertiaires mio-pliocènes du "continental terminal".

De l'embouchure du fleuve Sassandra à la frontière du Libéria le littoral est de type "côte de plateau". La ligne de rivage est caractérisée par une disposition en échelon avec des portions de côte rectilignes décalées les unes par rapport aux autres et séparées par des caps dont l'existence est liée à la présence de roches dures et/ou à celles de failles et de fractures. Dans cette portion du littoral affleure le socle ivoirien. Ce socle est constitué de formations éruptives et métamorphiques du bouclier précambrien. Ces formations sont résistantes à l'érosion.

Suivant l'orientation de la ligne de rivage, on peut distinguer quatre secteurs côtiers : (Tableau 1)

**Tableau 1** : Orientation du trait de Côte du littoral ivoirien (Tastet 1972)

Localisation	Orientation
Tabou à Sassandra	N 67,5°
Sassandra à la lagune Lahou	N 80°
Lagune Lahou à Abidjan	N 83°
Abidjan à la frontière du Ghana	N 100°

Le littoral est contigu à un étroit plateau continental. L'isobathe 120 m en dessous de laquelle la pente s'accroît vers les grands fonds n'est en effet qu'à 18 km au large d'Abidjan et à 35 km devant Sassandra. Cette étroite plate forme est entaillée d'une dépression profonde en face de Vridi appelé Canyon du "Trou Sans Fond". (Mondé 1997)

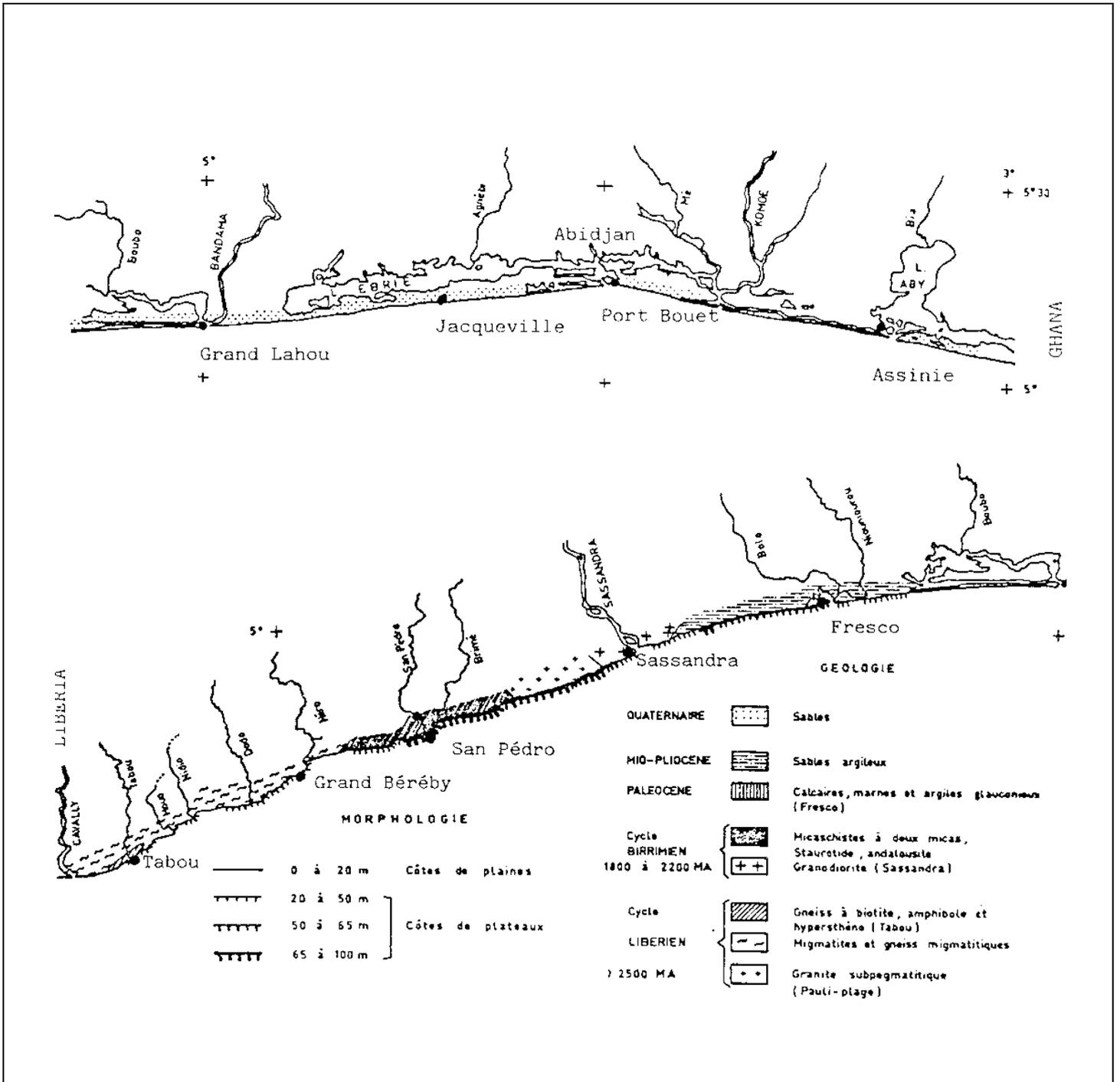


Figure 2 : géologie et morphologie du littoral de Côte d'Ivoire.

( Berton, 1973, in Quelennec 1984)

## II – CONNAISSANCES DE L'ARRIERE PAYS

### II – 1 APERÇU SUR LA COTE D'IVOIRE

Située dans la zone équatoriale de l'Afrique occidentale entre les 3°40' et 5° 20' de longitude ouest et les 3° et 5° 15' de latitude Nord, la Côte d'Ivoire a une superficie de 322 465 km<sup>2</sup> dont environ 110 000 km<sup>2</sup> au sud représente la zone forestière et environ 212 000 km<sup>2</sup> au nord est couverte par la savane. Elle possède une façade maritime longue de 520 km sur le golf de Guinée.

La Côte d'Ivoire est drainée par quatre grands fleuves dont le plus important est le Bandama. Ce sont d'est en ouest : Le Comoé, le Bandama, le Sassandra et le Cavaly (Figure 3).

Ces fleuves coulent du Nord au Sud et leurs bassins versants ont respectivement 78 000 km<sup>2</sup>, 97 500 km<sup>2</sup>, 75 000 km<sup>2</sup>, 30 000 km<sup>2</sup> (Camus , 1970, Camus . et al 1972, Girad . et al 1971 in Aka K 1991).

A ces grands appareils complexes s'ajoutent de petites artères dont les plus importants sont d'Est en Ouest la Bia, la Mé, l'Agnéby, le Boubo, le Niounourou, le San-pédro, le Nero, et le Tabou. Les bassins versants de ces derniers ont des superficies comprises entre 4000 et 9000 km<sup>2</sup>.

Le tableau 2 donne les valeurs des débits moyens en crue et en étiage de quelques fleuves.

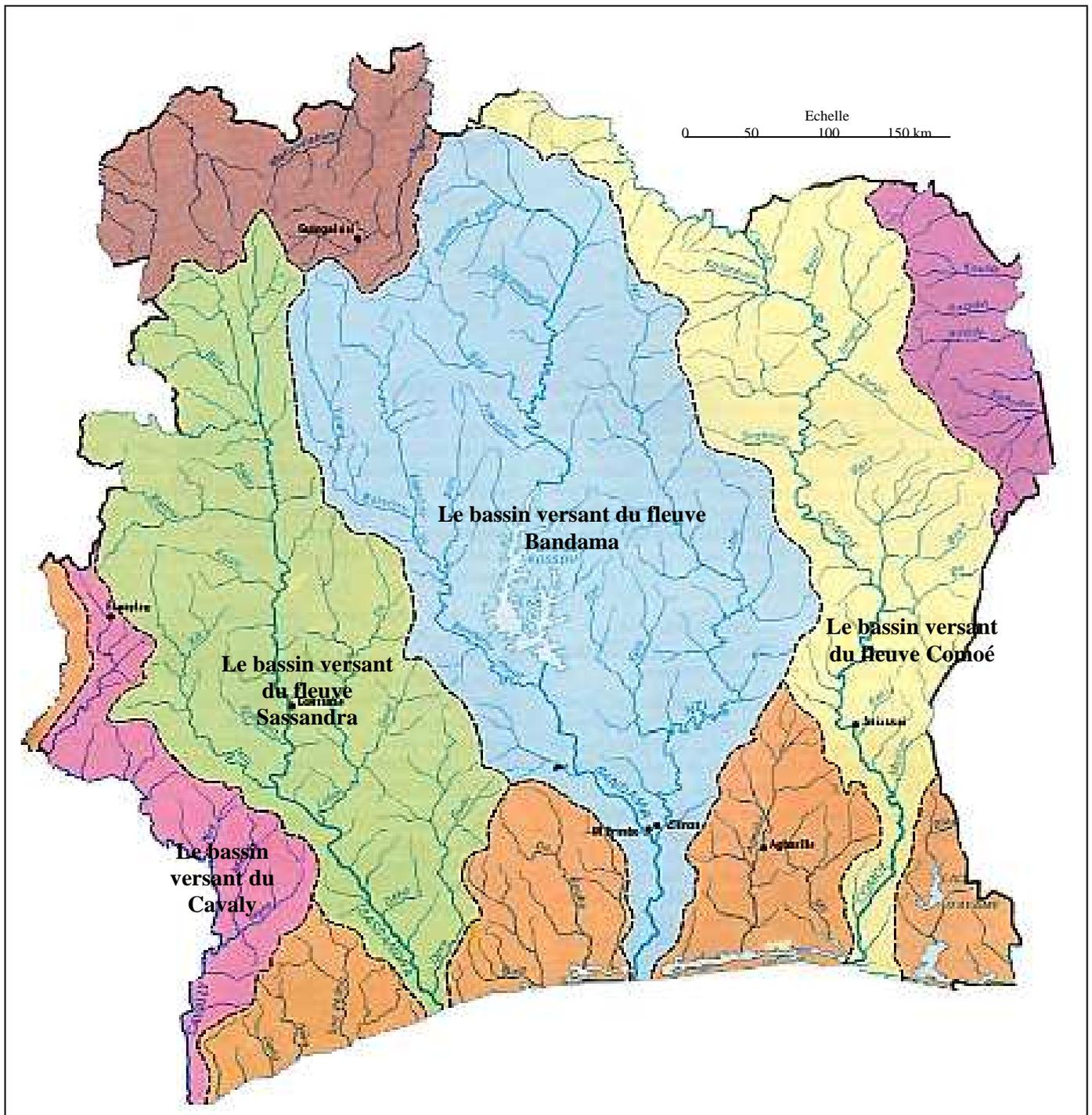


Figure 3 : Le réseau hydrographique et les grands bassins versants de Côte d'Ivoire (Source : Atlas de Côte d'Ivoire, 1978)

**Tableau 2:** Débit moyen de crue et d'étiage de quelques fleuves de Côte d'Ivoire. (Camus, 1970, Camus et al 1972, Girad et al 1971) in Aka 1991)

<b>Nom des fleuves</b>	<b>Débits moyens en crue (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Débit moyen en étiage (m<sup>3</sup>/s)</b>
<b>Sassandra</b>	980	50
<b>Bandama</b>	1645	25
<b>Agnéby</b>	206	2
<b>Mé</b>	172	1
<b>Comoé</b>	1814	42
<b>Bia</b>	280	4

Ces fleuves transportent des matières dissoutes et des matières en suspension vers la mer. Des mesures faites par TASTET et al (1993) montrent que la turbidité en période de crue est de 3 à 6 mg/l et en période d'étiage de 0,4 à 0,7 mg/l. Il estime alors que les apports en suspensions des fleuves à l'océan sont en moyenne de 2,5 à 3 mg/l. Cela correspond pour le littoral à une exportation de matière solide de 150 000 à 200 000 t par an.

## **II –2 LE BASSIN VERSANT DU FLEUVE BANDAMA**

### **II – 2 – 1 présentation**

Le bassin du Bandama, du baoulé "Gbanda – ma" ce qui veut dire fils de la mer, est le plus long fleuve des quatre principaux fleuves de Côte d'Ivoire (1050 km). Son bassin versant est situé entièrement en Côte d'Ivoire entre les 3° 50 et 7° de longitude Ouest et les 3° 10 et 10°20 de latitude Nord. Sa superficie est de 97 500 km<sup>2</sup> ce qui représente environ un tiers (1/3) du territoire ivoirien. Il a une forme allongée de direction NNW – SSE. Le grand axe du bassin mesure 625 km et le petit axe 155 km soit un périmètre de 1556 km. Sa largeur se rétrécit progressivement vers le sud pour n'atteindre que quelques dizaines de mètres à l'embouchure. Sa longueur totale est de 1050 km. (Anonyme 1983)

Ce fleuve prend sa source dans le Nord du pays entre la région de Korhogo et Boundiali à environ 480 m d'altitude. Il coule d'abord d'Ouest en Est sur environ 200 km autour de Korhogo puis prend une direction sensiblement Nord – Sud à partir de la route Korhogo-Ferkessedougou. Son lit comporte beaucoup de méandres. Vers Marabadiassa, le Bandama présente des chutes de 1 à 2 mètres de hauteur.

Le bassin du Bandama est constitué par les bassins du N'Zi (35500km<sup>2</sup>) de la Marahoué ou Bandama rouge (24 300 km<sup>2</sup>) et du Bandama blanc. Le Bandama blanc, branche maîtresse orientale prend sa source au Nord de Sirasso ou Salakaha à la hauteur de Odyaha sous le nom de Lougomo. Cet affluent passe au Nord de Korhogo et de Sinématiali et se dirige vers le sud jusqu'à sa confluence avec le Bandama rouge après avoir alimenté le lac du barrage de Kossou.

Le Bandama rouge ou Marahoué (le you des Gouro) est la branche occidentale du fleuve. Long de 550 km pour une pente moyenne de 0,65 %, il prend sa source dans la région du mont Bougouri sous le nom de Kohoua ou Ba. Cet affluent est grossi par la Yani long de 202 km. La Marahoué, coupée de rapide, est peu navigable même pour les pirogues. Des crues assez fortes consécutives à la saison des pluies inondent ses rives. Sa confluence avec le Bandama blanc a lieu à 6 km environ en aval de Bonzi (à l'Est de Bouaflé). (Anonyme 1983)

Le N'Zi est le premier affluent important de la rive gauche. La longueur de son cours est de 725 km ; il prend sa source dans la région de Ferkessédougou à 400 m d'altitude. La pente moyenne de son cours est de 0,53%. Elle est relativement constante

A ces deux principaux affluents qui forment le Bandama, par leur rencontre, peu en aval de Bonzi (Yamoussoukro), on peut ajouter le Kan, le Séléougou, le Bou, le Béré, etc. L'exutoire en mer du fleuve se trouve à Grand Lahou.

## **II- 2 – 2 Les régimes climatiques du bassin versant du Bandama**

Sur le bassin versant du fleuve Bandama Coexistent trois régimes climatiques qui sont :

**le régime tropical de transition (climat soudanais)** caractérise le Nord du bassin. Sa limite méridionale se situe approximativement au niveau du parallèle 8°N. Ici, les précipitations annuelles sont assez abondantes (1250 à 1750 mm) et se regroupent principalement pendant les mois de juillet à septembre. De novembre à avril, la sécheresse est absolue. C'est la période de l'harmattan ;

**le régime équatorial de transition atténué (climat baouléen)** est typique de la région centrale du bassin du Bandama. Il est caractérisé par:

- une première saison des pluies de mars à juin avec environ 150 à 200 mm de pluie par mois ;
- une baisse des précipitations en juillet et août ;
- une seconde saison des pluies en septembre et en octobre irrégulière et abondante ;
- une saison sèche marquée de novembre à février comportant toutefois quelques précipitations isolées.

**le régime équatorial de transition (climat attiéen)** est le régime du sud du bassin. Il est caractérisé par :

- une saison des pluies d'avril à juillet très importante ;
- une petite saison sèche de juillet à septembre ;
- une seconde saison des pluies de septembre à novembre plus irrégulière ;
- une grande saison sèche de novembre à mars.

Ici, les hauteurs des précipitations annuelles varient de 1500 à 2500 mm.

## **II- 2 –3 Relief et géologie**

### *II- 2 –3 –1 Relief*

Sur le bassin versant du fleuve Bandama, le relief se présente comme une pénéplaine dont l'altitude varie entre 400 m au nord et moins de 50 m au sud (figure 4). Cette pénéplaine est entrecoupée de collines d'orientation SSW-NNE comme les collines de Fêtékro. La pénéplaine est aussi interrompue par des reliefs plus circonscrits (massifs granitiques ou composés de roches métamorphiques) appelées généralement inselbergs : Ce sont les collines de Hiré (au NW de Divo), les monts de Yaouré (à l'Est de Bouaflé), les monts fouimba (à l'Ouest de Séguéla), les monts Korhogo (autour de la ville de Korhogo), le

mont Niangbo (au Nord de Niakara) et les "Boka" du Centre Baoulé (Suiboka, Orumbo boka, Kokumbo et Taabo).

Dans le détail, du Nord au Sud, on distingue :

- entre 800 et 400 m, un paysage de plateaux très accidentés au NW et couronnés par les massifs de roches vertes des Monts Fouimba et Goma et entourés de glacis cuirassés ;

- entre 400 et 300 m, un ensemble de plateaux étagés dont la surface aplanie est renforcée par une cuirasse ferrugineuse. Quelques reliefs isolés interrompent cette planéité tels les inselbergs de Korhogo ou les collines de Fêtékro. C'est le domaine des hauts plateaux cuirassés ;

- entre 300 et 200 m une région au relief confus et qui correspond à la grande échancrure du "V" Baoulé. Elle est dominée par des buttes résiduelles tels l'Orumbo boka, le Kokumbo, le Blaffo-gueto, les monts Yaouré et le Taabo. Ces hauteurs dominant puissamment les pays alentours. Elles sont secondées par les collines baoulé au centre ;

- entre 200 et 100 mètres un paysage de reliefs peu vigoureux et plateaux mal élaborés. Ici, trois caractères se dégagent et qui renforcent la grande monotonie du paysage. Ce sont : la faible importance des volumes topographiques, la présence des eaux stagnantes et le substrat essentiellement schisteux ;

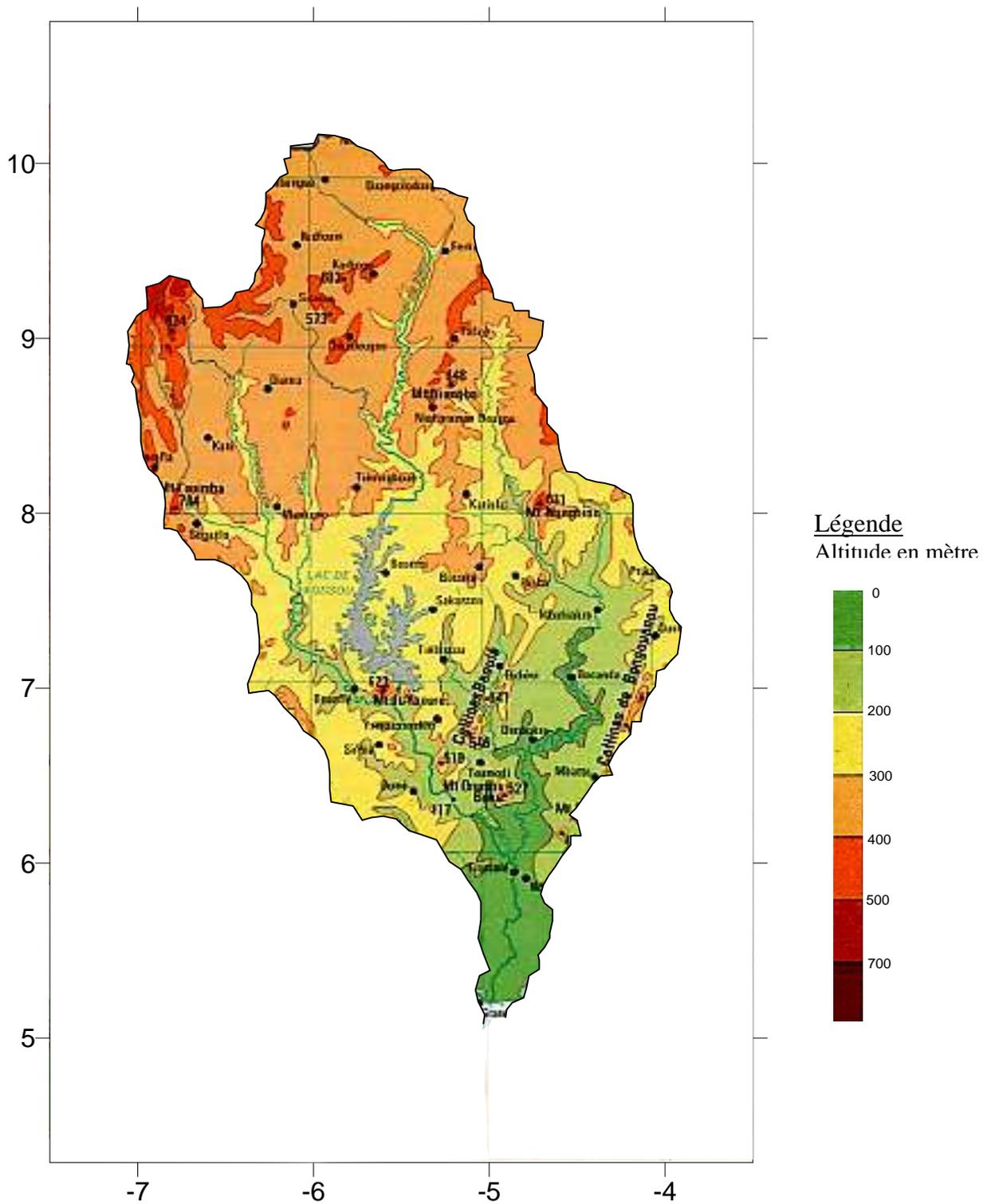


Figure 4 : Le relief du bassin versant du fleuve Bandama  
 (Source : Atlas de Côte d'Ivoire, 1978)

- en dessous de 100 m, le domaine des bas-plateaux qui correspond à la nappe de sédiments tertiaires argilo-sableuses recouvrant le socle. Ces bas-plateaux surplombent les lagunes par des talus en pente forte. Au pied de ces talus, s'étendent au sud des plaines alluviales de faibles extensions et l'ensemble lagunaire de grand –Lahou isolé par les apports alluviaux du Bandama.

L'altitude maximum sur le bassin versant est de 824 m (SW de Boundiali, Nord de Morondo) ; l'altitude minimum de 4,8 m (Grand Lahou). L'altitude moyenne est de 280 m. La pente moyenne du Bandama est de 0,46 % à Brimbo (centre Bandama)

### *II - 2 –3 -2 Géologie*

Sur le plan géologique, les principales roches qui constituent le substrat du bassin versant sont les suivantes : (figure5)

- les granitoïdes (granites, migmatites) : dans le secteur amont du bassin versant, Ces granites constituent de grands massifs orientés NNE-SSW. Dans ces granites, on distingue des granites éburnéens ou granites Baoulés, des granites homogènes dont le noyau le plus important se trouve au nord de la confluence du Yani et de la Marahoué. Les migmatites sont de très faibles extensions dans le bassin versant.

- les roches métamorphiques sont principalement des schistes arkosiques, des quartzites à texture schisteuse. Elles occupent le panneau sud-est du bassin versant. Ailleurs, elles dessinent des bandes plus ou moins continues de direction NNE-SSW. Généralement associées à ces schistes dans l'espace, les roches vertes, amphibolites et dolérites font aussi partie du substrat rocheux du bassin versant ;

- les sédiments argilo-sableux du tertiaire ("le continental terminal") et sableux du quaternaire sont confinés au sud du bassin versant où ils occupent une très faible étendue.

**Tableau 3** : lithologie et des cycles orogéniques du socle ivoirien

<b>Age (MA)</b>	<b>Ere</b>	<b>Etage stratigraphique</b>	<b>Cycle orogénique</b>	<b>Lithologie</b>
<b>1600 2500</b>	<b>Précambrien</b>	Protérozoïque Inférieur	Eburnéen1 Eburnéen 2	Granitoïdes, métavulcanites, plutonites, conglomérats
<b>2850 2900</b>		Archéen	Libérien	Migmatites, amphibolites, pyroxénites, charnokites, quartzites
<b>3500</b>		Catarchéen	Léonien	Gneiss gris

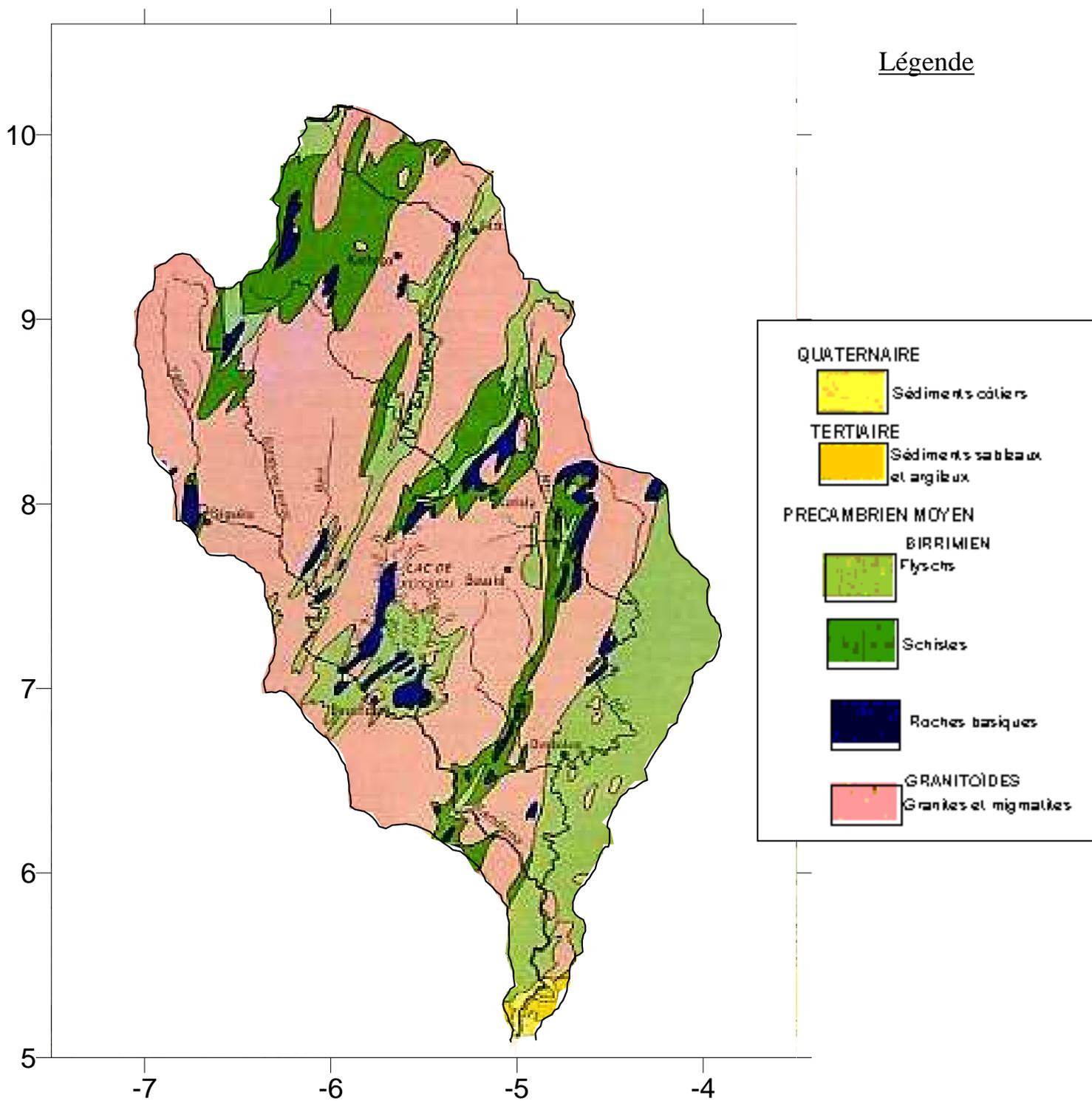


Figure. 5 : La géologie du bassin versant du fleuve Bandama  
(Source : Atlas de Côte d'Ivoire, 1978)

### **III CARACTERES HYDRODYNAMIQUES DU LITTORAL IVOIRIEN**

La distribution (spatiale et temporelle) des sédiments meubles ne peut être comprise que si leurs mécanismes de mise en place sont clairement déterminés.

Le processus de sédimentation sur un littoral directement sous influence maritime est marqué par l'action conjuguée ou antagoniste des agents dynamiques tels que : Le vent, la houle, la marée et la dérive littorale. "Ces agents provoquent des mouvements sédimentaires qui peuvent être soit des transports en suspension, soit des écoulements gravitaires" AKA, (1991). Le rôle de ces agents dans le processus sédimentaire varie d'un agent à l'autre et leur conjugaison sera de nature à renforcer leur efficacité.

Ce chapitre traitera du rôle de chaque agent dans le processus sédimentaire. Cependant, la situation particulière de la zone d'étude (interface entre trois milieux ; fluviale, lagunaire et marin) permet d'envisager l'analyse de ces agents dans le domaine maritime et fluviale, avant de présenter le résultat de l'action conjuguée de ces agents sur l'estuaire de Grand-Lahou.

#### **III -1 LE VENT**

Le vent intervient dans le processus de sédimentation en tant qu'agent de transport. Il permet de mettre en mouvement des particules élémentaires surtout les plus fines et laissera alors "dans les zones d'alimentation un résidu plus grossier".

Une étude réalisée par le L.C.H.F. (1950) illustre l'importance des transports éoliens en fonction de la vitesse du vent d'où la nécessité d'en tenir compte dans l'évaluation des mouvements sédimentaires (figure 6). Pour utiliser au mieux ce paramètre, il est important de tenir compte des statistiques de pluie, de la fréquence des grosses vagues qui mouillent l'ensemble de l'estran mais aussi de l'ensoleillement, paramètres qui influencent la mise en mouvement des particules solides.

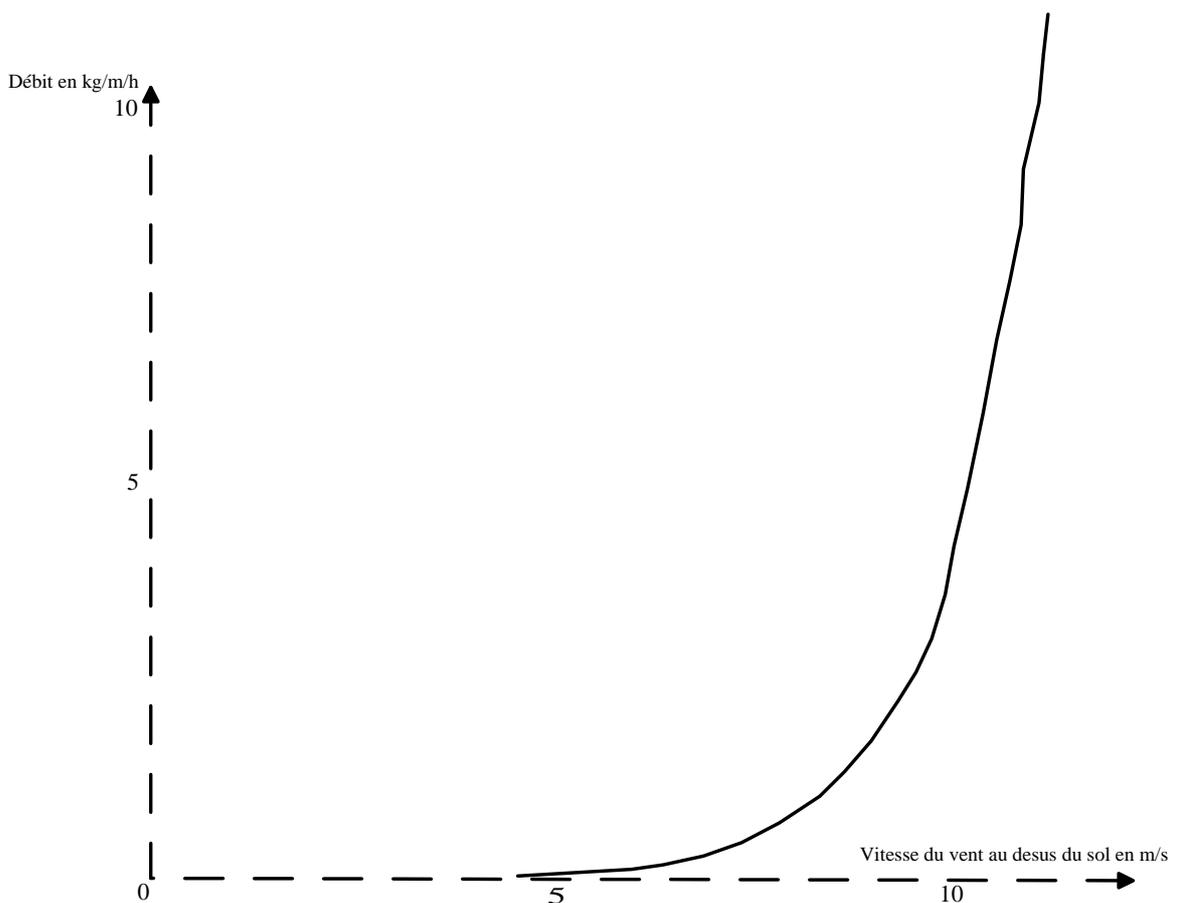


Figure 6: Débit solide en fonction de la vitesse du vent mesuré à 4,2 cm du sol L.C.H.F. 1950 in Claude Migniot 1982

Sur le littoral ivoirien, durant 10 mois de l'année, (mars à décembre) les vents dominants sur le littoral ivoirien ont une direction SW et SSW. Ils sont généralement faibles (3 à 4 mètres par seconde), réguliers, et caractérisés par un cycle journalier. Leur vitesse peut augmenter pendant l'été boréal (quatre à six mètres par seconde). Les vitesses moyennes varient entre trois à sept mètres pendant 65 % du temps (Figure 7). Ces vents, d'après la figure 6 soulèvent très peu de sables.

Pendant 2 mois dans l'année (de janvier à février) les alizés du Nord Est (aussi appelés Harmattan) soufflent du NNE et du NE. Malgré leur faible vitesse, ces vents sont chargés d'un volume important de sable et de poussière dans l'atmosphère.

Plus au large, des rafales violentes et de courte durée venant de l'Est apparaissent en avril, juin, septembre et octobre.

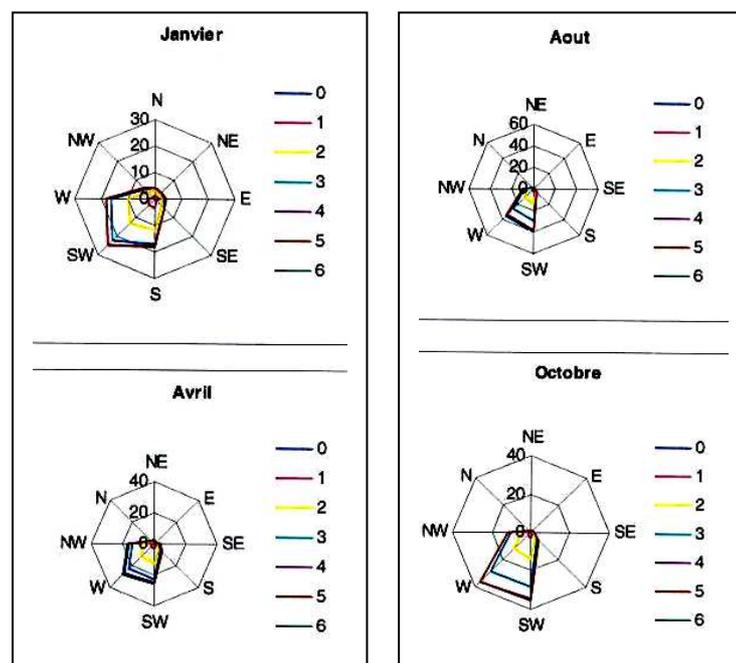


Figure 7: Régime des vents sur le littoral ivoirien (Anonyme 2001)

### III –2 LA MAREE

La marée sur les côtes ivoiriennes est de type semi-diurne à forte inégalité journalière.

Le marnage varie entre 0,40 m en marées de mortes – eaux et 1,3 m en marées de vives eaux.

Le niveau moyen de la mer d'après le (S.H.O.M.) est à la côte de 0,69 m.

### III – 3 LA HOULE

La houle est une succession de vagues engendrée par le vent mais se propageant sur des dizaines de kilomètre en dehors de la zone où il souffle. La vague résulte d'un mouvement ondulatoire ou chaque molécule d'eau est animée par un mouvement orbital. Derruau, (1972).

Les principaux agents dynamiques intervenant sur le littoral ivoirien sont la houle et le courant de dérive littoral qu'elle induit.

En tant que mouvement ondulatoire, la houle est caractérisée par : sa longueur d'onde, sa période, sa hauteur... (figure 8).

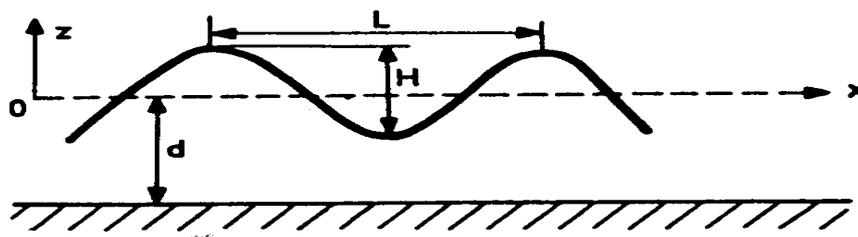


Figure 8 : schéma des paramètres de la houle

- **La longueur d'onde (L) ;**

C'est la distance horizontale comprise entre 2 points identiques pour deux vagues successives d'un train régulier de houle.

- **La hauteur (H) ou amplitude**

C'est la distance verticale entre la crête et le creux. Cette hauteur est le double de l'amplitude. La hauteur H de la houle est exprimée en  $H_{\max}$ ,

- **La période (T)**

C'est le temps d'accomplissement d'une longueur d'onde généralement compté entre le passage successif de deux crêtes.

- **Sa célérité (C)**

C'est la vitesse de propagation de la houle monochromatique.

- **La cambrure. ( $\zeta$ )**

Correspond à l'angle à la crête d'une vague.

$\zeta$ : hauteur de la Houle par rapport à l'axe 0x

Ces différents paramètres sont reliés par les formules suivantes :

**En eau profonde :**

$$C_o = gT / 2\pi = 1.56 T \text{ m/s} \quad (g = 9.81 \text{ et } \pi = 3.14)$$

$$L_o = gT^2 / 2\pi = 1.56 T^2 \quad (L_o = \text{longueur d'onde})$$

**En eau peu profonde :**

$$C = (g.H)^{1/2}$$

H = profondeur

$$L = T (g.H)^{1/2}$$

### III- 3- 1 Déformation des plans de houle à la côte

Pendant la réfraction l'énergie de la houle se dissipe selon la topographie du fond. Il n'y a pas de transport latéral d'énergie. Lorsqu'il y a un transport latéral d'énergie au droit d'un obstacle (diffraction) la houle contourne l'obstacle. La réfraction et la diffraction constituent avec la réflexion de la houle incidente sur une paroi verticale les 3 cas de déformation du plan de houle (figure 9).

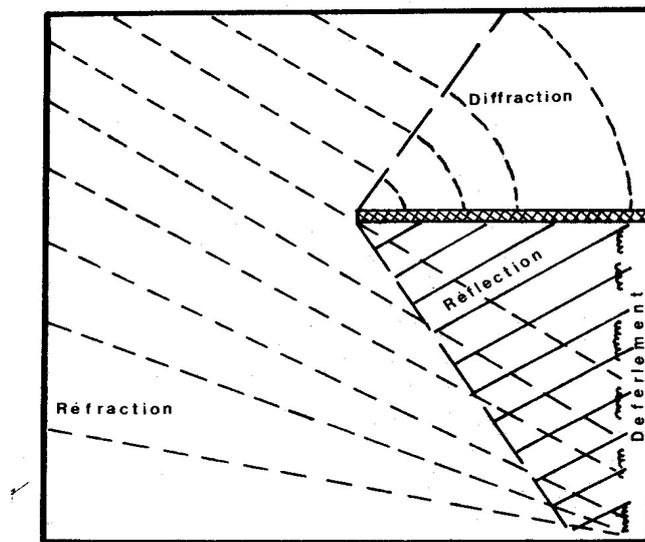


Figure 9 : Déformation de la houle au rivage (Baxerres, 1978 in Abé 1984 )

Le clapotis est le résultat de la combinaison de la houle incidente et de la houle réfléchie ou de la rencontre de la houle avec un courant.

Le "*Swash*" : la lame s'étant brisée, un violent mouvement d'eau se produit vers l'avant. C'est le "*uprush*". Sous l'action de la pesanteur et de l'infiltration, cette force s'atténue. L'eau redescend la pente selon un écoulement plus laminaire c'est le "*back-wash*". L'ensemble de ces deux mouvements "*uprush*" et "*back-wash*" constitue le "*swash*".

### III- 3 –2 Les courants induits par la houle

Ces courants sont responsables des mouvements sédimentaires du littoral. On distingue les courants côtiers et les courants littoraux parallèles et perpendiculaires à la côte.

- **les courants côtiers** se composent des courants de dérive dus au vent et au courant de marée ;

- **les courants littoraux :**

#### **Le courant de dérive littoral (*longshore curenents*)**

Le courant de dérive littorale est défini selon la direction de propagation de la houle à la côte. Il est maximal lorsque l'angle d'incidence avoisine les 45°. Ce courant entraîne parallèlement à la côte des sédiments en suspension. On peut lui associer le courant du *swash* (ascendant et descendant) qui assure un transport parallèlement à la côte en "dent de scie" sur l'estran

#### **Les courants de retour : "les *rip-currents*" et les "*undertows*"**

Les "*rip-currents*" sont des courants dirigés de la côte vers le large et dont l'écoulement est concentré sur une bande étroite ABE, (1984). Ces courants sont régulièrement espacés. Ils ont leur origine là où l'amplitude de la houle est la plus faible.

Les "*undertows*" sont des courants localisés près du fond. Après le déferlement, des masses d'eau s'accumulent le long de la côte puis retournent vers le large sous forme d'un courant proche du fond. Les "*rip-currents*" constituent avec les "*undertows*" les courants de retour.

#### **Le transport de masse**

Le transport de masse est dirigé du large vers la côte et est induit par la houle irrotationnelle. KOFFI, (1981). Un courant de compensation localisé à la mi-hauteur lui est associé. Ce courant est dirigé depuis le brisant vers le large.

### **Courant de jet de rive**

Lors de la projection de l'eau sur l'estran ou jet de rive produit par le déferlement de la houle, les sédiments sont remontés dans la direction de la lame. Pendant le flux par contre l'eau, en redescendant le long de la plage sous l'effet de la pesanteur, entraîne de nouveau les sédiments suivant la ligne de plus grande pente.

D'une manière générale, dans la zone littorale et côtière, les courants s'organisent selon deux directions :

#### **\* les courants parallèles à la côte.**

Ce sont :

- les courants côtiers ;
- les courants de dérive dus à la houle ("courant littoral") ;
- "le jet de rive associé à la houle oblique.

#### **\* les courants perpendiculaires à la côte. Ce sont :**

- les courants de compensation et de transports de masse ;
- les "*rip-courants*" et "*undertows*" ;
- le jet de rive associé à une houle normale ;

### **III- 3 – 3 La houle sur le littoral de Côte d'Ivoire**

Les houles qui attaquent le littoral ivoirien sont engendrées dans des secteurs très éloignés de la côte, dans l'Atlantique. Cette origine lointaine fait que leurs caractéristiques (période, amplitude, direction) sont rarement corrélées avec celles du vent qui souffle sur le littoral (QUELLENNEC 1984).

Cette lointaine houle présente les caractéristiques suivantes :

#### **Direction**

Les houles sur le littoral ont une direction Sud-Sud Ouest et Sud. La direction médiane est voisine de 200°.( figure 10 )

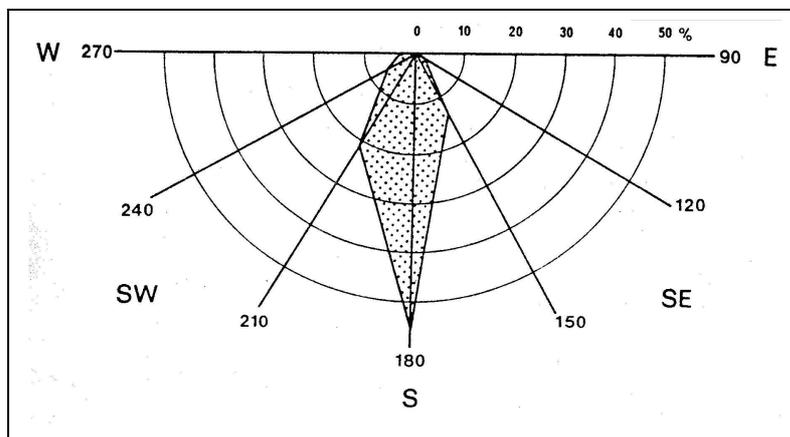


Figure 10 : Direction de la houle sur le littoral ivoirien (Anonyme 1978 in Tastet et al 1985)

### Période

La période de la houle varie en moyenne entre 10 et 11 seconde (Varlet 1958).

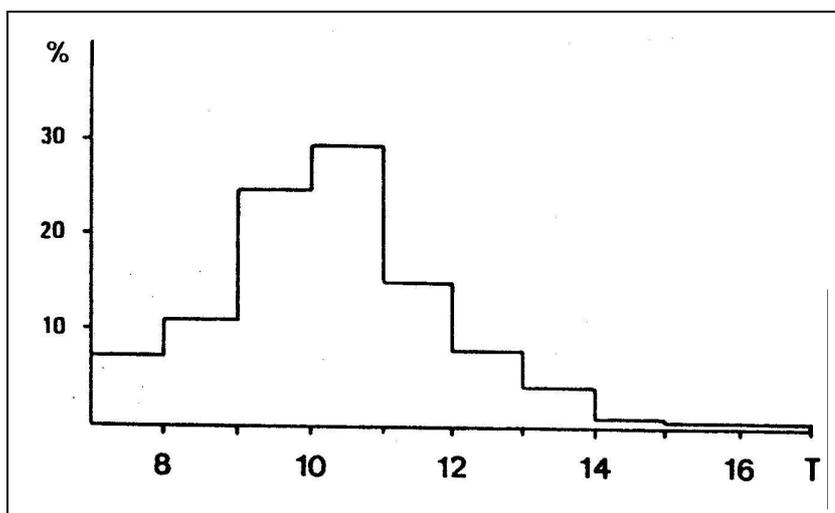


Figure 11 : fréquence des périodes des houles relevées sur fond de 20 m (Tastet 1985)

### Amplitude

**Tableau 4** : fréquences des houles par mois

Fréq. (%)	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	août	Sept	Oct	Nov	Dec
faibles	<b>45</b>	28	18	24	12	6	17	36	45	34	<b>51</b>	<b>58</b>
moyennes	45	<b>62</b>	59	53	42	53	55	48	41	53	44	37
fortes	10	10	23	23	<b>46</b>	<b>41</b>	<b>28</b>	16	14	13	5	5

Houles faibles	= amplitudes comprises entre 0 à 1 m
Houles moyennes	= amplitudes comprises entre 1 m et 1,8 m
Houles fortes	= amplitudes > 1,8 m

Les amplitudes des houles observées au large dépassent rarement 4 mètres. Les amplitudes des houles varient saisonnièrement. La période d'occurrence des fortes houles (période turbulente) est située en mai et en juin tandis que celle des houles faibles (période calme) est centrée sur novembre, décembre et janvier.

Des mesures faites par le Port d'Abidjan montrent une variation diurne avec une augmentation de l'amplitude aux premières heures de la journée jusqu'à 8 h et 10 h, suivie d'une diminution vers 16 heures ; puis une nouvelle augmentation entre 20 h et 22 h et à nouveau une diminution entre 2 h et 4 h.

Les fortes houles de grandes amplitudes et de longues périodes sont rares. Mais la mer est rarement calme (10% de calme selon anonyme 1978) selon Bonnefille et Cormault (1964), la probabilité pour qu'une houle dépasse 2,4 m sur une durée d'observation de 60 h est de 0,002. Cependant, l'on observe aussi des houles exceptionnelles de grandes amplitudes (5 m) et de longue période (20 s). Ces houles, souvent très destructrices sont pour la plupart répertoriées.

### **III- 3 – 4 La dérive littorale**

C'est un transport de sable parallèlement à la côte, généré par la houle le long du littoral. L'importance quantitative de cette dérive est fonction de la période et de la hauteur de la houle, mais aussi de la granulométrie du sable. Elle a une influence prépondérante sur les phénomènes de d'érosion et de dépôt et donc sur la morphologie de la côte. (Wognin, 1998).

La dérive littorale est selon Colin (1988), la résultante de deux systèmes de courants permanents et dont leurs mouvements en surface entraîne un important transport de sable. Ce sont :

- le courant guinéen de direction Est en surface (0 à 30mètre de profondeur) avec une vitesse moyenne et maximale respectivement de l'ordre de 0,26 et 1,03 m/s ;
- le sous courant ivoirien de direction ouest plus en profondeur avec une vélocité moyenne de 0,21 m/s.

D'une manière générale la dérive littorale estimée par Tastet et al 1985 sur le littoral ivoirien est d'environ 350 000 à 400 0000 m<sup>3</sup>/an d'ouest en est à l'ouest d'Abidjan.

## **IV- GENERALITES SUR LES ESTUAIRES**

### **IV – 1 DEFINITION**

Allen (1972) définit l'estuaire comme "un plan d'eau ouvert à l'océan d'un coté à une rivière de l'autre où il se produit une dilution de l'eau de mer par l'eau douce.

Pour Berthois (1962) un estuaire est le lieu de "l'équilibre fluvio-marin"

Un estuaire typique, selon Chamley (1988), correspond à la partie d'un fleuve où pénètre la marée dynamique (eaux salées et douces poussées par le flot), ainsi que la marée de salinité dont l'extension en amont est moindre. Dans les estuaires, les influences marines sont importantes particulièrement celles liées à la marée ; tandis que dans les deltas, les influences fluviales prédominent et déterminent une progression irrégulière du trait de côte vers le large.

Estuaires et deltas constituent donc une série continue d'ensembles sédimentaires à la limite des plaines alluviales et des bassins où les actions fluviales, celles des vagues et celles des marées se combinent et s'opposent. Dans une telle série, l'estuaire est considéré comme le terme extrême d'un appareil deltaïque soumis aux influences tidales.

Si, à une période de son histoire, un estuaire est marqué par la prépondérance des apports fluviaux, il tend à se colmater par l'amont et à se résoudre progressivement en un delta migrant vers le large.

Toutes ces définitions permettent de considérer la partie terminale du fleuve Bandama comme un estuaire.

## **IV– 2 HYDROLOGIQUE DES MASSES D’EAU**

Les mouvements alternatifs d’eau dans l’estuaire sont considérables et entraînent des débits instantanés importants qui "diminuent lorsqu’on s’éloigne vers l’amont pour s’annuler à la limite de la propagation de la marée".

Le débit fluvial est responsable des courants de chasse. Les courants de flots dépendent en partie de l’ampleur du marnage. Il est alors important de tenir compte des caractéristiques de l’eau douce et de l’eau marine dans l’étude hydrologique de l’estuaire.

### **IV– 2 –1 L’eau douce**

L’eau douce est emmenée dans l’estuaire par le fleuve Bandama. Le régime hydrologique de ce fleuve est soumis aux variations saisonnières de type équatorial de transition atténuée au sud (forestier) et tropical de transition au nord. Le fleuve présente ainsi une première crue venant du sud forestier entre juillet et août, une crue maximale en octobre et une période d’étiage entre mars et avril.

En étiage, le débit moyen du fleuve est de  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  (Lecolle 1972) ; tandis qu’en crue le débit atteint  $2000 \text{ m}^3/\text{s}$  (débits mesurés à Tiassalé, station intégrant 97 % du bassin et qui n’est pas perturbée par la marée dynamique) la salinité est nulle.

### **IV– 2 –2 L’eau marine.**

L’eau marine qui pénètre dans l’estuaire du Bandama a une salinité de 35‰. Le marnage varie entre 0,40 m en marées de mortes – eaux et 1,3 m en marées de vives eaux.

### IV - 3 LES LIMITES DE L'ESTUAIRE

Dans un estuaire, la marée entraîne des mouvements alternatifs de la masse d'eau qu'il contient. Un estuaire typique selon Chamley (1988), correspond à la partie d'un fleuve où pénètre la marée dynamique (eaux salées et douces poussées par le flot), ainsi que la marée de salinité.

Les mesures physico-chimiques et de remontée des eaux marines permettent de déterminer les limites de l'estuaire.

#### - Distance de pénétration de la salinité dans l'estuaire.

La salinité (S) à basse mer en un point situé à X km de l'embouchure est donnée par la relation suivante : Migniot, (1982)

$$\frac{S_x}{S_o} = \exp \left[ -\frac{V_f}{2D_o B} (X+B)^2 \right]$$

$S_x$  = Salinité en un point x de l'embouchure

$S_o$  = Salinité au large

$V_f$  = Vitesse du courant du fleuve

$B$  = Distance à l'embouchure pour laquelle la salinité devient égale à celle de l'océan

$D_o$  = Coefficient de diffusion saline à l'embouchure.

$X$  = Distance entre l'embouchure et le point de mesure

A une distance X de l'embouchure, le coefficient de diffusion saline est de :

$$D_X = D_o \frac{B}{X + B}$$

D'après cette formule, on constate que la pénétration de la salinité sera d'autant plus importante que le débit fluviale sera grand et que la profondeur moyenne sera plus faible.

## **IV – 4 LES DIFFERENTS TYPES D'ESTUAIRES**

La rencontre des eaux marines et des eaux douces détermine des gradients horizontaux et verticaux de salinité dont les caractères dépendent principalement du débit fluvial, du marnage, de l'évolution saisonnière et de la morphologie estuarienne (Pritchard et Carter in H Chamley, 1988). Cette intrusion saline dans l'estuaire peut se faire de trois façons différentes ce qui permet de distinguer trois (3) types d'estuaire : (figure 12)

### **IV – 4 – 1 Estuaire de type stratifié.**

L'intrusion peut se faire sous forme d'un coin salé bien différencié si aucun mélange ne se produit. Ce sont les estuaires à coin salé. Ici, le fort débit du fleuve lui confère une forte puissance pour vaincre celle de marée. Ainsi, l'eau douce plus légère, s'écoule au-dessus de l'intrusion marine. Des échanges peuvent se produire à l'interface mais ne perturbent pas la stratification et le gradient de salinité reste élevé. L'écoulement de l'eau salée au fond se fait vers l'amont sur environ le tiers ou le quart de la hauteur de la tranche d'eau, avec une vitesse décroissante (Anonyme 2000). A l'extrémité amont de l'intrusion marine, le point nodal est le point de convergence où s'annule le courant de fond qui remonte l'estuaire et le courant fluvial qui, sur toute la tranche d'eau, le descend.

### **IV – 4 – 2 - Estuaire de type partiellement mélangé**

- l'intrusion se fera par stratification si un mélange partiel de l'eau de mer et de l'eau douce se produit. Ici, la turbulence provoquée par les courants de marées détruit l'interface supérieure du coin salé et de l'eau douce ce qui favorise les échanges verticaux. Ce sont les estuaires partiellement mélangés. Dans ce cas, le débit du fleuve est plus faible. La stratification de la colonne d'eau est néanmoins très réduite. L'écoulement moyen résiduel tend à se diriger vers l'aval sur toute la hauteur d'eau.

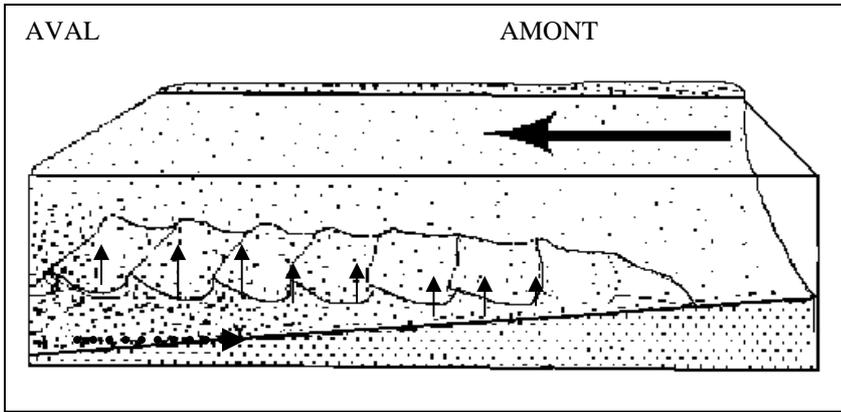
#### **IV – 4 – 3 Estuaire de type verticalement homogène ou bien mélangé**

- Lorsque les courants de marée sont importants par rapport au débit fluvial, l'intrusion se fera sans stratification ou avec une faible variation verticale de la salinité. Ce sont les estuaires bien mélangés. Ici les mélanges sont intenses. La salinité ne varie pas ou varie très peu avec la profondeur. L'on note cependant un gradient de salinité horizontal croissant vers l'aval. (Anonyme 2000).

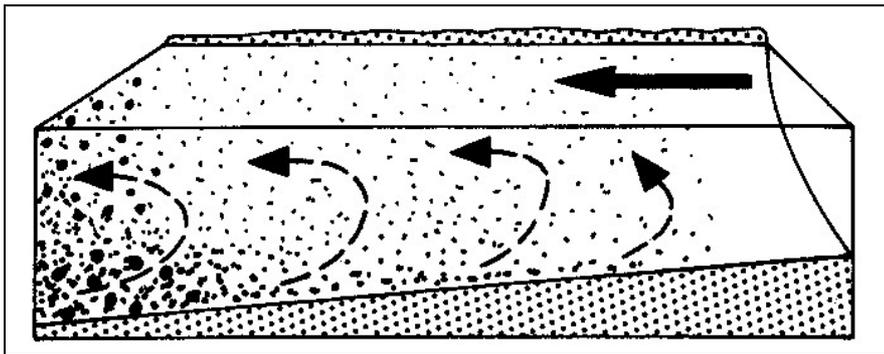
#### **IV – 4 – 4 Estuaire de type verticalement et latéralement homogène**

A ces trois types d'estuaires précités, l'on peut ajouter l'estuaire de type verticalement et latéralement homogène où les influences marines sont quasiment exclusives sur la sédimentation. C'est le cas des baies étroites à peu d'apports fluviaux où seul existe encore un gradient horizontal souvent modéré de salinité.

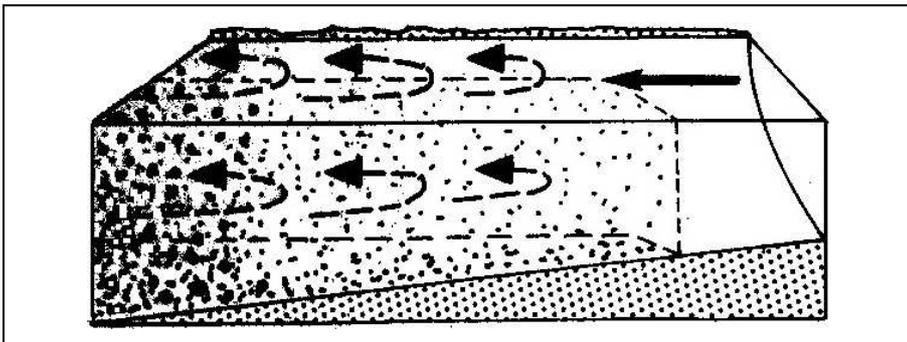
Dans un estuaire donné, les types de circulation 1 à 2 et 2 à 3 peuvent coexister selon la période de l'année (Allen et al., 1981). Aussi, la série 1 à 4 reflète-t-elle le passage continu des conditions extrêmes deltaïques à estuariennes.



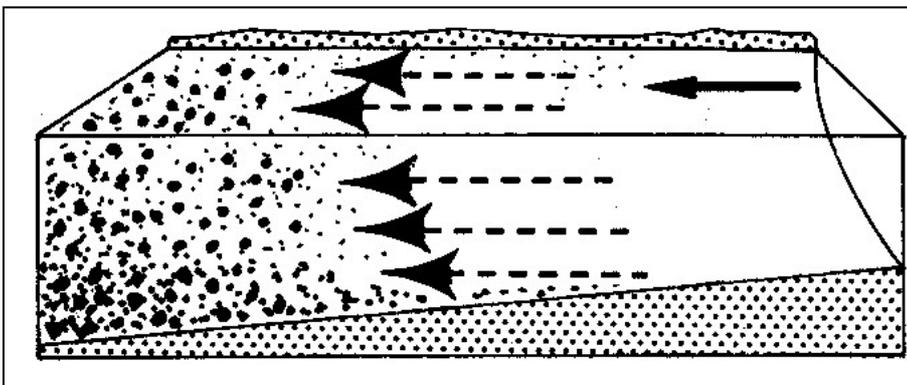
A : Estuaire de type stratifié



B : Estuaire partiellement mélangé



C : Estuaire verticalement homogène



D : Estuaire homogène

- - - - - → Courants de marée  
 ————— → Courant fluvial

Figure : 12 : Les différents types de circulation des eaux estuariennes (Chamley 1998)

## **IV- 5 PHENOMENE DE FLOCCULATION DES PARTICULES FINES**

La floculation est la propriété pour les fines particules de se prendre en agrégats de dimensions très supérieures à celles des éléments qui la constituent. Les particules argileuses s'attirent en fonction des charges électriques régnant à leur surface pour former des flocons enfermant une certaine quantité d'eau. L'état des particules ainsi groupées est appelé "état de floculation".

La floculation est directement liée à la vitesse de chute des particules. Ainsi, "alors qu'une particule élémentaire de vase de  $1\mu\text{m}$  a une vitesse de chute de  $0,001\text{mm/s}$  c'est à dire qu'elle mettra 120 jours pour parcourir en eau calme une hauteur de 10 m, elle aura à l'état floculé une vitesse moyenne de chute comprise entre  $0,1$  et  $0,8\text{ mm/s}$  et pourra donc décanter sur une hauteur de 10m en 5 h environ." . (MIGNIOT, 1982)

L'état de floculation varie dans le temps et dans l'espace. Les variations sont sous la dépendance de la température, de la salinité, de la concentration en matières en suspension, de la teneur en matières organiques et de l'agitation mécanique due aux turbulences.

Dans les conditions naturelles, les facteurs les plus déterminants sont le gradient de salinité et l'importance des matières organiques qui agissent par voie chimique ou par voie mécanique comme liant entre les particules.

### **IV- 5 –1 Variation de la floculation et de la vitesse de chute en fonction de différents paramètres**

La floculation et la vitesse de chute varient en fonction :

- de la concentration en particules
- de la salinité des eaux

Outre la concentration en particules solides et la salinité de l'eau, l'intensité de la floculation dépendra aussi des caractéristiques des particules (dimension, nature chimique et minéralogique, charge électrique (potentiel zéta.)) ; et des caractéristiques du milieu (concentration électrolytique, valence des ions, température...).

## V- GENERALITES SUR LES PROFILS DE PLAGES

Les plages représentent les zones littorales directement exposées à l'action prépondérante des vagues avec des marées d'amplitudes variées (Chamley, 1988).

Les matériaux, tout comme la morphologie des plages subissent un remaniement permanent. Ainsi, leur caractéristique sédimentologique et leur morphologie en un instant donné dépendent-ils des caractéristiques des vagues à cet instant.

Larras, (1956) souligne : *"La mer passe son temps à remuer et reclasser les matériaux sans arrêt. Mais l'on peut définir à tout instant un profil limite (dit profil d'équilibre) sur lequel la surface des matériaux tendrait à s'adapter si la houle conservait indéfiniment les mêmes caractéristiques et la même orientation."*

En règle générale, *la plage s'érode pendant les périodes de fortes agitations et s'engraissent pendant les périodes de faibles agitations. L'estran s'érode au profit de la plage sous-marine qui s'engraisse et ce matériel est accumulé en partie sur la plage dans les périodes de beau temps.* (King, 1959).

Le profil typique d'une plage basse sableuse comprend de la côte vers le large (figure 13) :

- une zone terrestre, souvent formée de dunes éoliennes : la haute-plage ou arrière-plage (*back shore*) occupée par la mer que lors des tempêtes ou des marées de vives eaux et qui correspond au domaine supratidal ainsi qu'aux communautés biologiques (biocœnoses) caractéristiques de l'étage supra littoral. (Peres, 1961 in Chamley 1988) ;

- la plage proprement dite ou estran (*fore shore*) située entre les niveaux moyens de haute mer et de basse mer (domaine intertidal ; biocœnose de l'étage medio littoral) ;
- l'avant plage ou prisme littoral (*shore face*), dont la partie supérieure est découverte lors des basses mers de vives eaux et dont la partie inférieure subit encore l'action des vagues contre le fond (début du domaine infratidal, étage infralittoral) ;
- la zone de transition soumise aux vagues de tempête contre le fond, et qui passe vers le large aux dépôts plus ou moins envasés de la plate forme continentale proprement dite (*offshore*, biocœnoses de l'étage circalittoral).

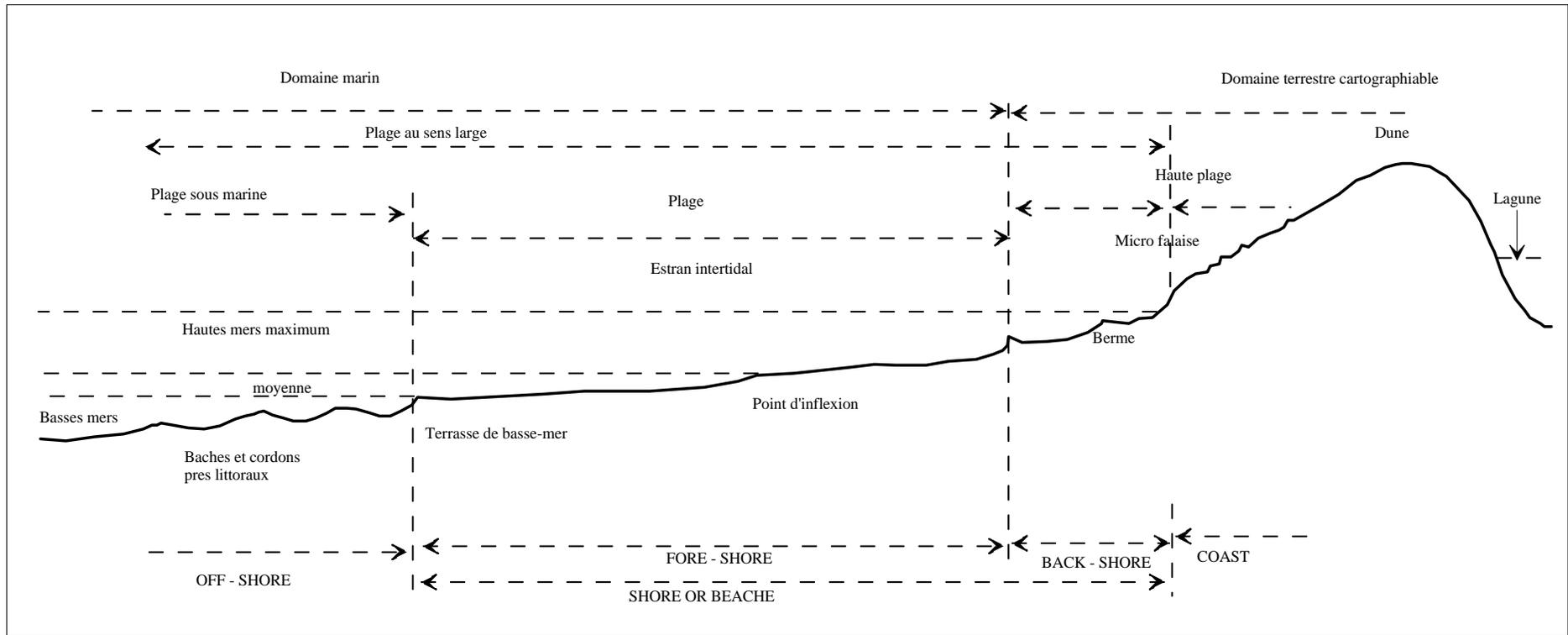


Figure 13: Morphologie d'une plage typique (Derreau, 1972)



Les bermes, les sillons et les crêtes pré littorales sont observables en vue cartographique sur l'estran. La barre et la fosse de lévigation restent constamment immergées dans le domaine de la plage sous-marine.

Les croissants de plages sont des formes particulières qui selon Boye (1954), sont dus à la présence d'irrégularités topographiques sur l'estran. Guilcher (1949), Berthois (1953) définissent ses formes comme étant des amas résultant d'accumulation de matériel grossier par les vagues du jet de rive. Arbey (1961), met en évidence une différence de granulométrie entre les creux et les cornes : les cornes formées de matériels grossiers et les creux de sédiments fins.

L'apparition ou la disparition de ces structures tout comme les formes de l'estran sont ainsi liées aux conditions d'agitation de la mer.

# CHAPITRE II

## **MATERIELS ET METHODES**

**I – MATERIELS**

**II - METHODES**

La méthodologie mise en œuvre dans ce travail a consisté à l'analyse et à l'interprétation au laboratoire de données recueillies sur le terrain. Ces données concernent les mesures physico-chimiques, l'analyse d'échantillons (eaux, sédiments), des témoignages, des observations directes....

La méthode d'étude étant différente pour chaque thème, l'exposée portera :

- d'abord sur le matériel utilisé pour l'ensemble de l'étude;  
- puis sur la méthode mise en œuvre pour chaque thème abordé. Cette méthode comportera ainsi :

- la méthode de l'analyse sédimentologique des milieux précités ;
- la méthode d'analyse de la morphologie de l'estuaire et des plages environnantes ;
- la méthode d'étude des caractères physiques et chimiques de l'estuaire ;
- et enfin la méthodologie mise en œuvre pour l'étude de l'érosion à Grand-Lahou.

## **I –MATERIEL**

La réalisation des travaux a nécessité le matériel suivant :

### **I – 1 SUR LE TERRAIN**

- une carte topographique au 1/50 000 ;
- une embarcation à moteur pour les déplacements sur la lagune ;
- un récepteur GPS (Système de Positionnement Global), modèle "GARMIN GPS 12 pour nous positionner ;
- un échosondeur "Lowrance, modèle LMS-160 et GlobalMap™ 1600", pour effectuer le levé bathymétrique ;
- un théodolite pour effectuer les profils de plage ;

- une bouteille hydrologique ;
- des bidons et des sachets plastiques pour le conditionnement des échantillons d'eau et de sédiments ;
- une benne Van Veen ;
- un pH-mètre portatif WTW 82362, série n°01400024 pour mesurer le pH, la température, la salinité, la conductivité et le TDS.

## **I- 2 AU LABORATOIRE:**

Les échantillons ont été analysés au laboratoire de géologie marine et de biodynamique des sols au Centre de Recherche en Ecologie (CRE).

- une tamiseuse vibrante de modèle D407-020 avec une colonne de seize tamis AFNOR pour tamiser les sables ;
- un banc de filtration pour la détermination des charges solides en suspension ;
- des filtres WHATMAN circulaires de 47 mm de diamètre et de porosité 0,45  $\mu\text{m}$  ;
- une étuve de modèle ECOCELL 111 pour le séchage des échantillons ;
- une balance électronique Sartorius 211D de précision 0,1 mg pour la pesée des échantillons ;
- des photos aériennes et des images satellitaires de la zone d'étude ;
- un stéréoscope ;
- une loupe binoculaire ;
- un ordinateur muni de logiciels de cartographie (SURFER MAP INFO ).

## **II – METHODES**

Après une visite sur le site, trois zones d'étude ont été retenues en fonction de leur valeur écologique et surtout leur dynamique sédimentaire. Il

s'agit de l'estuaire du fleuve Bandama (l'embouchure jusqu'à 70 km en amont), d'une partie des lagunes Tagba et Nyouzoumou et des cordons littoraux adjacents.

Les cordons littoraux ont été retenus pour suivre la morphologie et la granulométrie des sables en raison des intenses activités géomorphologiques qui ont occasionné le déplacement de la ville de Grand-Lahou. Sur le cordon, nous avons repéré et nommé les points de départ des profils de plages.

Au niveau de la lagune et du fleuve Bandama des levés bathymétriques, des prélèvements d'eau et de sédiments, des mesures physico-chimiques y ont été effectuées.

## **II – 1 METHODES D'ETUDE SEDIMENTOLOGIQUE**

### **II – 1 - 1 Prélèvement**

L'étude sédimentologique s'est faite principalement à partir de l'analyse d'échantillons de sédiments ou d'eaux prélevées sur la zone d'étude. Plusieurs méthodes de prélèvement ont été utilisées :

#### **II – 1 - 1 -1 Prélèvement d'eau ;**

Le prélèvement des échantillons d'eau s'est fait à l'aide d'une bouteille hydrologique dont la capacité est de deux (2) litres. Pour la navigation, nous avons utilisé essentiellement une embarcation à moteur (zodiac). Les prélèvements sont faits suivants les radiales tracées lors de l'étude bathymétrique. Sur chaque radiale, trois prélèvements sont faits : deux (2) sur les rives et un (1) dans le chenal principal. En chaque point d'échantillonnage, le prélèvement se fait à la fois en surface, en mi-profondeur et en profondeur, en notant la profondeur à laquelle le prélèvement a eu lieu. Dans le fleuve, le prélèvement en profondeur est difficile en certains endroits (chenal principal) à cause de l'action du courant qui tend à entraîner la bouteille. Les échantillons ont

été conditionnés dans des bidons et numérotés. Sur l'ensemble de la zone parcourue, 112 échantillons ont été prélevés.

#### *II – 1 - 1 -2 Prélèvement de sédiment*

Le prélèvement de sédiments du fond s'est effectué dans les mêmes conditions que celui des échantillons d'eau c'est à dire suivant les radiales tracées lors de l'étude bathymétrique. Trois prélèvements ont lieu : deux (2) sur les rives, et un autre dans le chenal. Ainsi, sur l'ensemble de l'estuaire, 41 échantillons ont-ils été prélevés à la benne Van Veen, (annexe 1). Ce type de prélèvement (à la benne Van Veen) à l'avantage de remonter à la surface des sédiments très peu perturbés et non lessivés. Quelques échantillons ont été prélevés au cône Berthois lors de la première mission et par des prises directes au niveau des petits fonds ou sur les sols nus.

#### *II – 1 - 1 -3 Positionnement*

Tous les points de mesure ont été repérés à l'aide d'objets fixes mais surtout au moyen du GSP. A chaque station, les coordonnées géographiques sont relevées. Le GPS donne continuellement les coordonnées géographiques d'un point donné. il faut s'assurer qu'au moins 4 satellites sont «visibles» sur l'appareil. On admet généralement que le positionnement par GPS de ce type a une précision d'environ 50 mètres.

#### *II – 1 - 1 -4 Stockage et la conservation des échantillons*

Suivant le type d'analyse entreprise et les résultats désirés, les échantillons sont stockés différemment.

Les sédiments destinés à l'analyse granulométrique prélevés à la benne Van Veen dans l'estuaire et ceux échantillonnés par prise directe sur les cordons

littoraux sont soigneusement conservés dans des sacs plastiques étiquetés à la température ambiante.

Les échantillons d'eau destinés à l'étude des matières en suspension sont quant à eux conservés dans des bidons à la température de 4°C pour une meilleure conservation.

Les méthodes de traitement et d'analyses des échantillons varient suivant les types d'études envisagées.

## **II – 1- 2 Analyse des échantillons**

### *II – 1- 2 - 1 Description visuelle des sédiments*

Au laboratoire, chaque sédiment a fait l'objet d'une description visuelle et tactile. Il s'agit de préciser pour chaque échantillon sa nature lithologique, sa couleur, la présence ou non de débris animaux et/ou végétaux, l'estimation tactile de l'abondance et le type de grains de sable présents dans le sédiment. La couleur du sédiment est un indice important dans la description de celui-ci. Ainsi, pour plus d'objectivité dans la nomenclature, avons-nous utilisé l'échelle standard de coloration publiée par "*the geological Society of america* (McManus 1988). Ces couleurs sont répertoriées dans un carnet "*Rock-color chart* (USA).

### *II – 1- 2 – 2 Granulométrie*

#### **Traitement préalable des échantillons**

Cette opération a consisté à séparer la fraction sableuse de l'échantillon en vue de l'analyse granulométrique. Les échantillons lavés au tamis de 63 $\mu$  sont attaqués à l'eau oxygénée et à l'acide chlorhydrique afin de déterminer leur teneur en carbonate et en matière organique.

La teneur en carbonate ainsi que la teneur en matière organique sont calculées par rapport au poids du sédiment supérieur à 63 $\mu$ m. Les poids des carbonates ou

des matières organiques sont donnés par la différence du poids de sédiment brut et du sédiment obtenu après passage à l'acide chlorhydrique et à l'eau oxygénée.

$$\% \text{ de carbonate} = \frac{\text{poids de carbonate}}{\text{poids de sédiment}}$$

$$\% \text{ de matière organique} = \frac{\text{poids matière organique}}{\text{poids de sédiment}}$$

### **Analyse granulométrique des sables**

L'analyse granulométrique a été faite à partir de 100 grammes de sédiment sec préalablement lavé puis traité à l'acide chlorhydrique et à l'eau oxygénée. Chaque échantillon subit une granulométrie complète réalisée à l'aide d'une colonne de 15 tamis de la série (AFNOR) (annexe 1). La masse de chaque refus de tamis et celle de la fraction inférieure à 64 $\mu$ m sont mesurées. Ces différentes séparations granulométriques effectuées conduisent à déterminer l'abondance des fractions suivantes selon la classification de Wentworth.

Seule la fraction granulométrique supérieure à 63  $\mu$ m a été étudiée car nous ne disposons pas de matériel adapté à l'étude des sédiments fins.

#### **- Construction des courbes granulométriques**

Nous avons utilisé les courbes cumulatives semi-logarithmiques pour représenter les paramètres granulométriques. La courbe cumulative semi-logarithmique s'obtient en portant en ordonnée les refus cumulés de chaque tamis. Sur l'axe des abscisses (une graduation logarithmique) sont portés les diamètres des tamis. Selon BERTHOIS (1975) la courbe semi-logarithmique fournit une image plus fidèle du dépôt des sédiments par un courant d'eau dont la vitesse va en décroissant puisqu'elle représente d'abord les sédiments grossiers qui se sont déposés les premiers, puis les sédiments fins constituant le terme ultime du dépôt. De plus, ce mode de représentation est très pratique parce que lorsqu'il n'y a qu'un petit nombre d'échantillon à comparer, l'examen direct des

courbes granulométriques permet souvent de séparer des classes granulométriques et de faciliter l'interprétation sédimentologique.

Les résultats granulométriques permettent dans un premier temps de faire une analyse des pourcentages de chacune des fractions ci-dessous :

Fraction A :  $\emptyset > 500 \mu\text{m}$

Fraction B :  $500 \mu\text{m} > \emptyset > 200 \mu\text{m}$

Fraction C :  $200 \mu\text{m} > \emptyset > 100 \mu\text{m}$

Fraction D :  $\emptyset < 63 \mu\text{m}$

- paramètres granulométriques (rappel)

La méthode de détermination des différents paramètres utilise les "fractiles" (dimension de particules correspondant à des pourcentages cumulatifs déterminés. Rivière (1977). Celles utilisées sont :

Les quartiles  $Q_{25}$ ,  $Q_{50}$  et  $Q_{75}$  correspondant respectivement à 25%, 50% et 75%

Les "déciles"  $Q_{10}$  et  $Q_{90}$  " 10% et 90%

Les "pentiles"  $Q_5$  et  $Q_{95}$  " 5% et 95 %

Les " fractiles" dits "écarts types"  $Q_{16}$  et  $Q_{84}$  " 16% et 84%

Pour plus de commodité certains "fractiles" seront exprimés en unité

$$\Phi (\Phi = -\log_2 d_{(\text{mm})}).$$

#### \* Moyenne

La moyenne détermine le grain moyen d'un sédiment. Elle permet d'identifier les principaux stocks sédimentaires. Elle est définie par la relation suivante : (Folk & Ward 1957 in A. Rivière 1977)

$$M_z = \frac{Q_{16} + Q_{50} + Q_{84}}{3} \quad (\text{Q en unité } \Phi)$$

Les limites des classes sont données par les intervalles suivants :

$M_z > 500$	$(M_z < 1 \Phi)$	Sables grossiers
$500 > M_z > 250$	$(1\Phi > M_z > 2\Phi)$	Sables moyens
$250 > M_z > 125$	$(2\Phi > M_z > 3\Phi)$	Sables fins

125 > Mz > 63	(3Φ > Mz > 4Φ)	Sables très fins
Mz < 63	(Mz > 4 Φ)	Silts et argiles

\* Ecart types (ou *standard deviation*)  $\sigma$

L'écart type ( $\sigma$ ) représente la mesure statistique de la dispersion autour de la moyenne d'une courbe gaussienne, (Weber 1978). Cette mesure caractérise le degré de classement de l'échantillon. On en déduit la dispersion des tailles par rapport à la moyenne.

$$\sigma = \frac{Q_{84} - Q_{16}}{4} + \frac{Q_{95} - Q_5}{6,6} \quad (\text{Q étant exprimé en unité } \Phi)$$

La classification adoptée pour nos interprétations est basée sur les travaux de Friedman 1962 et 1967.

$\sigma < 0,35$	Sables très bien classés
$0,35 < \sigma < 0,5$	Sables bien classés
$0,50 < \sigma < 0,80$	Sables modérément classés
$\sigma > 0,80$	Sables mal classés

\* Skewness ou dissymétrie

Le skewness traduit le degré d'asymétrie de la courbe de distribution par rapport à la médiane. Il détermine la prépondérance ou non d'éléments grossiers ou fins dans le sédiment. Sa valeur positive traduit une prépondérance d'éléments fins; Inversement, un skewness négatif traduit la prépondérance d'éléments grossiers. Dans le cas d'un échantillon sableux, l'asymétrie sera positive lorsqu'il a un enrichissement en particules fines mal triées. L'asymétrie sera négative lorsque l'échantillon est enrichi en particules grossières mal triées. Il y a symétrie lorsque le skewness est compris entre  $- 0,10$  et  $0,10$ . (Folk & Ward 1957) préconise la distribution suivante :

$+ 0,10 < Sk < + 1,00$  positif : asymétrie vers les petites tailles

+ 1,00 <Sk < + 0,30	très positif : forte asymétrie vers les petites tailles
- 0,1 <Sk < +0,1	symétrie granulométrique de l'échantillon
- 0,10 >Sk > - 0,30	négatif : asymétrie vers les grandes tailles
- 0,30 >Sk > - 1	très négatif : forte asymétrie vers les grandes tailles

\* Angulosité (kurtosis ou degré d'acuité)

Ce paramètre exprime l'angulosité de la courbe de fréquence, c'est à dire qu'il mesure le degré de concentration ou de dispersion du mode. Plus la valeur est élevée, plus la taille est homogène. Le mode est alors très représentatif de la population considérée. Ainsi, lorsque :

$k > 3$	courbe est extrêmement leptocurtique
$1,5 > k > 3$	courbe très leptocurtique
$1,11 > k > 1,5$	courbe leptocurtique
$0,9 > k > 1,11$	courbe curtique
$0,67 > k > 0,9$	courbe platycurtique
$k > 0,67$	courbe très platycurtique

- Cartographie des paramètres

Les différents paramètres et les fractions granulométriques ainsi identifiées donneront lieu à différentes cartes indépendantes selon la méthode de représentation préconisée par (LISICYN, 1959) et (CURRAY, 1960 in Abbé 1984).

Cette méthode de représentation demande des précautions aussi bien dans le report des valeurs de pourcentage que dans le tracé des secteurs d'iso pourcentage (ABBE, 1984); car des échantillons ayant le même pourcentage pour une fraction granulométrique donnée peuvent correspondre à des sédiments différents : les uns ayant leur mode décalé vers les grossiers et les autres ayant leur mode décalé vers les fins. Le tracé des secteurs d'iso pourcentage doit alors en tenir compte et différencier ces différentes familles de sable.

## **II – 2 LEVE BATHYMETRIQUE**

Pour suivre l'évolution de la morphologie de l'estuaire et du fleuve Bandama, il a été effectué des levés bathymétriques. Le levé bathymétrique consiste à mesurer les profondeurs du plan d'eau. Cette opération a été réalisée au moyen de l'échosondeur équipé d'un GPS (annexe1)

Sur l'estuaire, les mesures ont été effectuées suivant des radiales perpendiculaires au rivage. Ces radiales sont espacées de 50 à 100 mètres. Une radiale parallèle au rivage a été réalisée pour vérifier les données grâce aux points d'intersection entre les radiales perpendiculaire au rivage et celle parallèle au rivage.

Au laboratoire, les différentes données obtenues (valeurs enregistrées) sont corrigées et traitées au moyen du logiciel SURFER pour établir la carte bathymétrique du plan d'eau.

Ces corrections concernent la profondeur d'immersion du transducteur et le marnage. A chaque point, la profondeur réelle est obtenue après avoir ajouté à la profondeur lu sur l'échosondeur la profondeur d'immersion du transducteur, et après avoir ajouté ou retranché le marnage. La correction marégraphique a été faite à partir de l'annuaire des marées de 2001 des ports d'Outre-mer du S.H.O.M.

Le niveau de côte de référence pour toutes les levés est le phare ( point géodésique) dont la côte est de 11 m.

## **II - 3 MORPHOLOGIE DES PLAGES**

Pour suivre l'évolution de la morphologie des plages, nous avons effectué des profils de plage ou levés topographiques. Le profil de plage renseigne sur la morphologie de la plage au moment du relevé. Cette opération est réalisée au moyen d'un ensemble théodolite, mire et trépied. (annexe 1.).

Le théodolite, bien horizontalement posé sur le trépied au point de mesure ou point zéro sert à viser la mire, qui elle est placée de proche en proche sur les points caractéristiques du profil.

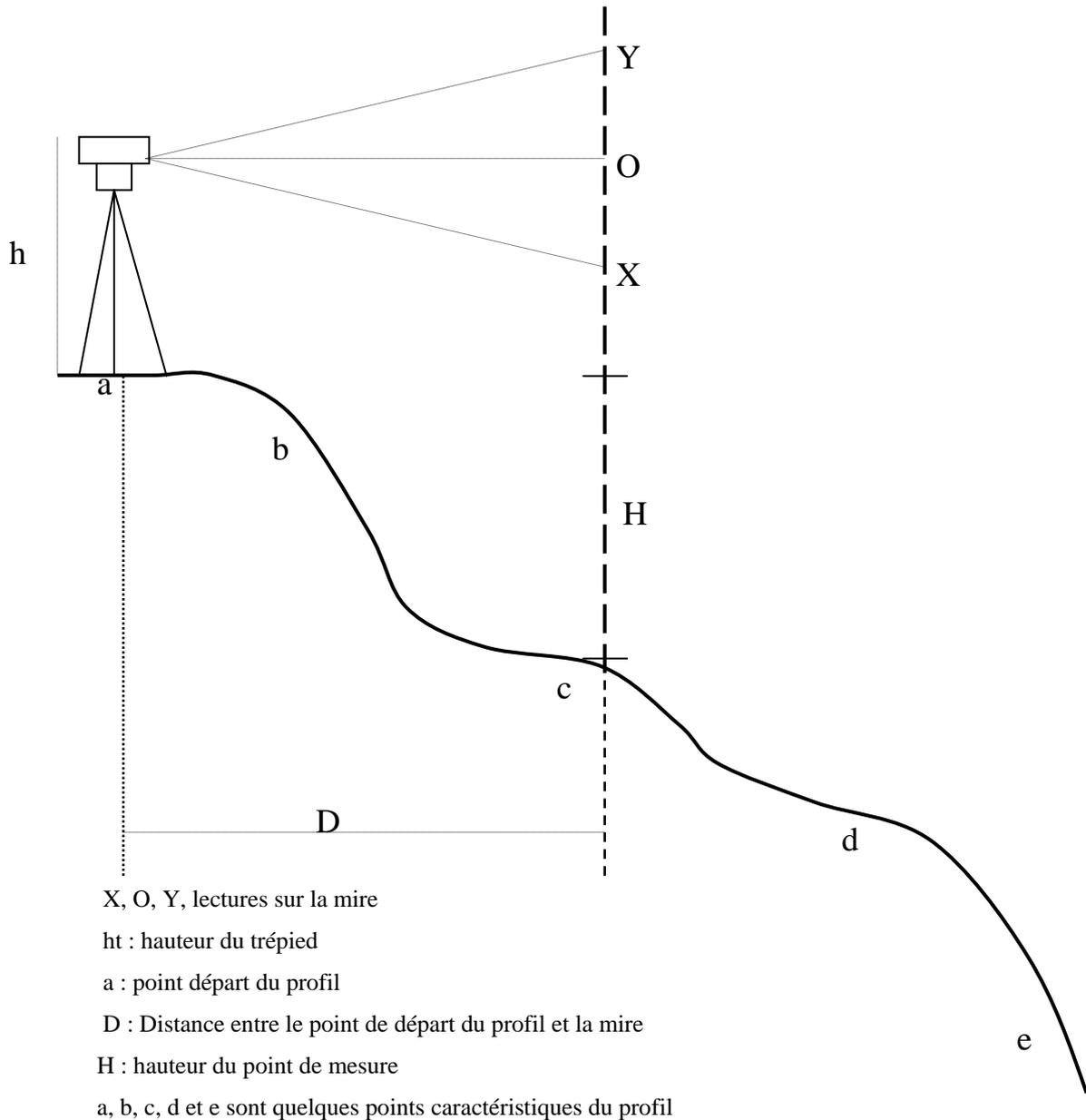
Trois lectures (X ;O ; Y) sont alors effectuées sur la mire à partir de l'objectif du théodolite. (figure 15)

A partir de ces trois lectures, on calcule la distance (D) entre le point de mesure et la mire puis la hauteur (H) correspondant à l'élévation du point visé.

$$D = |x-o| + |y-o|$$

$$H = |ht-o|$$

Les profils de plage (courbes d'évolution de la hauteur en fonction de la distance) sont tracés. On superpose ensuite deux à deux les profils pour déduire la tendance évolutive de la plage. Un profil a été réalisé pendant la période d'occurrence des faibles houles c'est à dire au mois de janvier. Un autre profil a été réalisé pendant la période d'occurrence des fortes houles (mois de mai) Deux profils ont été réalisés pendant la période d'occurrence des houles moyennes (mars et avril).



$$D = |x - o| + |y - o|$$

$$H = |ht - o|$$

Figure 14 : Les paramètres du profil de plage

Les plages étudiées concernent les estrans à l'est et à l'ouest de l'embouchure du fleuve Bandama

Le profil est implanté en fonction de la sensibilité de la zone à l'érosion. Le long de la plage, les profils sont nommés pour un meilleur repérage de ceux-ci. (tableau 5) :

**Tableau 5** : Tableau de repérage des profils de plage

Profils	Nom des profils	Coordonnées des points de départ des profils		Côte
Profil 1	petit cocotier coupé et peint en rouge	4° 59' 18" W	5° 08' 19" N	+ 13 m
Profil 2	bord Est de l'étang	4° 59' 20" W	5° 08' 18" N	+ 13 m
Profil 3	bord Ouest de l'étang	4° 59' 26" W	5° 08' 17" N	+ 14 m
Profil 4	premier cocotier à droite de la cabane des pêcheurs	4° 59' 35" W	5° 08' 17" N	+ 15 m
Profil A	face à l'église	5° 01' 08" W	5° 08' 07" N	+ 11 m
Profil B	face à la maisonnette du cimetière	5° 02' 29" W	5° 08' 08" N	+ 11 m
Profil C	sous les filaos	5° 00' 26" W	5° 08' 09" N	+ 10 m
Profil D	face au phare	5° 00' 48" W	5° 08' 10" N	+ 11 m
Profil E	troisième ligne de cocotier face au puits	5° 00' 55" W	5° 08' 11" N	+12 m
Profil F	dernière maison abandonnée près de la passe	5° 00' 59" W	5° 08' 12" N	+11 m

Les profils sont espacés de 200 à 400 m selon la morphologie du profil en long et s'étendent sur environ 2 km de chaque côté de l'embouchure,

Les relevés topographiques au théodolite ont été effectués sur un cycle de un (1) an. Le niveau de côte de référence pour tous les profils (sommet de

dune en général) est le phare dont la côte est de 11 m. tous les relevés topographiques ont été effectués en marée basse. Ainsi, les hauteurs d'eau correspondant à chaque moment de relevé sont en annexe 2

## **II – 4 HYDROLOGIE DE L'ESTUAIRE**

Les mesures hydrologiques effectuées sont les suivantes :

- la température
- la salinité
- le pH
- les matières en suspension

Les mesures de salinité, de pH et de température ont été faites "*in situ*" pendant un cycle de marée à quatre (4) stations fixes puis, de façon éparse, sur le plan d'eau afin de vérifier les conclusions tirées de nos interprétations. Le choix de ces stations est basé sur la variation de la salinité. En effet, ces points sont sous l'influence des trois (3) milieux précités (lagunaire, fluvial, et marin). Les quatre stations sont réparties dans l'estuaire comme suit :

- la station N°1 est située dans le chenal fluvial à environ 200m de la passe ;
- la station N°2 est située à environ 4 km de la passe toujours dans le chenal fluvial en remontant le fleuve vers l'amont ;
- la station N°3 est située dans le chenal lagunaire (lagune Nyouzoumou) à environ 200 m de la passe ;
- la station N°4 est quant à elle située au quai d'accostage nord du Bac dans le chenal de la lagune Tagba à environ 1 km de la passe.

Pour des raisons de sécurité, aucune mesure n'a pu être effectuée dans la passe.

En ce qui concerne les matières en suspension, les prélèvements d'eau, Les échantillons recueillis ont été filtrés au laboratoire au moyen d'un banc de filtration (annexe 1) sur des filtres WHATMAN circulaires de 47 mm de

diamètre et de porosité 0,45  $\mu\text{m}$  préalablement pesés. Après séchage à 45°C à l'étuve, les filtres sont soigneusement récupérés et repesés afin de déterminer les concentrations totales de matières en suspension exprimées en mg/l. Par la suite, les filtrats sont observés à la loupe binoculaire afin de déterminer la nature des principaux constituants de la matière en suspension et rechercher des relations éventuelles avec les sédiments du fond.

## **II- 5- EVOLUTION DE LA COTE DE GRAND-LAHOU**

La méthode suivie pour l'étude de la cinématique de l'érosion du littoral de Grand-Lahou a consisté à la mise en place d'une base de données à partir de photos aériennes datées de 1957 à 1993, d'images satellitaires de 1986 et 1995 et de données recueillies sur le terrain en 2003.

Les photos aériennes scannées et les images satellitaires sont redressées et géoréférencées avec la méthode polynomiale (correspondance des points de repères sur les images avec des amers repérés sur les cartes topographiques.) Les photographies aériennes sont ensuite rassemblées pour créer une mosaïque. Les images satellites et photographies aériennes redressées et corrigées servent de base pour la digitalisation des traits de côte à différents stades d'évolution. Les traits de côtes, montés sur les photos aériennes de dates différentes, permettent d'apprécier la tendance évolutive de cette période.

## **CHAPITRE III**

# **RESULTATS ET DISCUSSIONS**

**I - LES CARACTERES HYDRODYNAMIQUES DE  
L'ESTUAIRE**

**II- MORPHOLOGIE ET SEDIMENTOLOGIE  
DE L'ESTUAIRE DU BANDAMA**

**III- L'EROSION A GRAND-LAHOU**

# **I - LES CARACTERES HYDRODYNAMIQUES DE L'ESTUAIRE**

## **Introduction**

Domaine de transition entre le milieu marin et le milieu continental, l'estuaire du Bandama est un milieu très dynamique et en perpétuel changement.

Les conditions de circulation, d'échange et de changement morphologique sont des données qui caractérisent et définissent le milieu estuarien. Ces données permettront par exemple de délimiter l'estuaire, de comprendre les processus de migration de la passe, de cerner les phénomènes de stratification de mélange ou de formation de coin salé à l'embouchure. Les caractéristiques du milieu estuarien notamment celui du fleuve Bandama varient de façon saisonnière (crue et étiage) et selon la marée. On distingue deux grandes périodes :

- la période de crue centré sur octobre ;
- la période d'étiage centrée sur mars.

## **I- 1 - LA MAREE DYNAMIQUE**

L'estuaire du Bandama est soumis en permanence à deux actions hydrauliques antagonistes : l'une due à la marée et l'autre au débit fluvial. Sous l'influence de la marée, les eaux oscillent dans l'estuaire par l'intermédiaire du grau. En période d'étiage et en marée de vives eaux, conditions optimales pour une pénétration maximale de la marée, le front de pénétration de la marée dynamique se situe à Tamabo 70 km de l'embouchure.

## **I - 2 LA MAREE DE SALINITE**

La pénétration de l'eau de mer proprement dite dans l'estuaire constitue la **marée de salinité** dont le front se situe bien en deçà du point extrême atteint par la marée dynamique. Le meilleur moment d'observation de la pénétration

maximale de la marée se situe en période d'étiage (février, mars ) et en marées de vives eaux. A cette période, la limite maximale de la pénétration de la marée de salinité se situe à environ 31 km de l'embouchure (observation du 16 février 1968 par Monnet en 1972), et à environ 29 km de l'embouchure (observation du 19 mars 2001).

### **I- 2 -1 Evolution de la salinité en étiage**

Au cours de la marée de vives eaux et en étiage, les taux de salinité passent progressivement de 32 ‰ à 0 ‰ à 30 km de l'embouchure, (figure 15). Cela montre que l'eau salée remonte le cours du fleuve jusqu'à environ 29 km de l'embouchure à Nandibo. La salinité en surface est élevée dans les zones proches de l'embouchure. Lorsqu'on s'éloigne de l'embouchure en remontant le fleuve vers l'amont, la salinité diminue progressivement. Dans tout l'estuaire, la salinité en profondeur est supérieure de la salinité en surface. Pendant le flot, il se produit des mélanges importants entre l'eau douce et l'eau salée.

Toujours en étiage et en marée de vives eaux, à environ 200m de l'embouchure (station 1 voir annexe 3) la salinité en surface est de 23 ‰. En profondeur, elle est de 26‰. (Figures 15 et 16). A une station plus éloignée, à environ 2 km de l'embouchure, le mélange est encore important. La salinité en surface est de 18‰. En profondeur elle demeure élevée (24‰). (Figures 15 et 17). A mesure que l'on s'éloigne de l'embouchure, la salinité sur toute la colonne d'eau diminue. Pendant les périodes de basse mer, la stratification des eaux est très marquée.

En surface, le dédit est plus important mais les eaux conservent leur sens d'écoulement. En profondeur, l'eau salée continue de remonter l'estuaire.

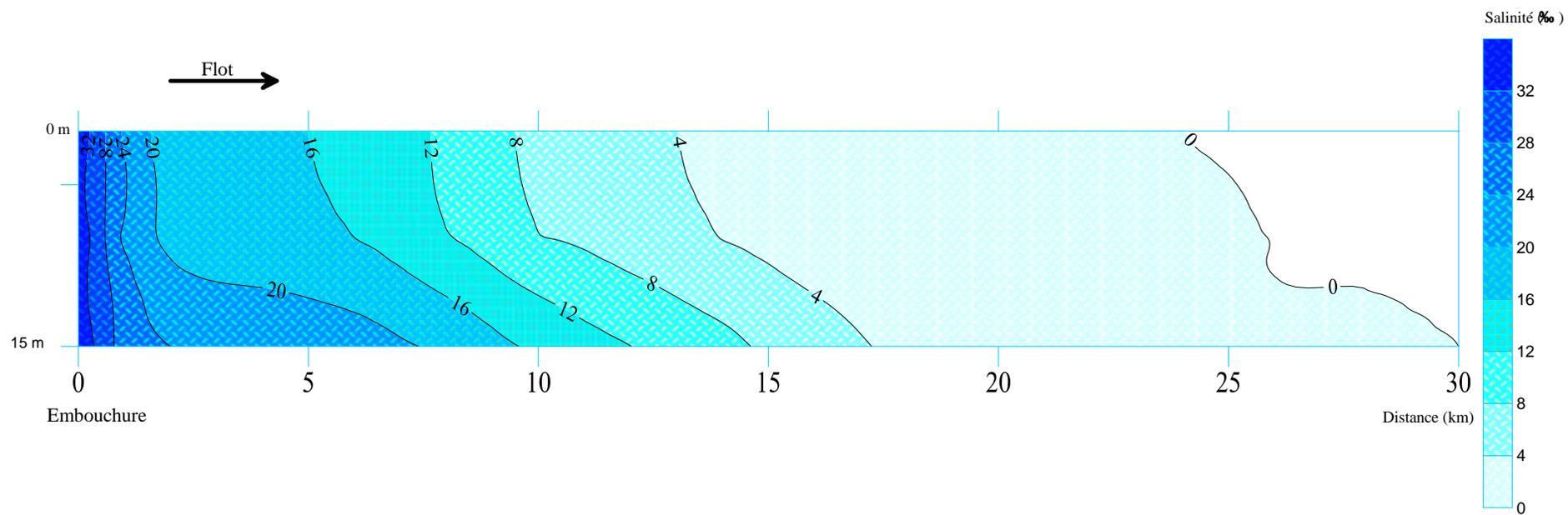


Figure 15 : Carte de répartition des iso-halines dans l'estuaire du Bandama en étiage pendant le flot

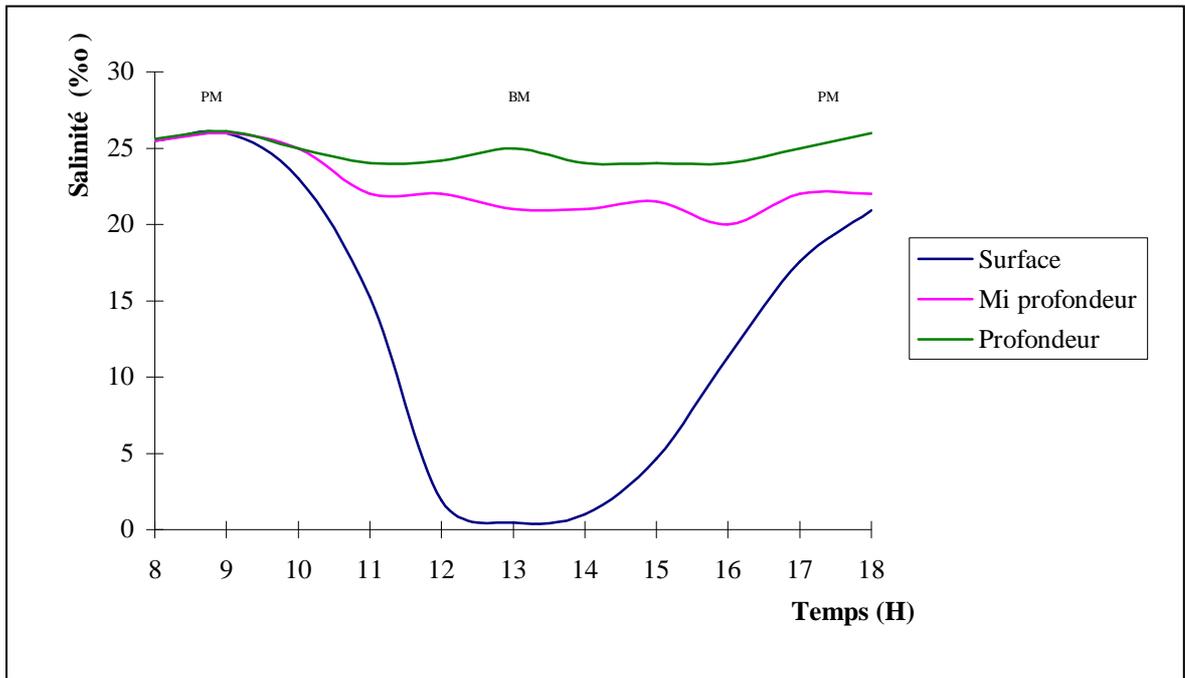


Figure 16 : Evolution de la salinité en fonction de la marée à la station 1

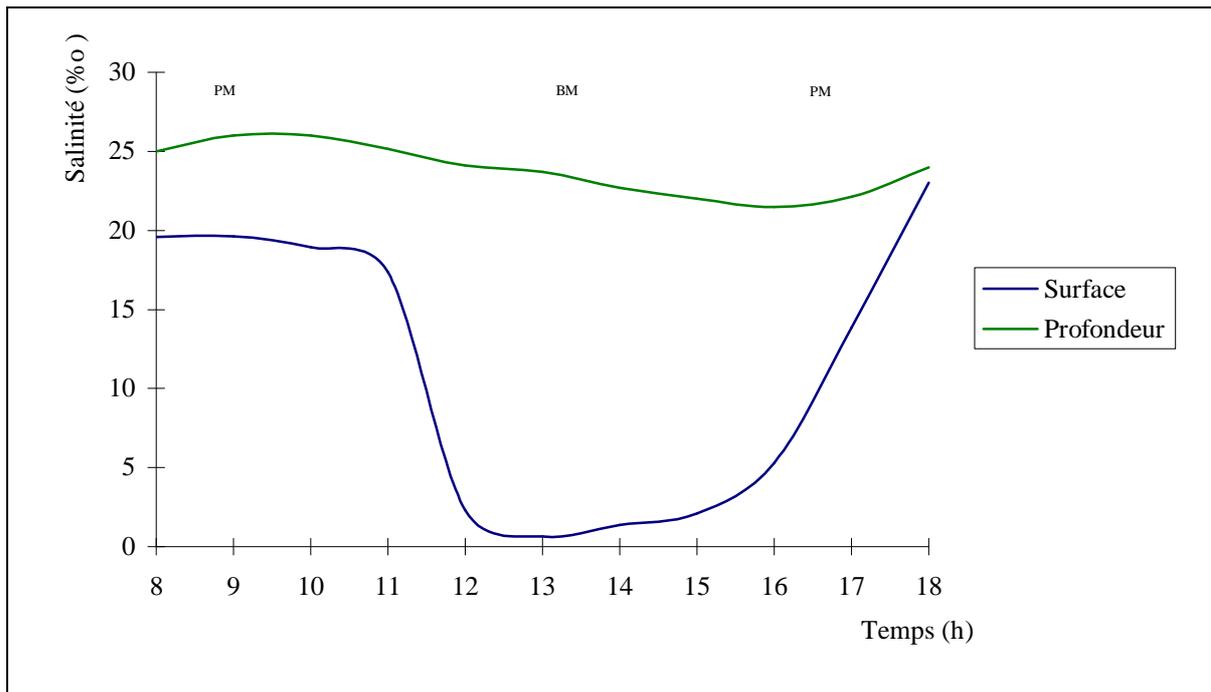


Figure 17 : Evolution de la salinité en fonction de la marée à la station 2

Pendant le jusant, dans les zones proches de la passe, les eaux de surfaces sont sous-salées. La salinité maximale est de 0,2‰ en surface ; en mi-profondeur et en profondeur, elle demeure élevée. Elle de 22‰ en mi-profondeur et de 25‰ en profondeur. (figure 18)

A environ 2 km de l'embouchure, l'eau en surface a une salinité tout aussi faible (0.1‰). En profondeur elle varie de 20‰ à 22‰. Pendant le jusant, l'examen du courant montre qu'en surface, une couche sous-salée surnage une autre salée.

### **I- 2 -2 Evolution de la salinité en crue**

La limite maximale de l'eau salée (Observation du 31 octobre 2001). Dans l'estuaire est à environ 15 km de l'embouchure. La limite observée par Lecolle en 1972 est à 17 km de l'embouchure. En effet, la pénétration de la marée de salinité est étroitement liée au débit fluvial, au coefficient de marée et à d'autres facteurs comme la profondeur de l'estuaire, la morphologie des fonds....

Pendant le flot, dans les stations proches de la passe (environ 400 m), en surface, il se produit un mélange entre l'eau douce et l'eau salée. La salinité obtenue est en moyenne de 12 ‰ en profondeur, elle atteint rapidement 23‰. En remontant l'estuaire en amont, les salinités baissent brutalement. En surface, on passe rapidement de 12‰ à 0,9‰. La couche d'eau affectée par ce mélange atteint en moyenne 3 mètres de profondeur. En profondeur, la dessalure est tout aussi brusque. On passe de 23‰ à 4‰. La couche d'eau concernée est plus mince. (Figure 19) .

Pendant le jusant, on perçoit une nette stratification de la tranche d'eau (figure 20).

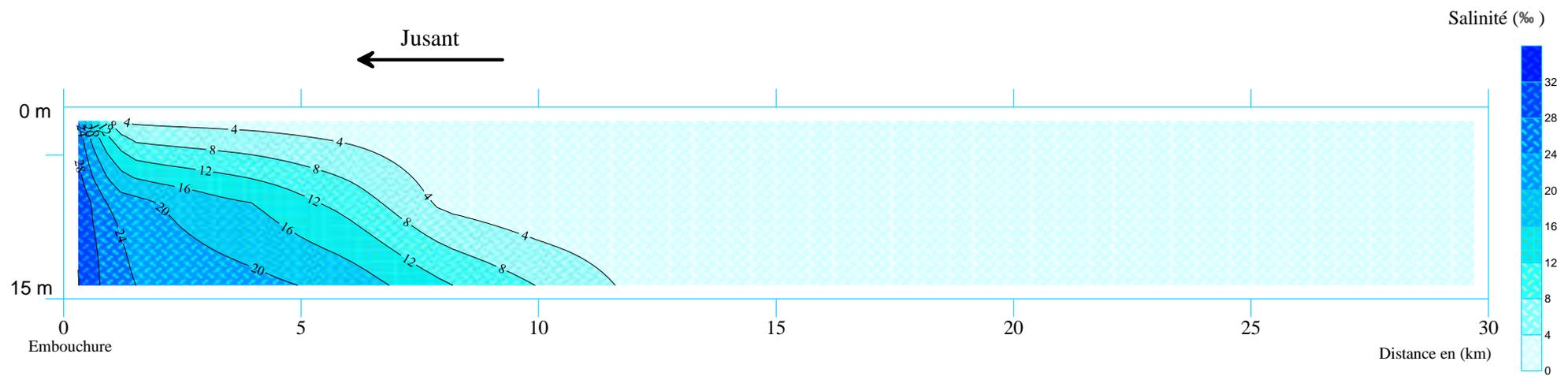


Figure 18 : Carte de répartition des iso-halines dans l'estuaire du Bandama en étiage pendant le jusant

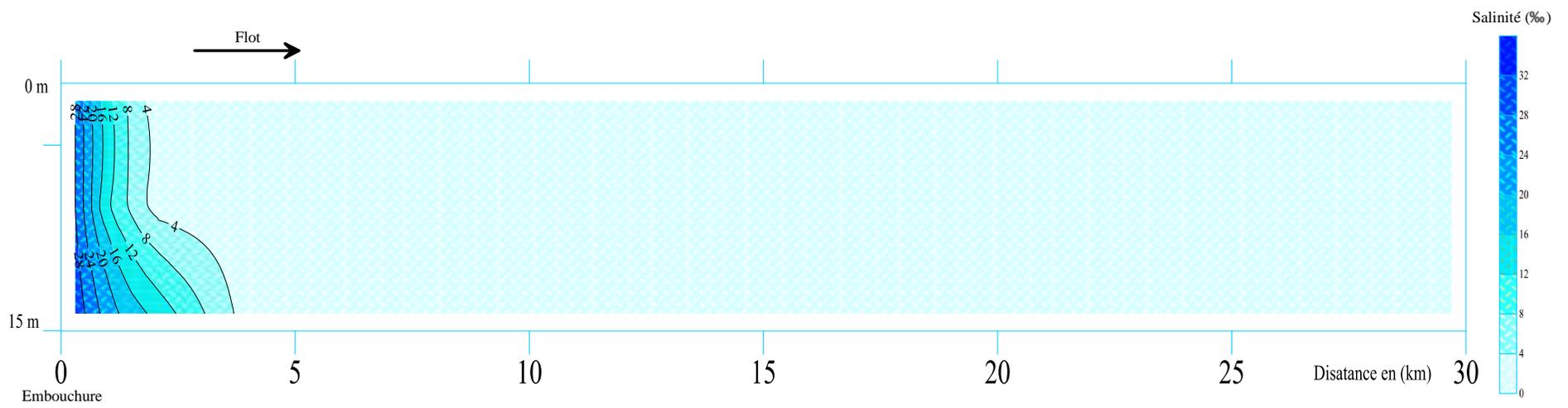


Figure 19 : Carte de répartition des iso-halines dans l'estuaire du Bandama en crue pendant le flot

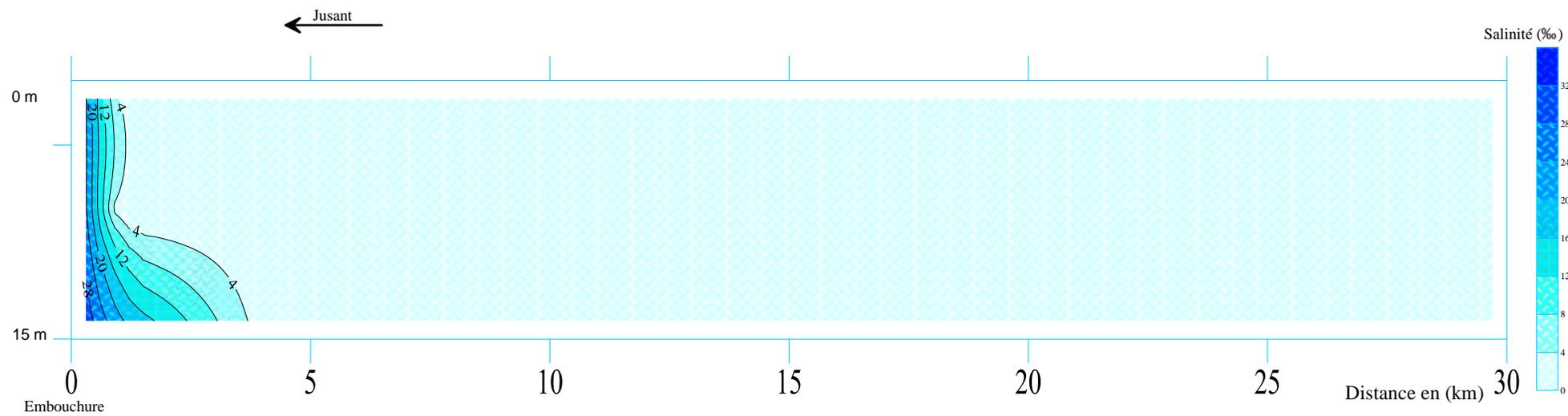


Figure 20 : Carte de répartition des iso-halines dans l'estuaire du Bandama en crue pendant le jusant

Pendant les périodes d'étales de haute mer et de basse mer, lorsque le niveau de l'eau est stabilisé et que les courants sont nuls en crue comme en étiage, les salinités continuent de croître (étales de haute mer) ou de décroître (étales de basse mer). Ceci est attribué au phénomène de diffusion (Lecolle, 1972).

- En période de crue, L'estuaire est sous influence fluviale donc continentale. Les eaux continentales qui débouchent en mer sont très chargées de matière en suspension. L'influence marine ne se perçoit qu'en marée haute, seulement sur quelques dizaines de mètres de l'embouchure.

- En période d'étiage, l'estuaire est sous influence marine. Les eaux marines remontent dans l'estuaire jusqu'à 29 km de l'embouchure. L'activité biologique marine s'y développe.

Les périodes de montée de crue et de décrue sont des étapes intermédiaires où l'estuaire retrouve progressivement ses conditions d'étiage ou de crue.

### **I- 2 -3 La salinité dans les chenaux lagunaire de l'estuaire**

L'embouchure du fleuve Bandama est reliée dans sa partie nord à la lagune Tagba et dans sa partie sud ouest à la lagune Nyouzoumou. Chaque cours d'eau débouche à l'embouchure par son chenal propre, ce qui permet de déterminer trois (3) chenaux principaux séparés par des îles colonisées par la végétation. Ce sont :

- le chenal nord étant celui de la lagune Tagba ;
- le chenal sud-ouest, celui de la lagune Nyouzoumou ; et
- le chenal est, celui du fleuve Bandama.

Le comportement de l'intrusion marine dans les chenaux lagunaires diffère de celui du chenal du fleuve.

### *I- 2 -3 -1 La salinité dans le chenal sud-ouest*

Le chenal sud-ouest ou chenal lagunaire 1 est un prolongement du lit de la lagune Nyouzoumou vers l'embouchure.

En étiage et pendant le flot, la salinité est quasi constante sur toute la tranche d'eau, (25 ‰). L'influence fluviale est nulle. La salinité moyenne de la lagune mesurée en amont de cette station est de 23‰. On en déduit un mélange des eaux lagunaires et des eaux marines. La salinité de l'eau de mer à Grand-Lahou étant de 35‰ en remontant en amont de cette station, l'intrusion saline est moins perceptible. La salinité sur toute la colonne d'eau varie entre 22‰ et 23‰. (figure 21)

Pendant le jusant, la salinité en surface diminue. Elle passe de 25‰ à 18‰ en moyenne. L'eau saline lagunaire est diluée en surface par l'eau douce fluviale. En profondeur elle reste élevée et varie entre 23‰ et 25‰. (figure 21.)

En crue, ce chenal lagunaire est fortement influencé par le fleuve. En effet, pendant le flot, la salinité en surface atteint 15‰ tandis qu'en profondeur elle varie entre 25‰ et 30‰

Au jusant, la salinité en surface est toujours influencée par l'eau douce du fleuve. La salinité est d'environ 12‰ en surface. En profondeur et à mi-profondeur, elle est de 20‰. L'influence marine est à cet effet quasi nulle. Même si on perçoit une certaine stratification, il faut noter qu'il y a un certain mélange des eaux lagunaires et fluviales.

### *I- 2 -3 -2 Salinité dans le chenal nord (figure 22)*

Ce chenal est un chenal lagunaire mais qui reçoit les eaux fluviales. En effet, en marée de vives eaux, il n'y a pas de stratification. La salinité est constante sur toute la tranche d'eau. Elle est d'environ 25‰ en marée de mortes eaux. Pendant le jusant, les eaux sont nettement stratifiées. Trois masses d'eau

sont identifiées. En surface, une masse d'eau dont la salinité oscille entre 5‰ et 10‰. A mi-profondeur, la salinité est plus élevée et varie entre 12‰ et 18‰. En profondeur, la salinité est voisine de 25‰.

En crue, pendant le flot, la salinité sur toute la colonne d'eau varie très peu. Elle est en moyenne égale à 27‰. Au jusant, on note une bonne stratification des eaux. Une couche d'eau de salinité égale à 17,6 ‰ s'écoule sur une autre de salinité 30‰.

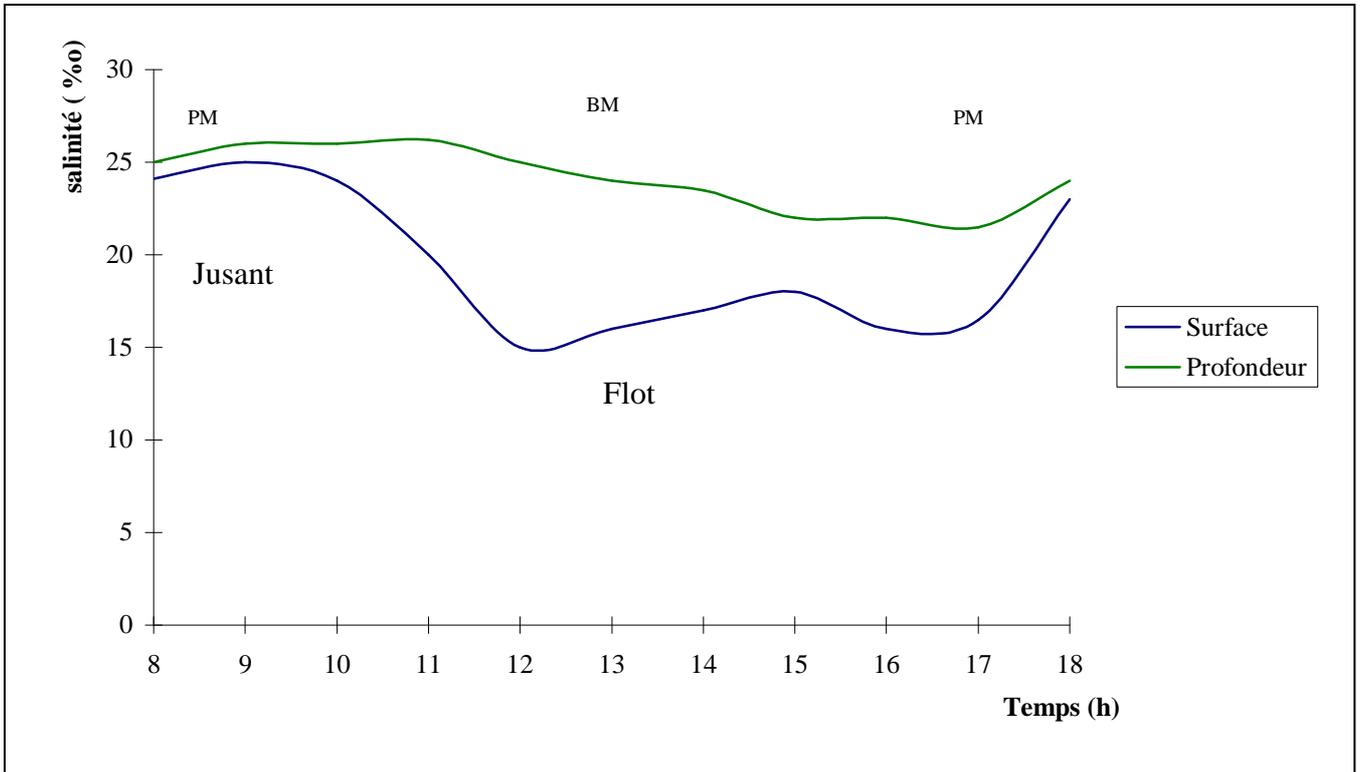


Figure 21 : Evolution de la salinité en fonction de la marée à la station 3

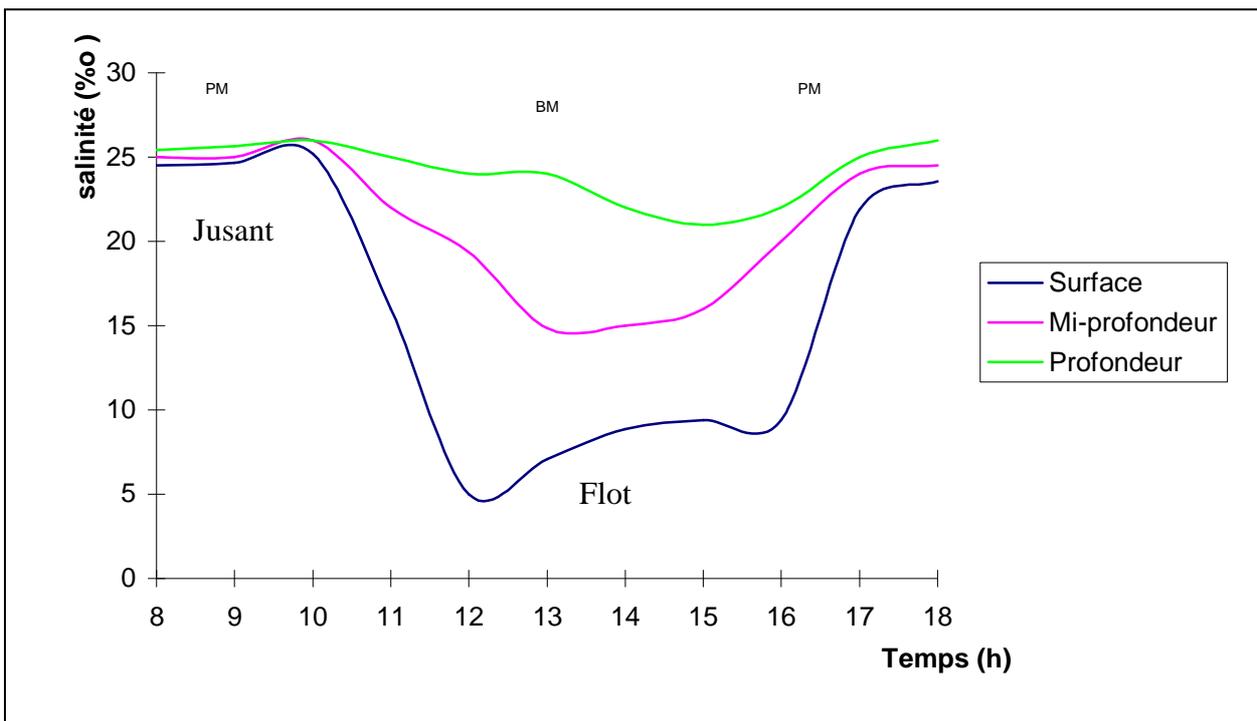


Figure 22 : Evolution de la salinité en fonction de la marée à la station 4

### I- 3 EVOLUTION DES MATIERES EN SUSPENSION DANS LES EAUX ESTUARIENNES DU BANDAMA

La teneur en matières en suspension varie pendant l'étiage du fleuve dans les eaux douce entre 10 et 50 mg/l. pendant la période de crue, la teneur en matières en suspension atteint par endroit 200 mg/l. L'examen des variations des teneurs en MES dans l'estuaire du Bandama, fait apparaître une certaine corrélation entre les teneurs en matières en suspension et la salinité des eaux, (figure 23). En effet, la teneur en matière en suspension chute brutalement lorsque la salinité atteint des valeurs proches de zéro (0). La courbe de variation de la salinité a la même allure que celle du taux en matière en suspension.

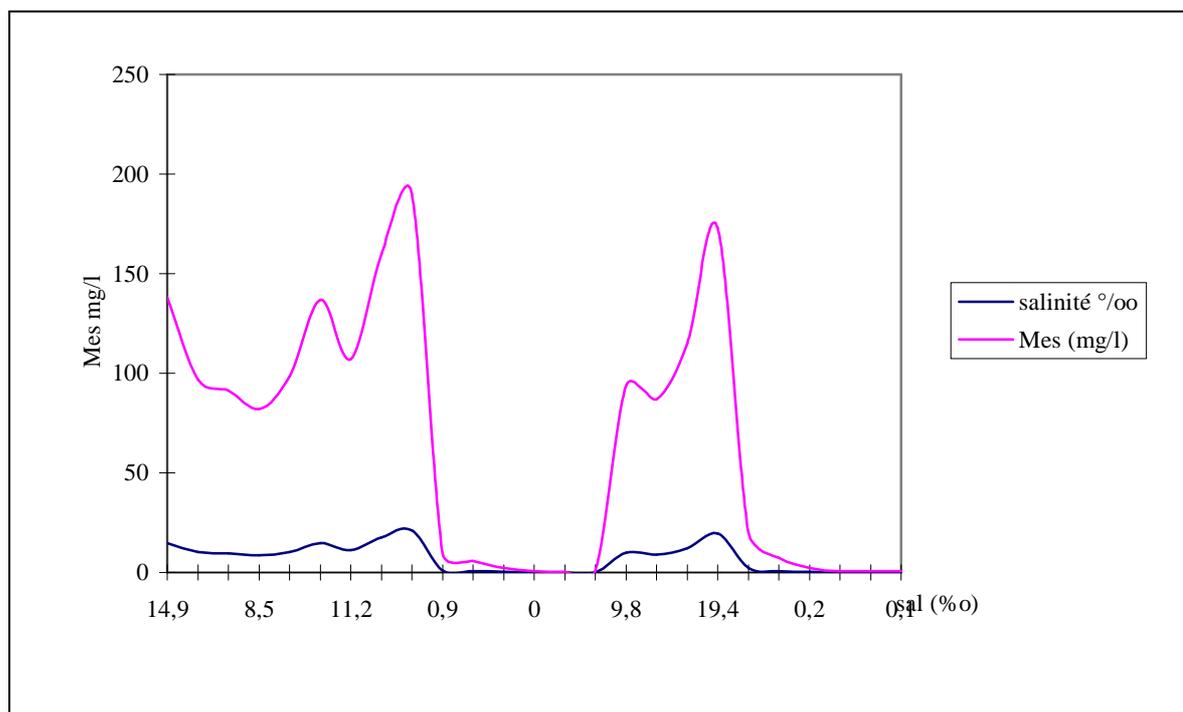


Figure 23 : Variation des concentrations en matières en suspension en fonction de la salinité

L'observation à la loupe binoculaire du filtrat montre que ces matières en suspension sont constituées essentiellement de grains de quartz, des particules argileuses, et des minéraux blancs laiteux probablement des feldspaths

et des débris végétaux. Ce matériel est issu selon Aka (1994) de la dégradation des altérites latéritiques kaoliniques du continent.

Dans l'estuaire du Bandama, "le piège à sédiment", constitué par ce point nodal, mis en place à marée haute par les courants du flot, cesse de fonctionner à marée basse. Le bouchon vaseux formé est expulsé en mer à chaque marée basse. En effet, Affian *et al* (1993), montre qu'à chaque marée basse, le Bandama expulse en mer un panache turbide dont l'orientation dépend des courants de jusant et des courants de surfaces du plateau continental, (figure 24). Cette figure montre 4 générations de panache turbide expulsées lors de 4 marées basses avant la prise de l'image.

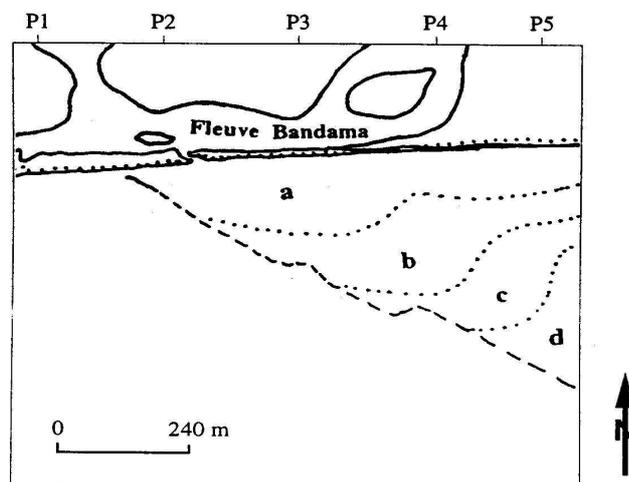


Figure 24 : Quatre (4) générations de panache turbide expulsées lors de 4 marées basses avant la prise de l'image (Affian et al, 1993)

Sur le plateau continental, la panache turbide est dirigée vers l'Est est à l'origine de la vase signalée par Martin (1971), Tastet (1979) et Aka (1991). (figure 25)

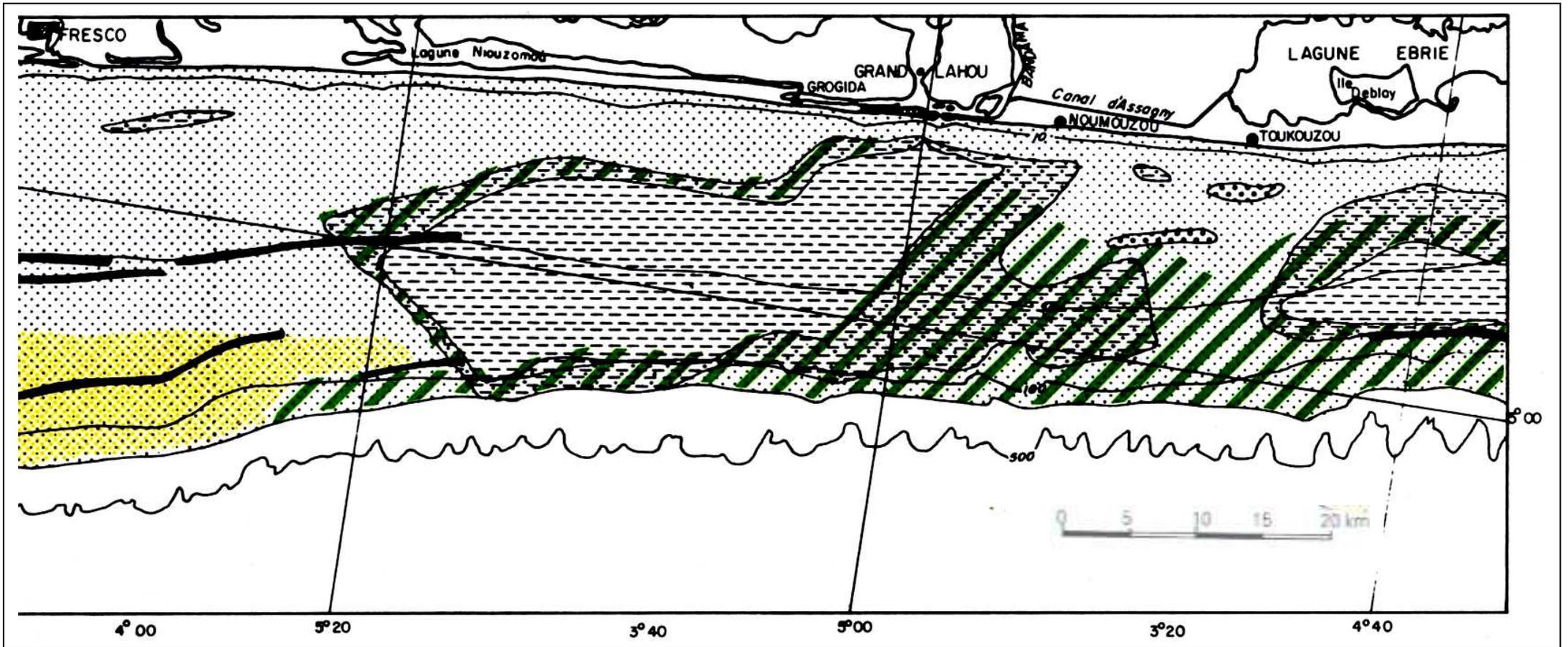


Figure 25 : Carte sédimentologique du plateau continental en face de l'embouchure du Bandama (Martin 1973)

## I- 4 LA TEMPERATURE, LE PH, ET LA CONDUCTIVITE

Tout comme la salinité, les températures ont été mesurées in situ.

Dans l'estuaire du Bandama, les températures varient de 29°C à 32°C. La température moyenne des eaux de l'estuaire en étiage est de 31,16 °C. (figures 26 a et b)

Toutefois l'on observe une différence de température selon le lieu géographique et selon la profondeur.

En effet, proximité de l'embouchure, les températures semblent plus basses à cause des mélanges entre l'eau douce et l'eau salée.

Au-delà de la zone de remonté des eaux marines, la température est relativement plus élevée ( 30 à 32,5 °C) qu'à proximité de l'embouchure où le mélange entre les masses d'eaux est intense. La température moyenne dans cette zone est de 31°C (figure 28 g) tandis qu'elle est de 30,5 dans la zone d'intrusion. (figure 26 b)

Il n'existe pas de corrélation particulière entre la température et les autres paramètres mesurés. Toutefois, il existe une corrélation parfaite entre la salinité et la conductivité. (figure 26 d)

Avant la limite amont de l'intrusion marine, L'on note un certain gradient de température dans la colonne d'eau. Les eaux en profondeur étant relativement plus froides qu'en surface. Ceci est dû à l'ensoleillement sur le plan d'eau mais aussi à l'intrusion d'eau de mer jusqu'à ces stations.

En période de crue, les températures observées sont plus basses qu'en période d'étiage avec une moyenne de 28°C en raison de la faible remontée d'eau salée à cette période, et du faible ensoleillement par rapport à la période d'étiage.

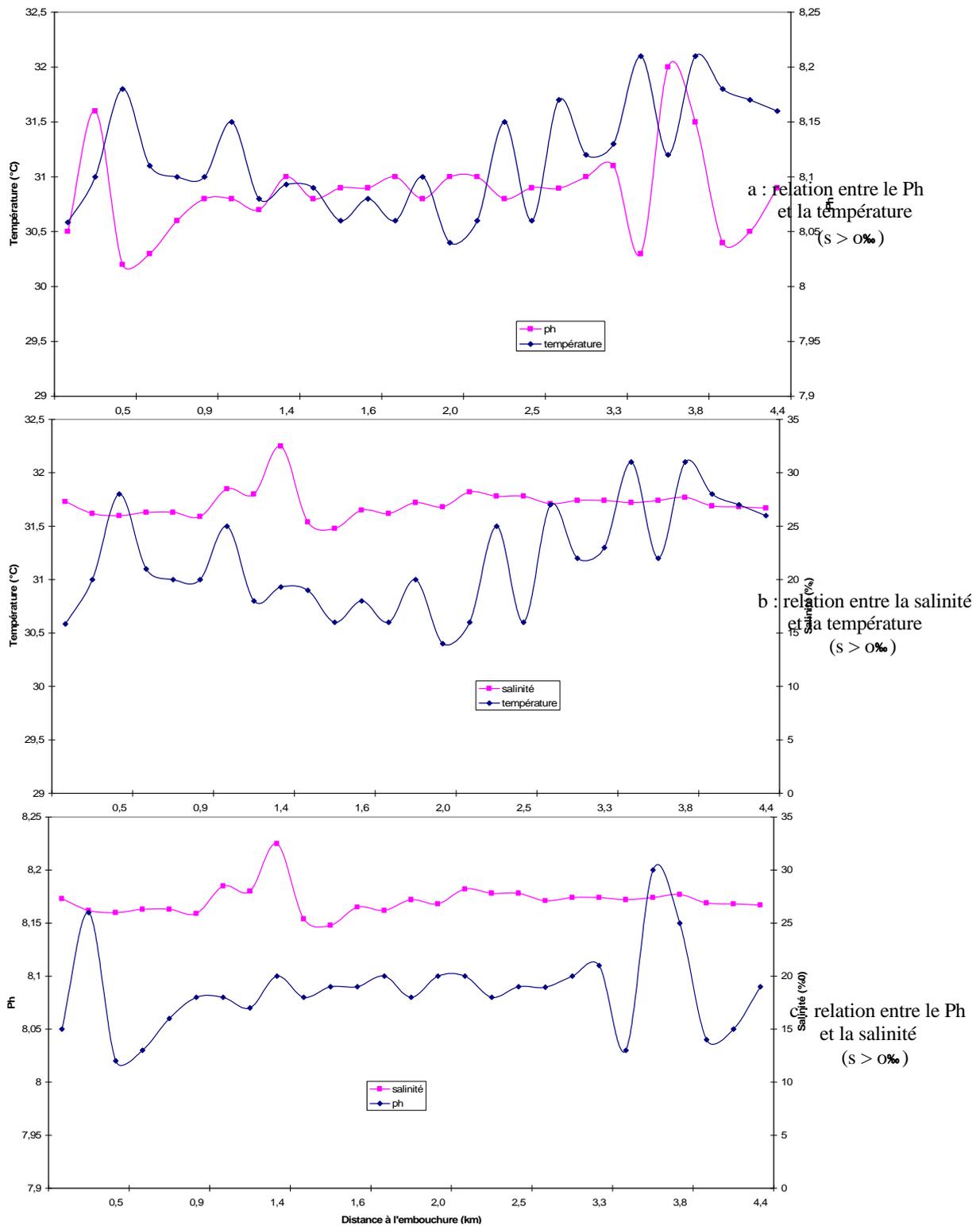


Figure 26 (a, b, c) Corrélation entre les paramètres physico-chimiques dans l'estuaire du Bandama

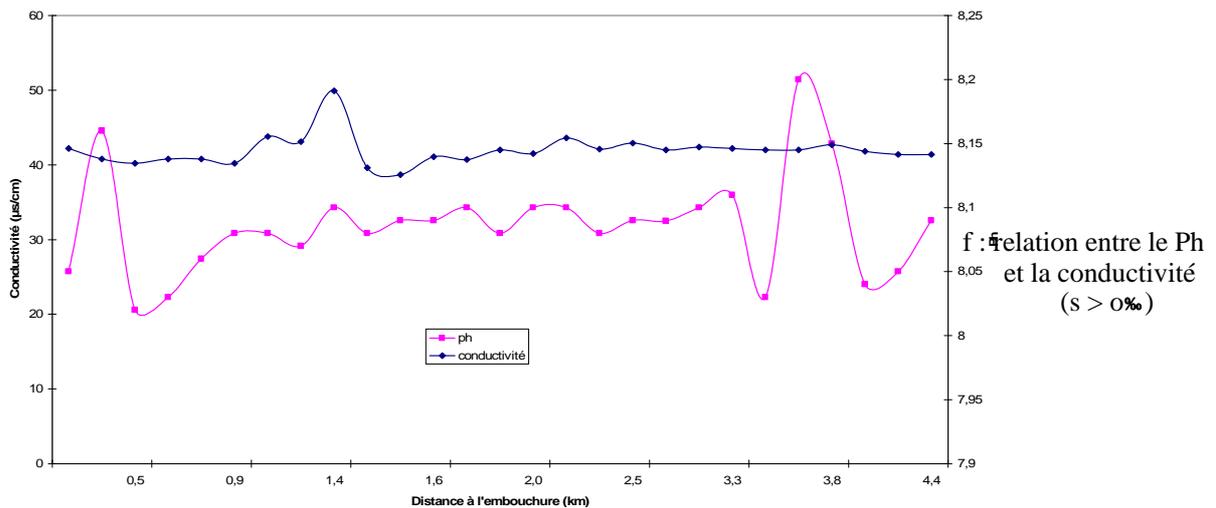
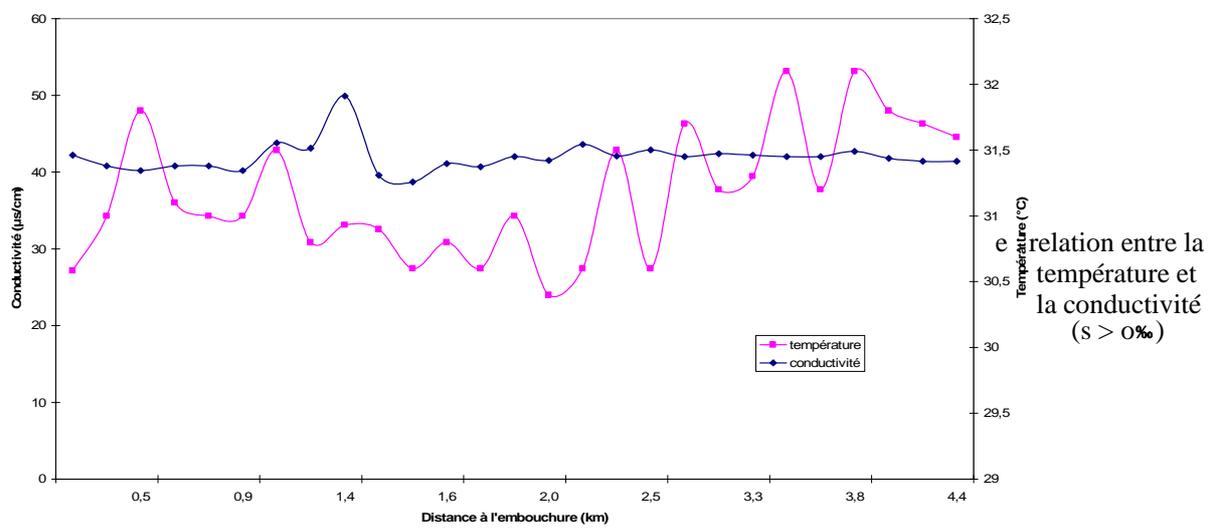
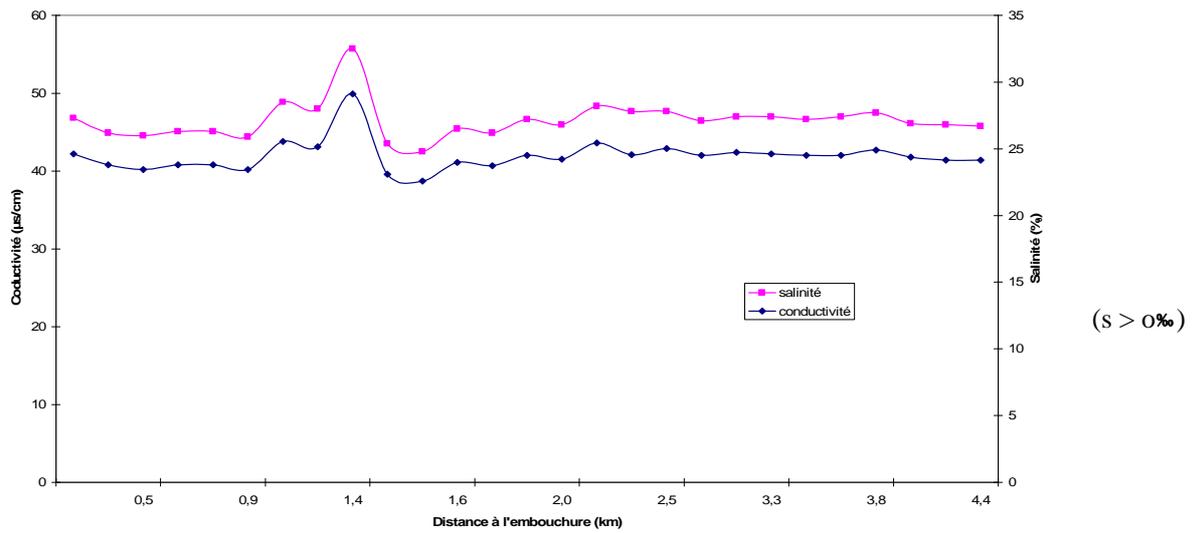


Figure 26 (d, e, f) : Corrélation entre les paramètres physico-chimiques dans l'estuaire du Bandama

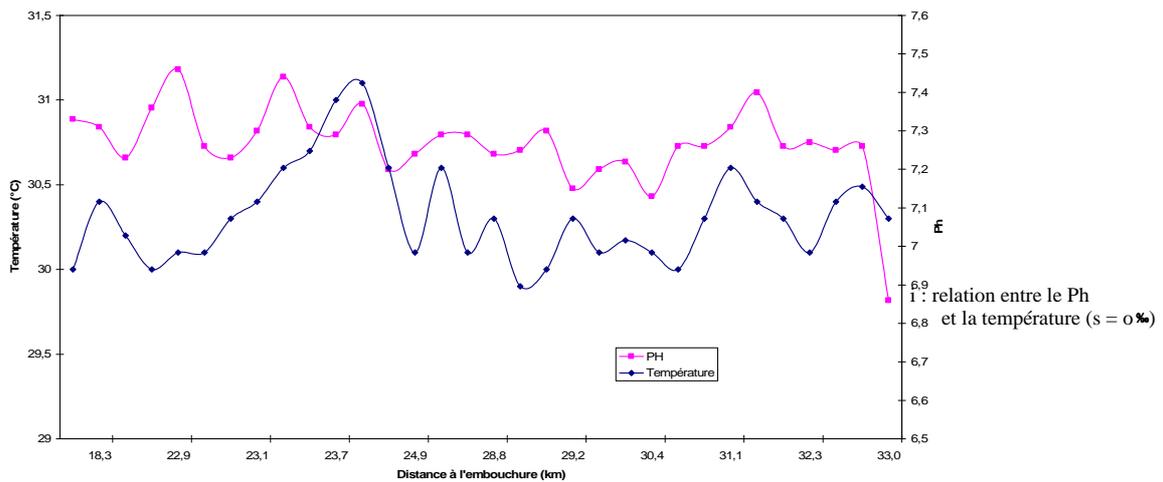
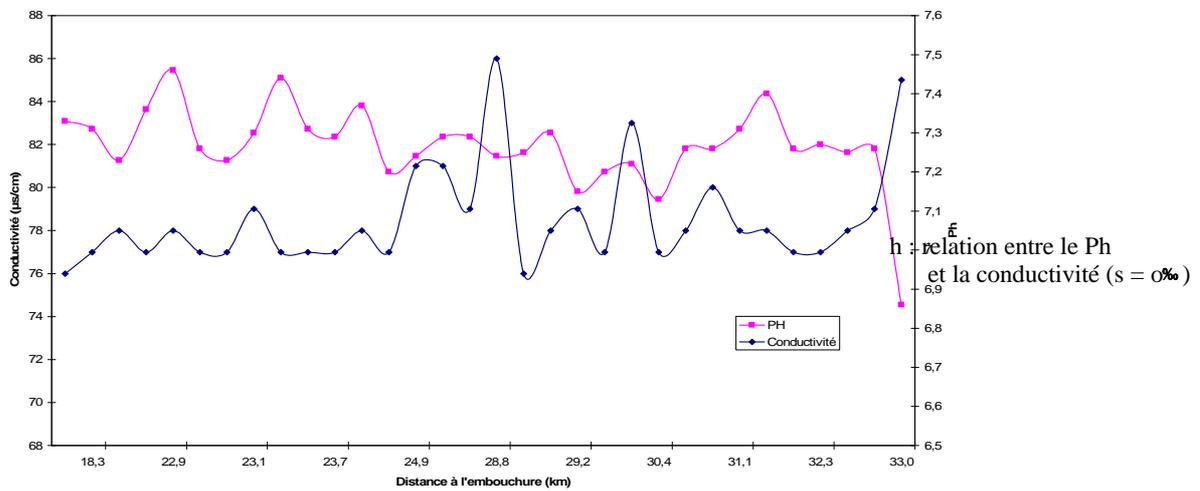
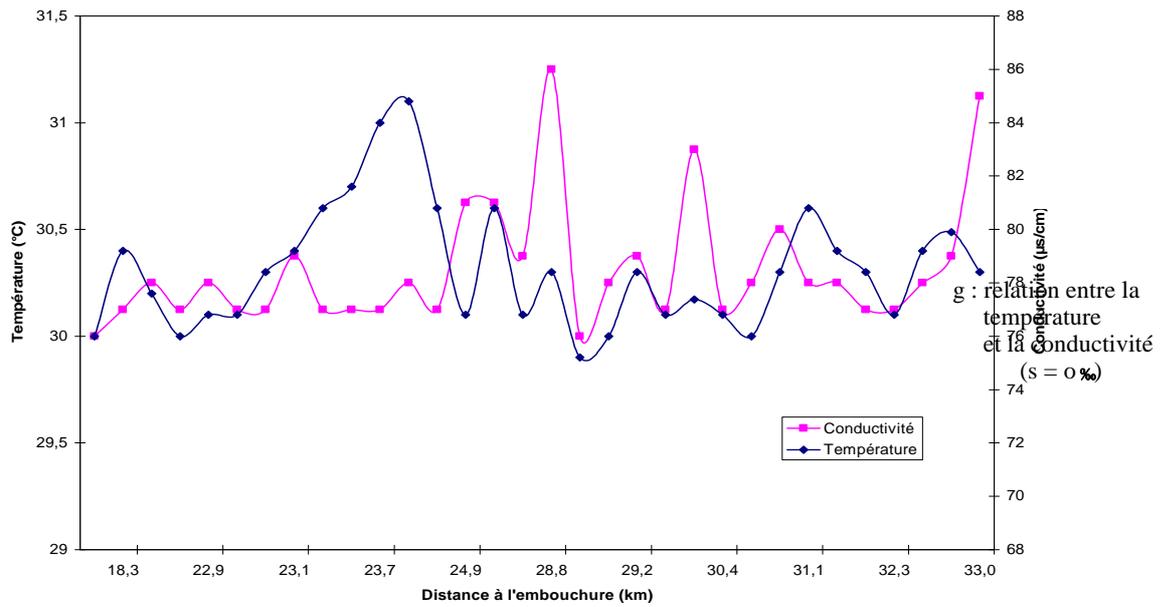


Figure 26 (g, h, i) : Corrélation entre les paramètres physico-chimiques dans l'estuaire du Bandama

Dans l'estuaire du fleuve Bandama, le pH varie entre 6,4 et 8,5. Les valeurs de pH les plus élevées sont mesurées à proximité de la passe tandis que les valeurs les plus basses sont mesurées en amont (figures 26 c et h). Les courbes de variation du pH et celle de la salinité semblent variées dans le même sens (figure 26 c). Dans la zone où la salinité est nulle, aucune corrélation ne s'observe entre le pH et les autres paramètres (figures 26 h et i).

### **Discussion**

Dans l'estuaire du Bandama, pendant la période de crue, le débit du fleuve est assez fort pour vaincre la pression de la marée. Ainsi, l'eau douce plus légère, s'écoule t-elle au-dessus de l'intrusion marine. A l'interface, des échanges entre les masses d'eaux ont lieu mais ne perturbent pas la stratification, et le gradient de salinité reste toujours élevé. L'estuaire se comporte alors comme un estuaire à coin salé. En profondeur, l'eau salée s'écoule vers l'amont. Au point nodal, les vitesses du flot et du jusant s'annulent. Ainsi, à la faveur du phénomène de floculation et de décantation, les sédiments en suspension tombent et forment des panaches turbides partiellement ou totalement expulsées en mer pendant le jusant.

Aussi, d'une façon générale, les positions des hauts fonds (sables fins vaseux) correspondent- t- ils aux lieux de rencontres des masses d'eaux. En effet, la rencontre entre les vitesses résiduelles vers l'amont et les vitesses résiduelles vers l'aval peut expliquer certaines accumulations de sédiments dans les estuaires. En effet, dans la zone de rencontre entre les eaux fluviales (jusant) et les eaux salines (flot), les courants diminuent considérablement et s'annulent même dans certains cas en un point dit "point nodal". En ce point où la vitesse résiduelle est quasiment nulle, les particules sédimentaires en suspensions s'agglomèrent et tombent sur le fond (phénomène de floculation).

Outre les valeurs de salinité qui repèrent ce point nodal, ce point peut être repéré par une chute brutale des concentrations des matières en suspension. Ceci peut expliquer le fait que la variation des concentrations en matières en suspensions varie avec la salinité, (figure 23). La position de ce point est aussi fonction du débit fluvial et du coefficient de marée.

En période d'étiage, le débit du fleuve est de plus en plus faible. La stratification de la colonne d'eau est très réduite. L'écoulement moyen résiduel tend à se diriger vers l'aval sur toute la hauteur d'eau. A cette période, l'estuaire se comporte comme un estuaire de type partiellement mélangé.

Au maximum d'étiage, l'estuaire peut passer du type partiellement mélangé au type verticalement homogène ou bien mélangé. Les courants de marée sont importants par rapport au débit fluvial.

L'intrusion se fera alors sans stratification ou avec une faible variation verticale de la salinité.

D'une manière générale, La distribution de la salinité dans l'estuaire en crue et en étiage montre que l'estuaire du Bandama passe progressivement du type stratifié en période de crue au type partiellement mélangé en période d'étiage. En effet, dans un estuaire, ces types de circulation peuvent coexister selon la période de l'année Allen *et al.*, (1981). Ainsi dans l'estuaire du Mimizan par exemple (Sud-ouest de la France) la pénétration du "coin salé" est très prononcée en période de crue alors qu'elle est faible en période d'étiage, Boellmann (1975).

### **Conclusion partielle**

Dans l'estuaire du fleuve Bandama, les échanges entre les eaux continentales et marines diffèrent selon la position. En amont de la zone de pénétration, la dessalure est progressive sur toute la tranche d'eau. L'évolution de la salinité se

fait par des plans verticaux homogènes sauf au maximum de flot alors que la stratification des eaux est plus prononcée en aval.

Lorsque le niveau de l'eau est stabilisé et que les courants sont nuls, les salinités continuent de croître pendant l'étalement de haute mer et de décroître pendant l'étalement de basse-mer. L'augmentation se poursuit à la reprise des courants de jusant tout comme la diminution pendant la reprise des courants de flots.

La limite maximale de la pénétration de la marée de salinité se situe à environ 31 km de l'embouchure. (Observation du 16 février 1968), et à environ 29 km de l'embouchure (Observation du 19 mars 2001) dans les conditions maximales d'étiage et de flot.

D'une façon générale, la limite de l'estuaire varie suivant les périodes (étiage, crue, marée de vives eaux et marée de mortes eaux). Les conditions optimales d'observation de la pénétration maximale des eaux marines se situent pendant l'étiage du fleuve et à marée de vives eaux. à cette période, la marée de salinité se fait ressentir jusqu'à environ 29 km de l'embouchure alors que la marée dynamique se ressent jusqu'à environ 70 km.

## **II- MORPHOLOGIE ET SEDIMENTOLOGIE DE L'ESTUAIRE DU BANDAMA**

### **Introduction**

L'étude de la morphologie permet une meilleure définition de la topographie de l'estuaire et de ses environs. Elle précisera les ruptures de pente, la position des hauts fond et indiquera la profondeur à chaque point de l'estuaire. De plus, l'évolution des faciès sédimentaires, mis en relation avec l'évolution de l'intrusion saline permettra de comprendre la variation de la morphologie de l'estuaire.

### **II – 1 - MORPHOLOGIE DE L'ESTUAIRE**

#### **II –1 - 1 allure générale du cours de l'estuaire du Bandama**

D'une manière globale, de Tamabo à Brafedon, le fleuve garde une allure sinueuse (figure 27). De Tamabo à N'Zida, la direction du lit est nord-nord-est – sud-sud-ouest. De N'Zida à Brafedon, le lit du fleuve se redresse et prend la direction nord-sud.

Depuis Tamabo, le fleuve traverse une forêt dense sempervirente à *Diospyros* spp. (Guillaumet et Adjanohoun, 1969)

La largeur des sections varie de 20 mètres à Tamabo à 200 mètres à Brafedon. Par endroit, le fleuve reçoit de petits affluents méandriiformes et anastomosés.

#### **De Tamabo à Tiébiéssou**

De Tamabo à Tiébiéssou, le lit du fleuve décrit un méandre. Le fleuve prend ensuite une direction nord-nord-est – sur-sud-ouest en longeant la forêt classée du Gô. Les deux rives du fleuve sont occupées par la brousse et des cultures vivrières. La largeur de cette section est de 20 mètres environ.

## De Tiébiéssou à Nandibo

De Tiébiéssou à Nandibo, le fleuve décrit encore un autre méandre. Il garde la direction nord-nord-est – sud-sud-ouest. Ici, la largeur des sections atteint 60 mètres.

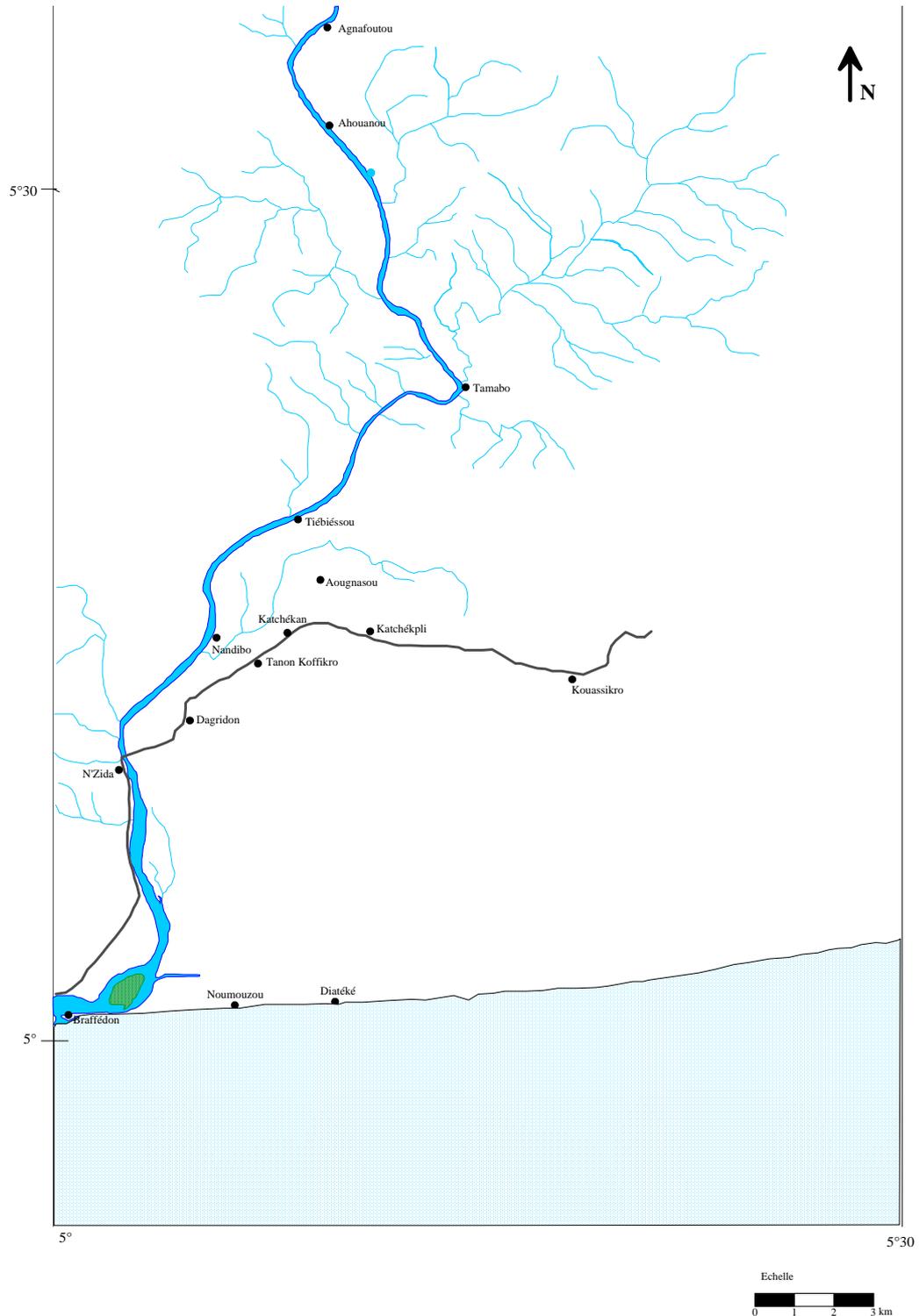


Figure 27 : allure générale du cours de l'estuaire du Bandama(extraite de la carte topographique de l'Afrique de l'ouest 1/200 000, IGN, 1969)

### **De Nandibo à N'Zida**

Au niveau de cette section, la largeur du fleuve augmente et peut atteindre les 80 mètres.

### **De N'Zida à Brafedon**

Le lit du fleuve prend la direction nord-sud avec les largeurs de sections qui varient de 80 mètres à 200mètres par endroit, surtout au niveau de sa confluence avec le canal d'Assagny et aussi au niveau de sa rencontre avec la lagune Nyouzoumou.

De Tamabo à Brafedon, le fleuve traverse des sables tertiaires situés en arrière des lagunes, formant parfois des reliefs de 30 m. On y trouve en grande partie des forêts denses sempervirentes et des plantations de café et de cacao.

La terminaison occidentale de ce lambeau tertiaire est, par le jeu de failles subméridiennes découpé en blocs, en grabens et en horsts. Les grabens sont occupés par des marécages où prolifère la végétation de type mangrove à rhizophora et palétuviers (Anonyme, 1982).

## **II- 1 - 2 la bathymétrie de l'estuaire**

Des levés bathymétriques ont été effectués sur l'ensemble de l'estuaire à l'aide d'un échosondeur suivant des radiales perpendiculaires au cours du fleuve.

Les radiales débutent à environ 3 mètres de la côte et leur extension dépend de la largeur du cours d'eau.

Les données corrigées et traitées ont permis de réaliser la carte bathymétrique précise de l'estuaire. En effet, tous les relevés ont été corrigés en fonction du marnage et en fonction de la profondeur d'immersion de la sonde. Le marnage a été retranché et la profondeur d'immersion de la sonde a été ajoutée à la profondeur mesurée.

Les figures 28 à 30 montrent la bathymétrie de l'estuaire.

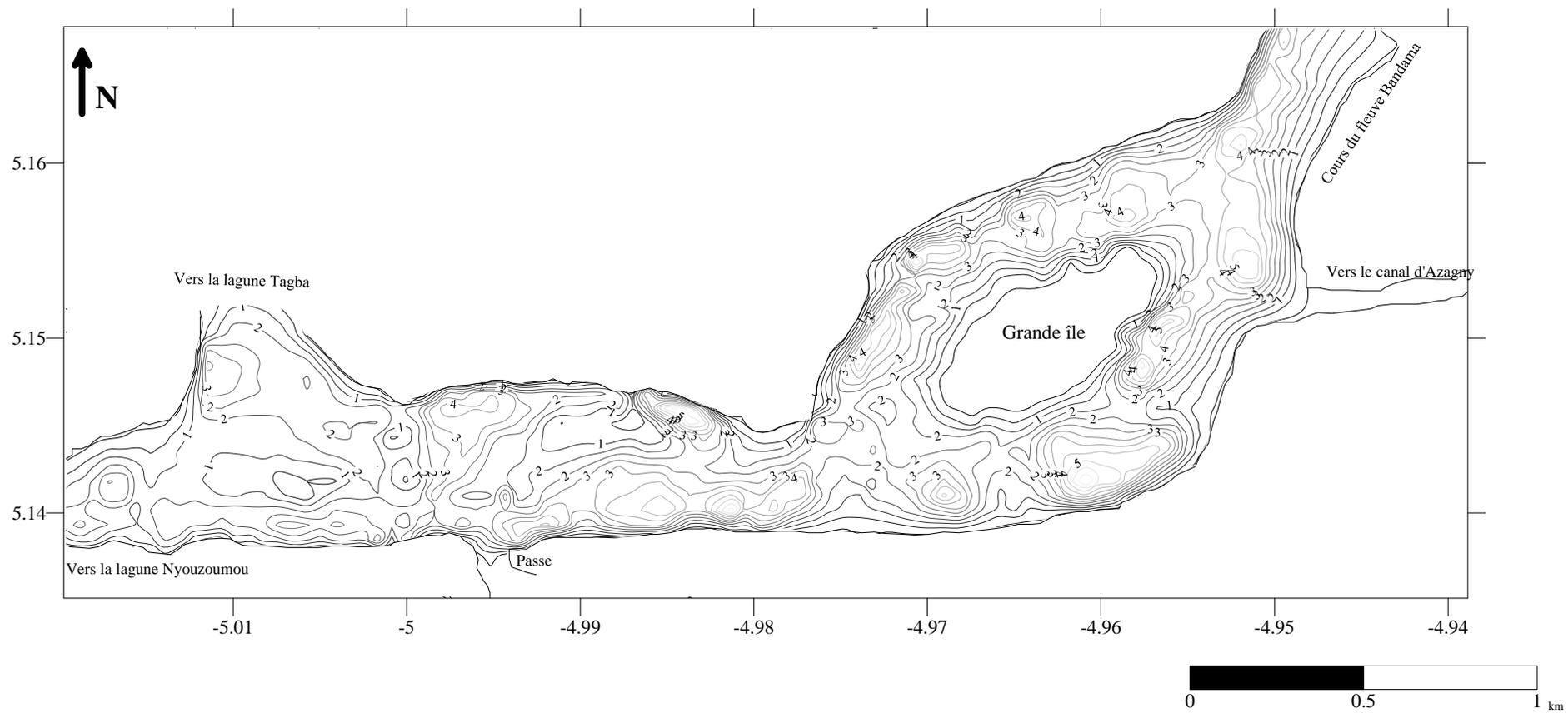


Figure 28 : Carte bathymétrique de l'estuaire du Bandama (zone 1 : extrême sud de l'estuaire)

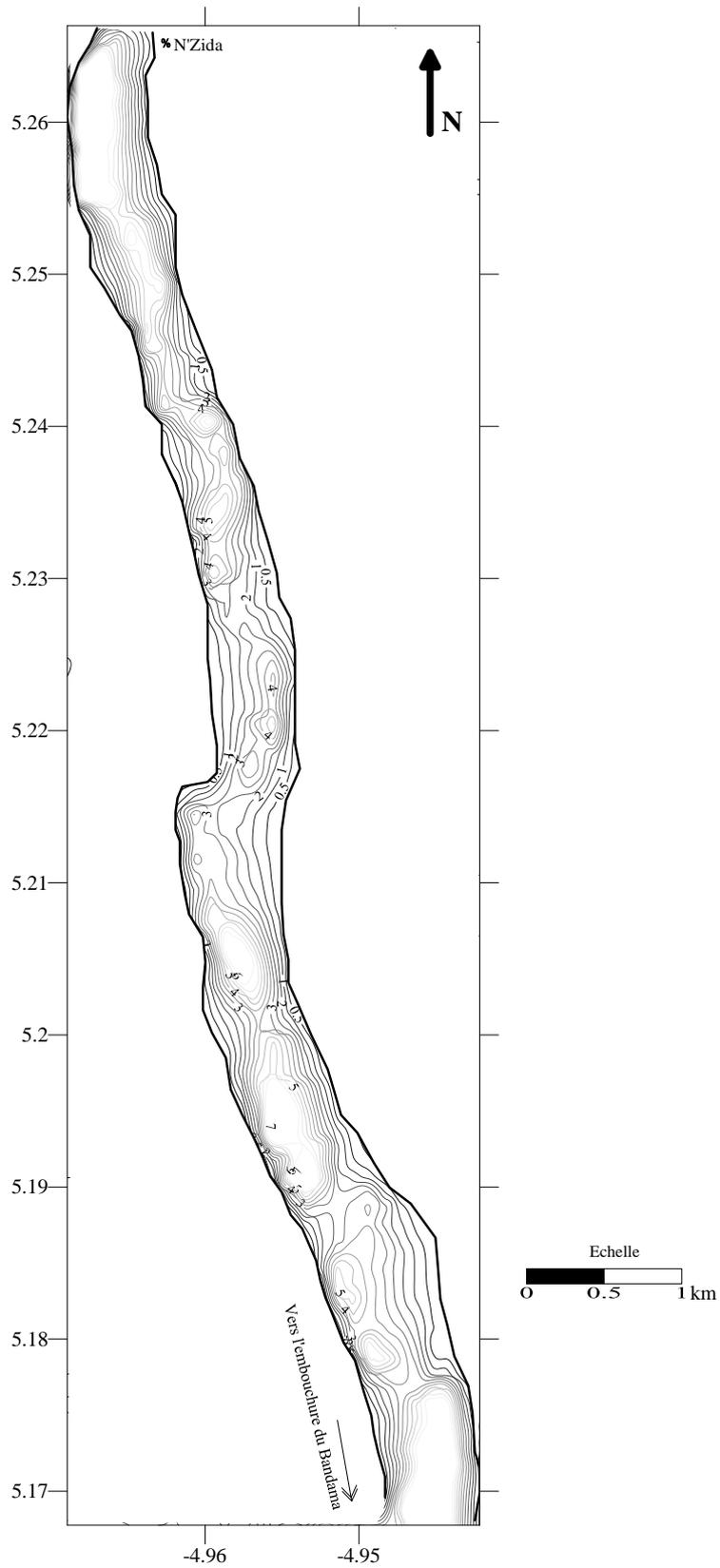


Figure 29 : Carte bathymétrique de l'estuaire du Bandama ( du canal d'azagny au pont de N'Zida)

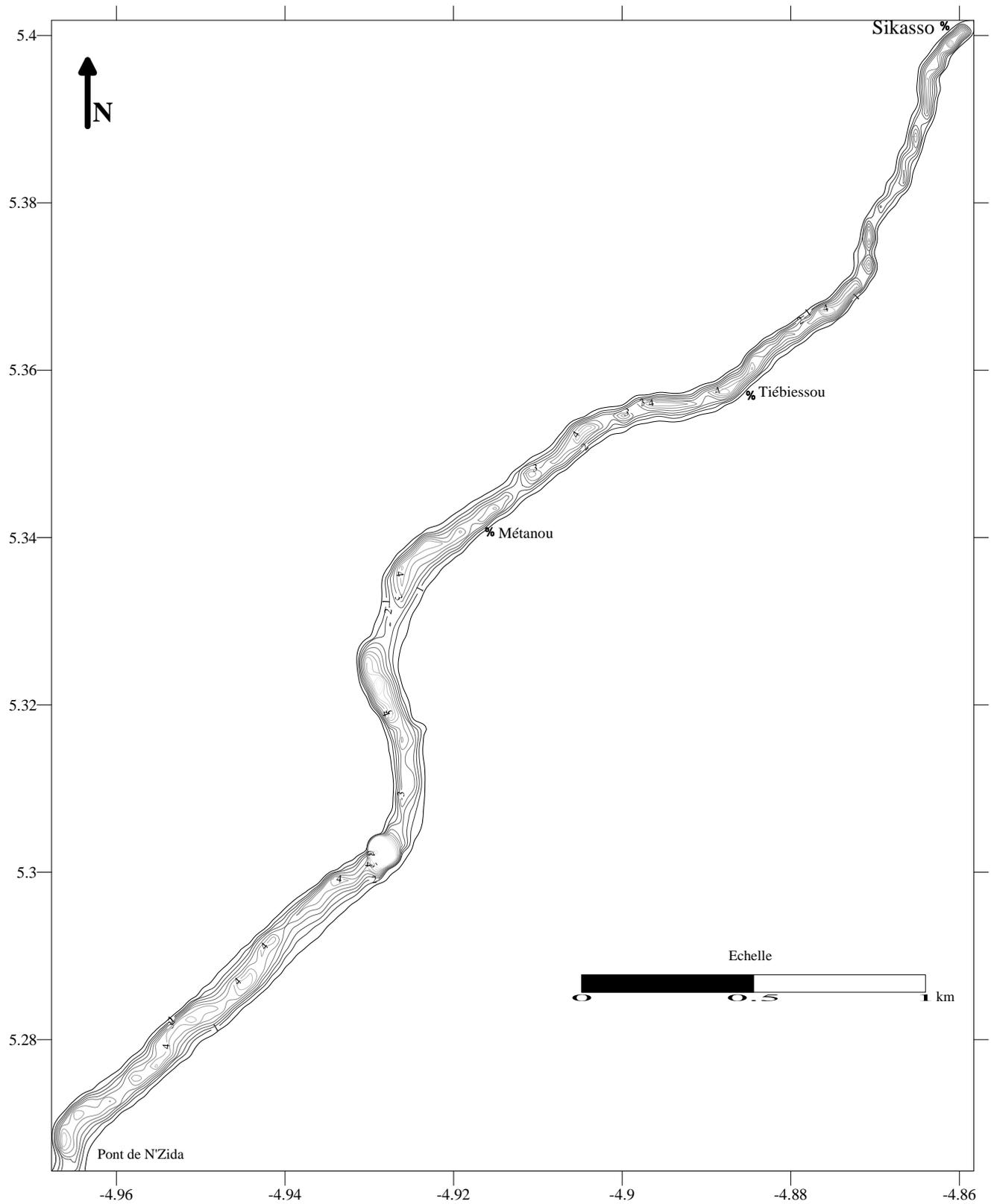


Figure .30 : Carte bathymétrique de l'estuaire du Bandama (entre le pont de N'Zida et Sikasso)

### **II-1-3 La configuration des chenaux**

**Dans le cours terminal** de l'estuaire, le chenal est plus profond du côté de la rive sud. La profondeur maximale mesurée dans ce secteur est de 7 mètres. Ce fond est localisé sur la radiale n° 5 située à environ 100 mètres de la passe. De la rive nord à la rive sud, les pentes sont abruptes, souvent même verticales. la profondeur moyenne est de 3,5 mètres (figures 31 et 32)

**De N'Zida à Sikasso**, (Radiale 14 à 18), (figures 33 et 34) le chenal a une morphologie généralement homogène. La profondeur moyenne est de 4,5 mètres. Des deux berges (Est et Ouest) au lit central, la pente est quasi verticale. Les profondeurs mesurées à environ 3 mètres des berges atteignent les 4 mètres en moyenne.

**De la sortie du canal d'Azagny jusqu'à N'Zida**, (Radiale 10 à 13) (figures 33 et 35) La morphologie varie en dent de scie (Figure 35). Les profondeurs atteignent 5,5 mètres (R10, R11) vers la rive ouest tandis que vers la rive Est, elle est de 2 mètres en moyenne.

Vers le canal d'Azagny (R9), la profondeur vers la rive Nord atteint 7,8 mètres tandis que vers la rive sud, elle est égale à 5,4 m.

Dans la partie centrale du lit se trouve une élévation : un haut fond portant la profondeur de cet endroit à environ 1mètre.

### **Le chenal de la lagune Nyouzoumou**

La figure 35 (radiale L1 à L4) représente la courbe morphologique du chenal lagunaire ouest à quelques mètres de l'embouchure. La profondeur maximale relevée est de 4 mètres observée au niveau de la rive sud, avec une pente forte de la berge vers le chenal. A environ 20 mètres de la rive nord, l'on observe un haut fond ; une accumulation de sable marin. La profondeur à cet endroit ne dépasse pas 0,4 mètre.

En effet, pendant les périodes de fortes turbulences, conséquence de l'hivers austral (ABBE,1993) les sédiments de la dérive littorale constituent, sous l'action des courants de jusant des bancs de sables formant un "delta de jusant" en face de l'embouchure. Ces bancs de sable sont apparents pendant l'étiage du fleuve. A cette période, les houles et la dérive littorale engendrent vers l'Est un puissant transport de matériaux qui selon la sévérité de l'étiage colmate peu à peu la passe allant jusqu'à sa fermeture complète (photo 4)



Photo 4 : flèche de sable évoluant vers l'est en étiage. (janvier 2003)

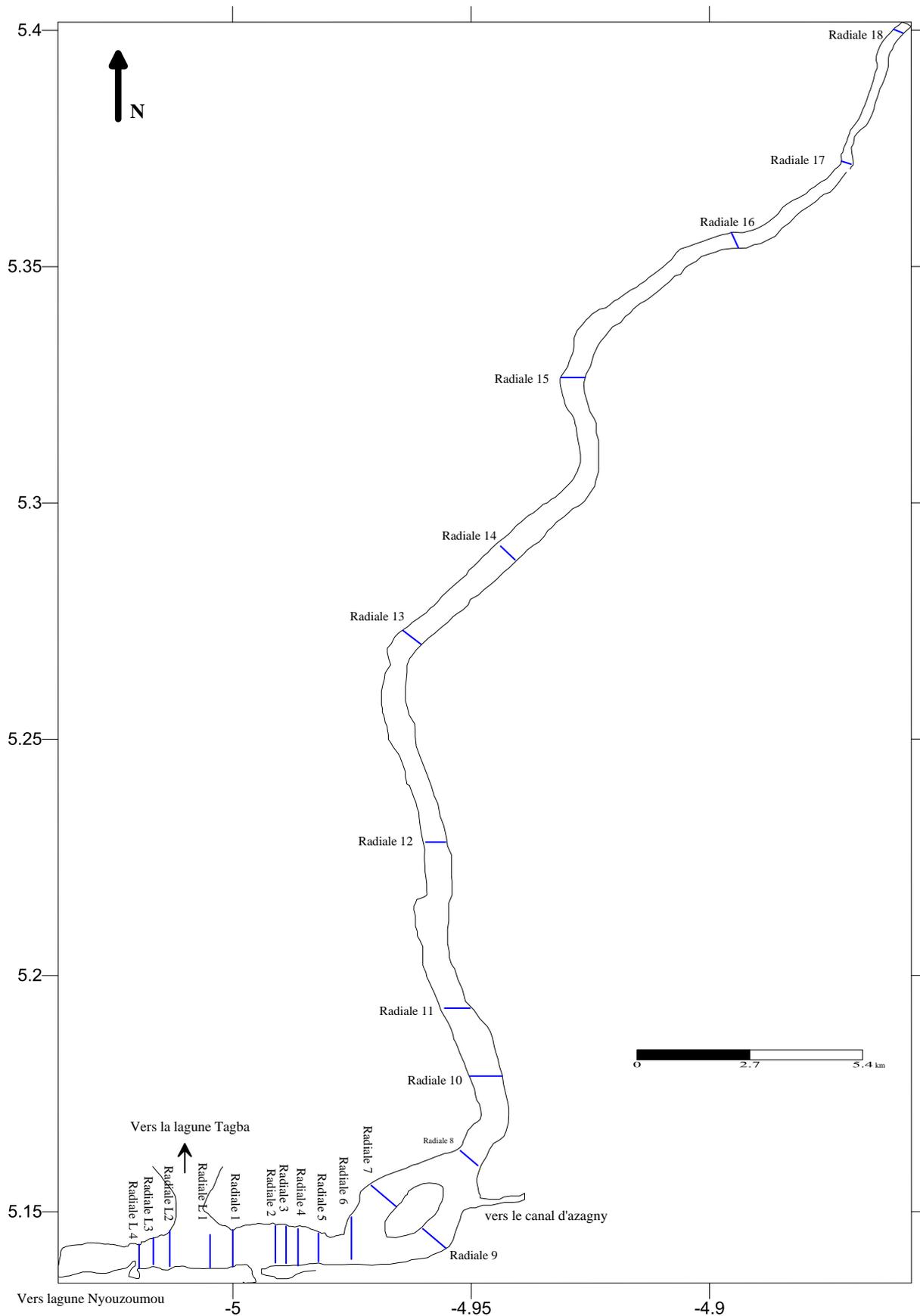


Figure 31 : Plan de position de quelques radiales caractéristiques

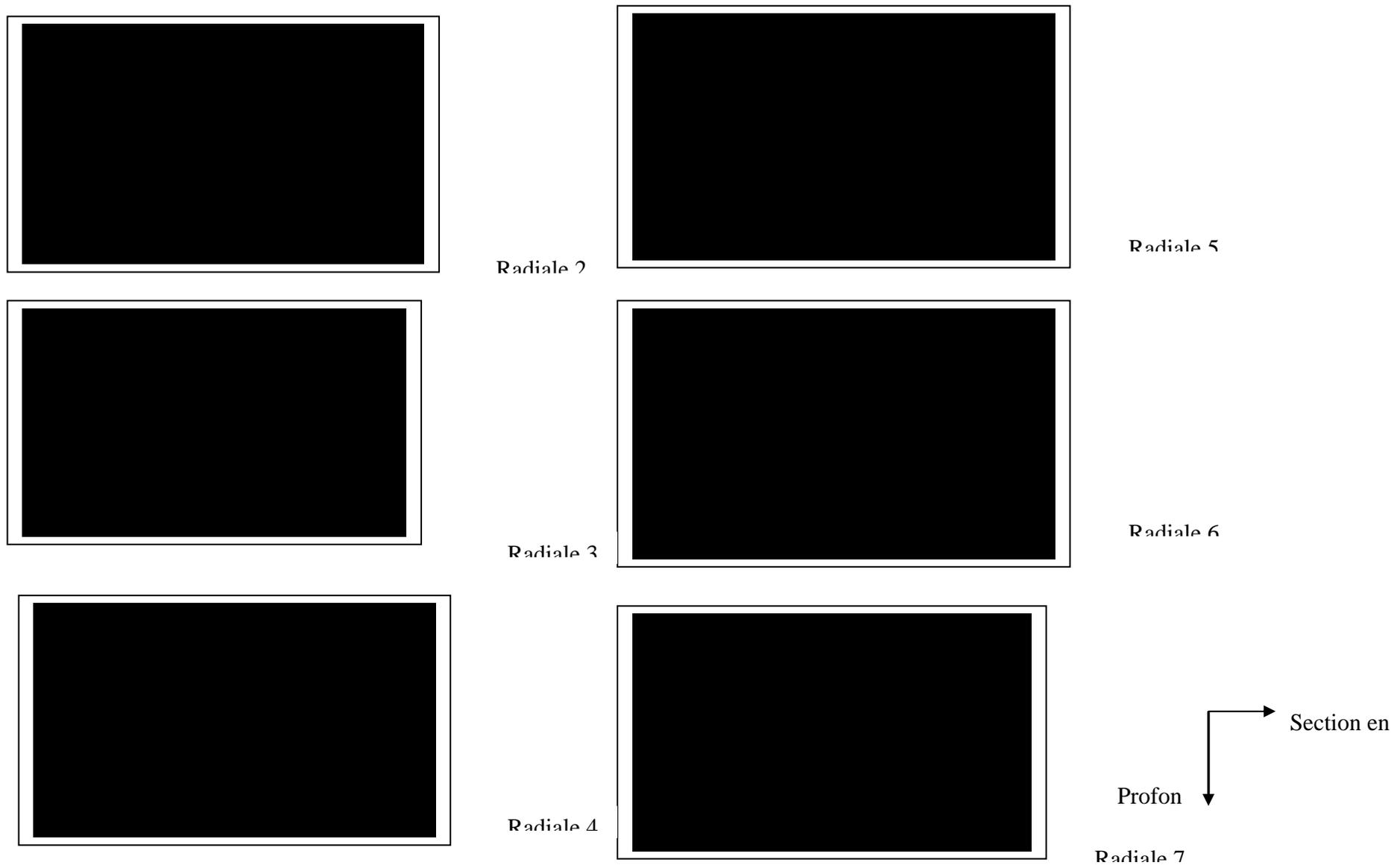


Figure 32 : Courbes morphologiques du chenal sud de l'estuaire du Bandama (Radiale 2 à 7)

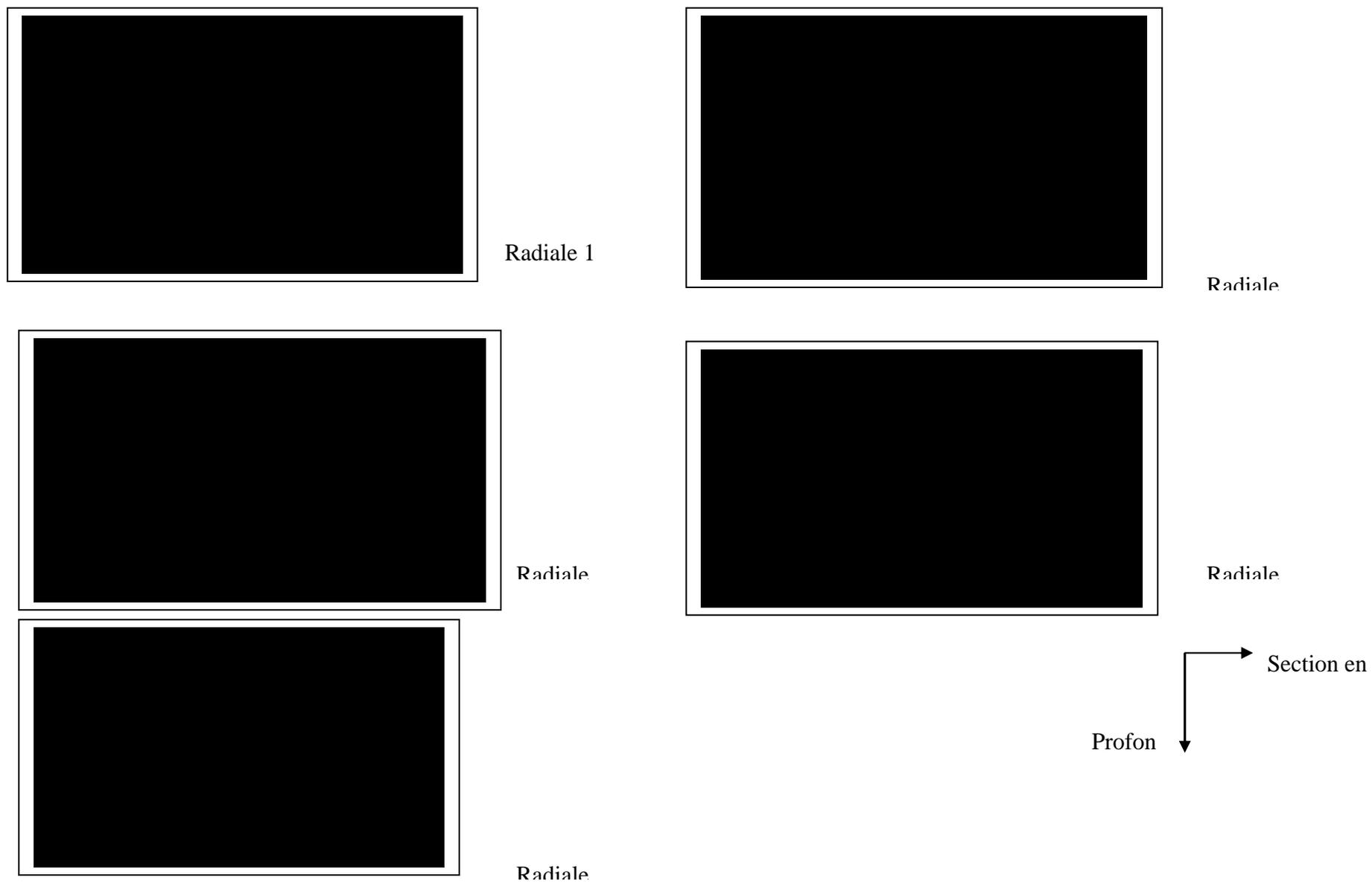


Figure 33 : Courbes morphologiques du chenal de la lagune Nyouzoumou à l'embouchure du Bandama (Radiale 1 à L4)

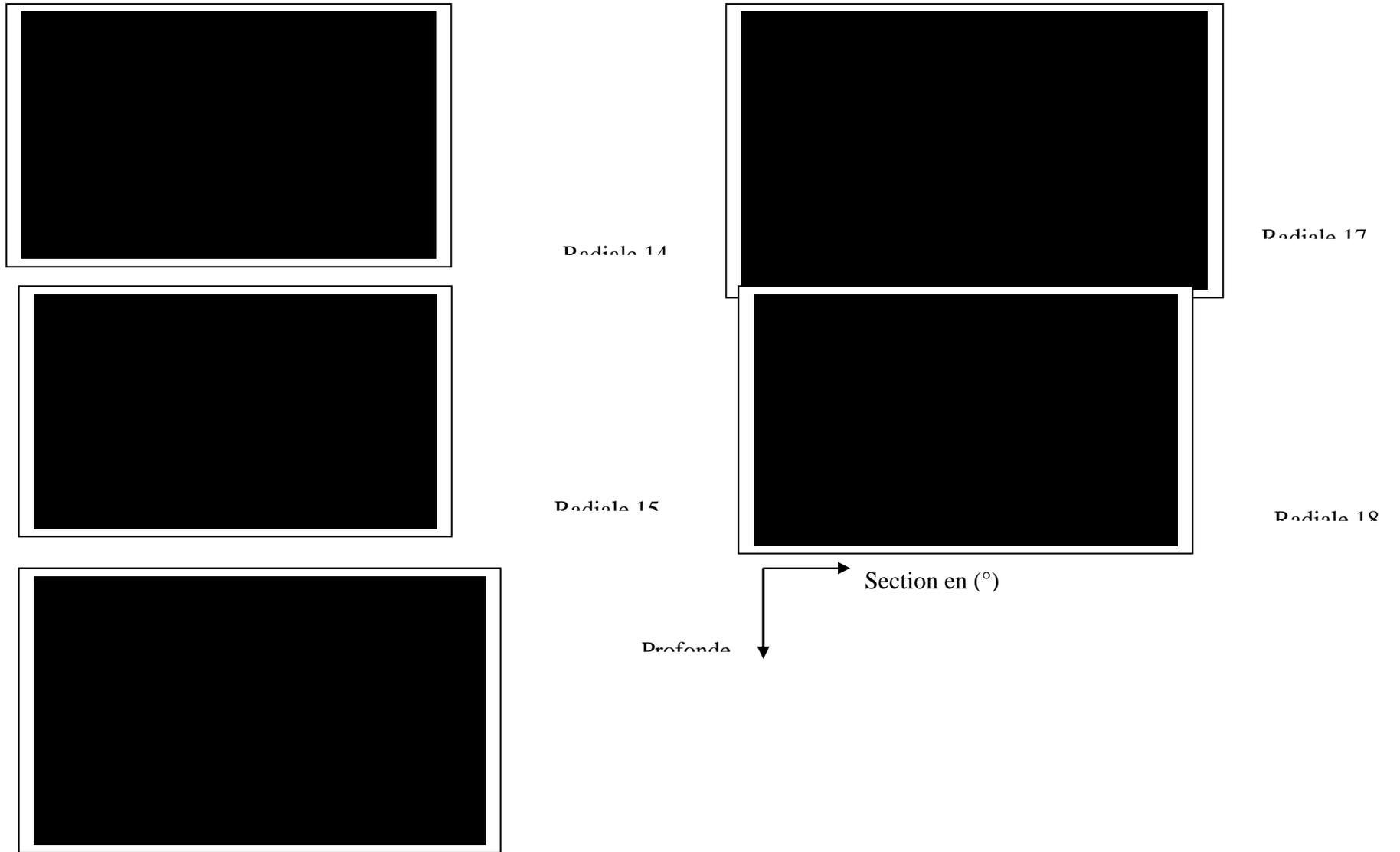
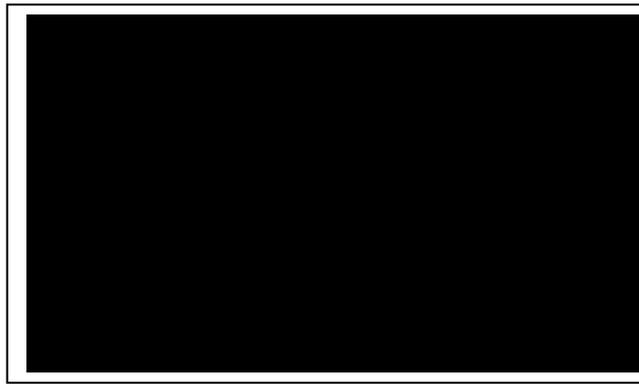


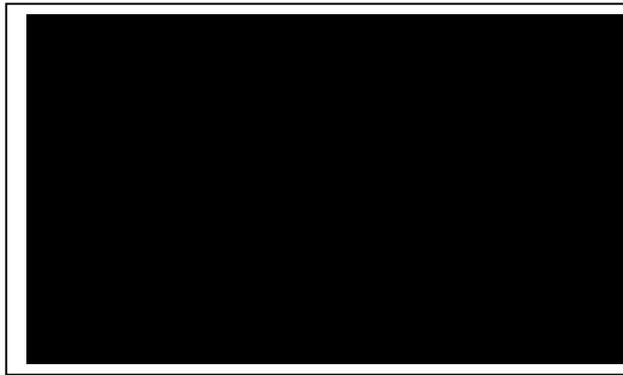
Figure 34 : Courbes morphologiques du chenal sud de l'estuaire du Bandama  
(Radiale 14 à 18)



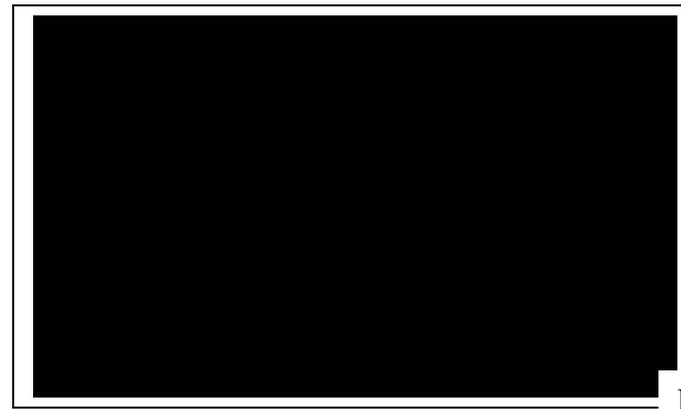
Radiale



Radiale



Radiale



Radiale 9



Radiale

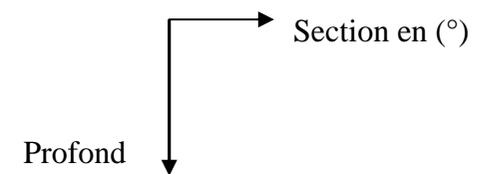


Figure 35 : Courbes morphologiques du chenal nord de l'estuaire du Bandama (Radiale 10 à 13)

## II – 2 - SEDIMENTOLOGIE DES FACIES SUPERFICIELS

Les paramètres granulométriques ont été repartis sur la zone d'étude suivant leurs coordonnées géographiques.

Les figures 36 et 37 montrent la répartition des pourcentages granulométriques en histogrammes de fréquence. Cette répartition fait apparaître trois (3) zones dont les limites sont grossièrement dessinées.

- la partie nord de la lagune Tagba et la zone immédiatement au Nord de la grande île sont constituées de sables moyens à très fins. En effet, l'histogramme de fréquence montre une distribution unimodale avec une classe entre 1,25 mm et 0,063mm ;

- du côté de la lagune Nyouzoumou, à l'extrémité Est de la passe, se trouve un faciès de sables fins à très fins. La distribution est unimodal avec une prédominance de sables fins ;

- la partie ouest de la passe est constituée de sables dont la taille varie de 0,8 mm à 0,063 mm avec un pic à 0,1 mm.

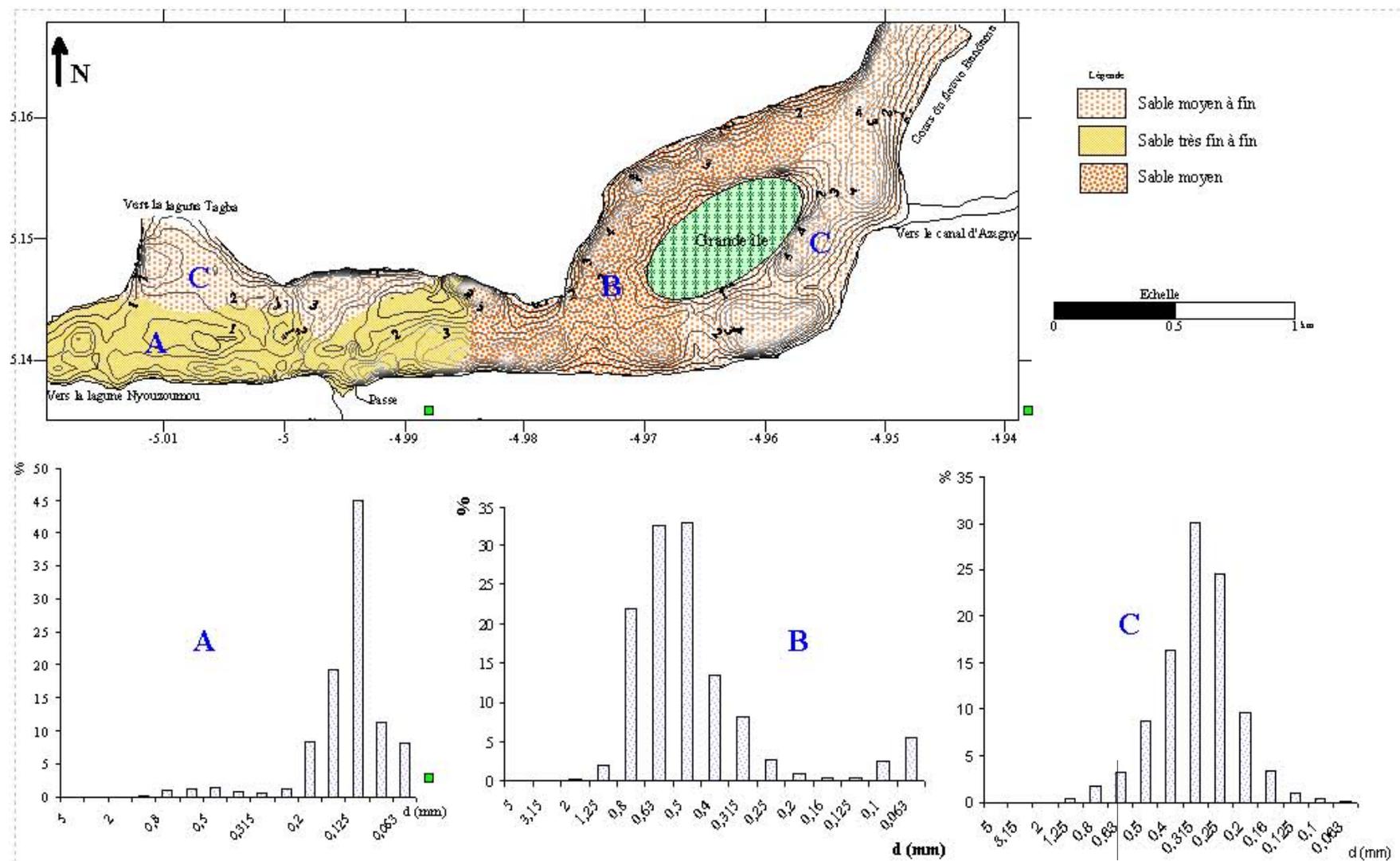


Figure 36 : Distribution des faciès granulométriques selon la répartition des histogrammes de fréquence à l'embouchure du fleuve Bandama

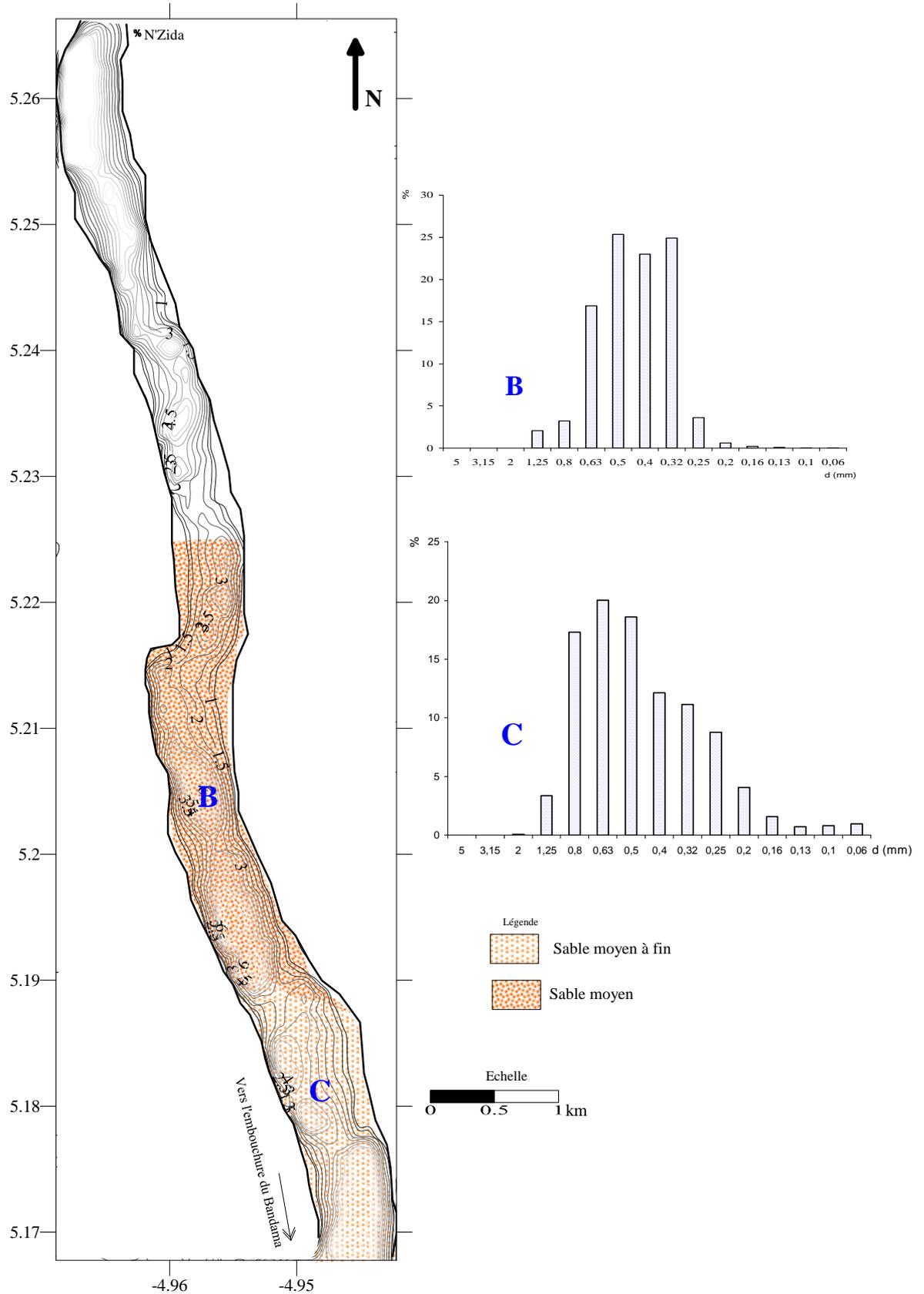


Figure 37 : Distribution des faciès granulométrique selon la répartition des histogrammes de fréquence ( du canal au pont de N'Zida)

## **Répartition des paramètres granulométriques**

Les paramètres granulométriques considérés dans cette étude sont la moyenne granulométrique et l'écart type.. La répartition des fractions granulométrique A, B, C et D a elle aussi été analysée afin de mettre en évidence le pourcentage de chaque fraction granulométrique dans les faciès sédimentaires.

### **Les fractions granulométriques :** (figures 38 à 45)

L'analyse granulométrique permet de distinguer les fractions granulométriques suivantes :

- Fraction A :  $\emptyset > 500 \mu\text{m}$
- Fraction B :  $500 \mu\text{m} > \emptyset > 200 \mu\text{m}$
- Fraction C :  $200 \mu\text{m} > \emptyset > 100 \mu\text{m}$
- Fraction D :  $\emptyset < 63 \mu\text{m}$

La distribution des teneurs en fraction A (figures 38 et 39) montre que cette fraction est faiblement représentée dans l'ensemble des sédiments. Les plus fortes concentrations en fraction A (20 à 40 % ) se rencontrent essentiellement au nord de la grande île.

Les cartes de répartition des teneurs en fraction B (figures 40 et 41) montrent que les plus fortes teneurs ( > 60 % ) se rencontrent à proximité de la passe. Sur l'ensemble de la zone étudiée, les sédiments ont une teneur en fraction B comprise entre 40 et 60 %.

Les figures 42 et 43 montrent l'amont de l'estuaire jusqu'à environ 2 km de la passe. Les teneurs en fraction C sont inférieures à 10 %. Au niveau de la rive Est de la passe, les teneurs sont comprises entre 10 et 20%. A la rive ouest, elles sont comprises entre 20 et 40 %.

Les cartes de répartition des teneurs en fraction D (figures 44 et 45) montrent qu'à proximité de la passe, les sables à l'ouest ont des teneurs qui avoisinent les 60 % alors qu'à l'est, les teneurs sont comprises entre 20 et 40%.

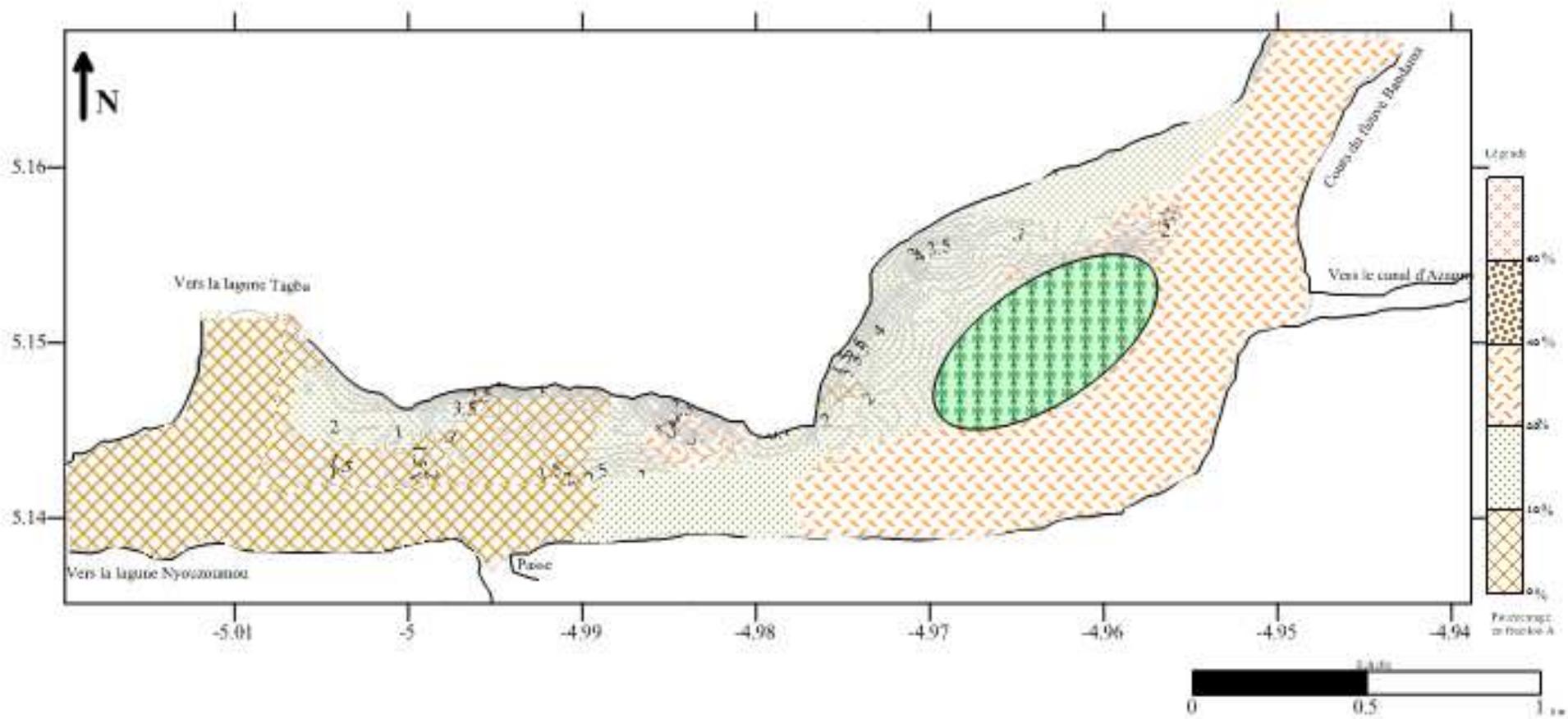


Figure 38: Répartition des teneurs en fraction A dans l'estuaire (zone 1 : extrême sud de l'estuaire) ( $D > 500 \mu$ )

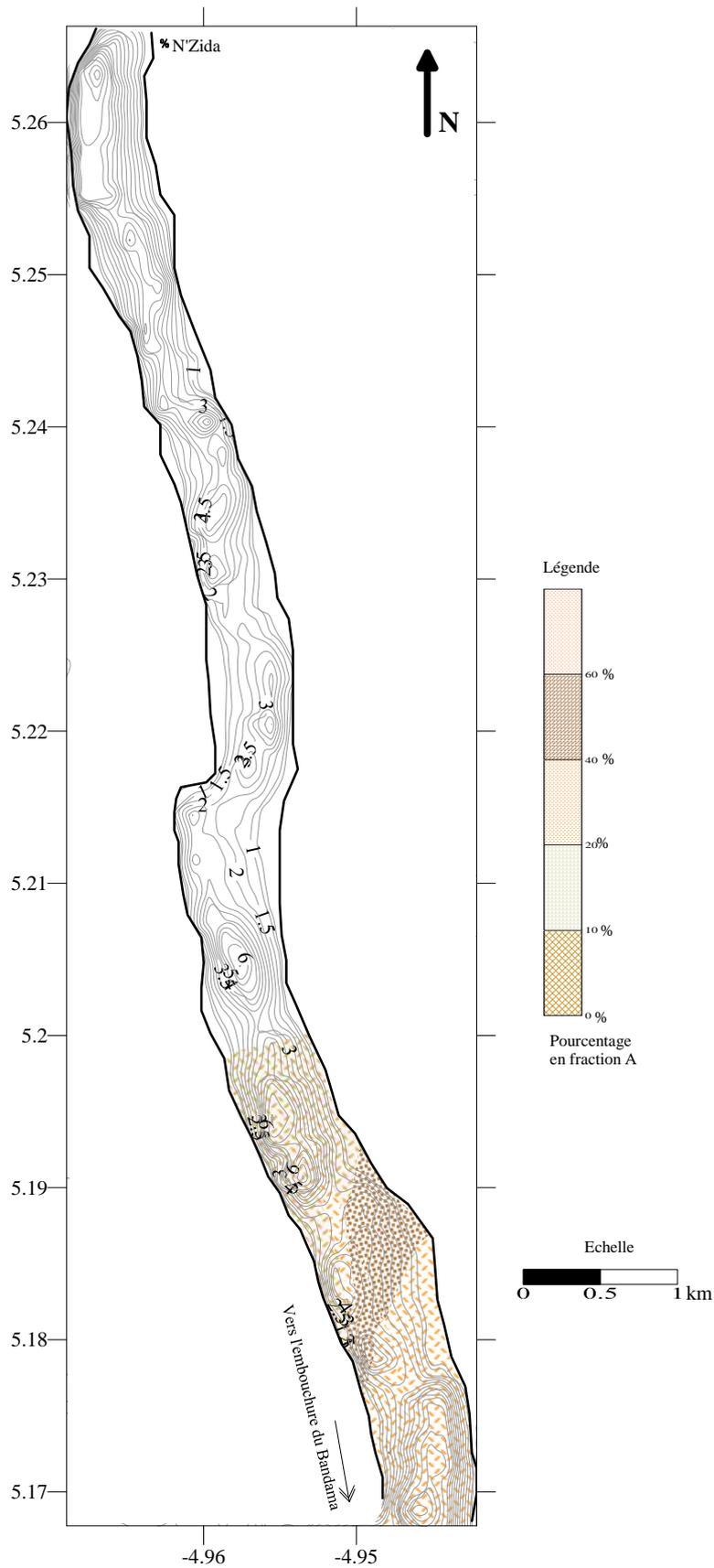


Figure 39 : Carte de répartition des teneurs en fraction A dans l'estuaire (du canal au pont de N'Zida) ( $D > 500\mu$ )

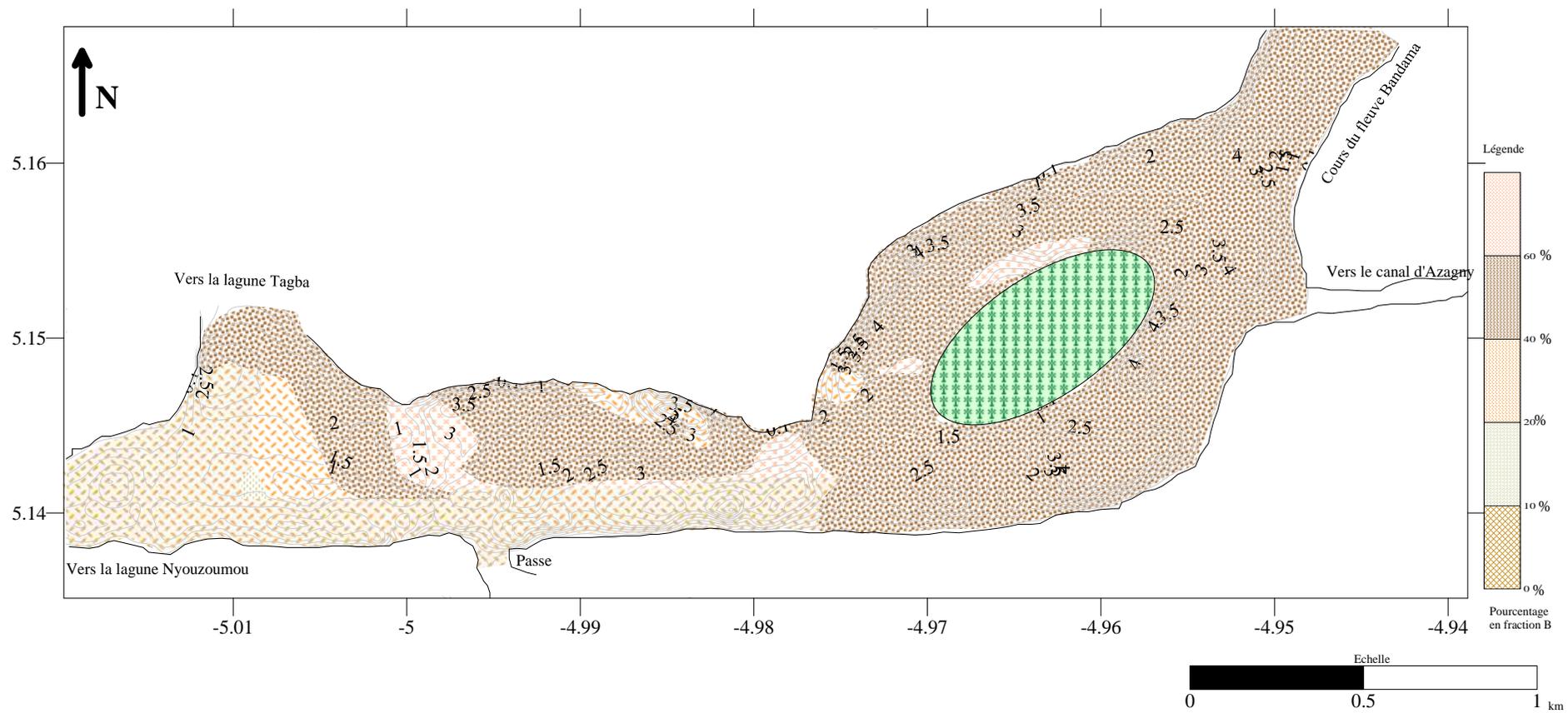


Figure 40 : Répartition des teneurs en fraction B dans l'estuaire (zone 1 : extrême sud de l'estuaire) ( $200 \mu < D < 500 \mu$ )

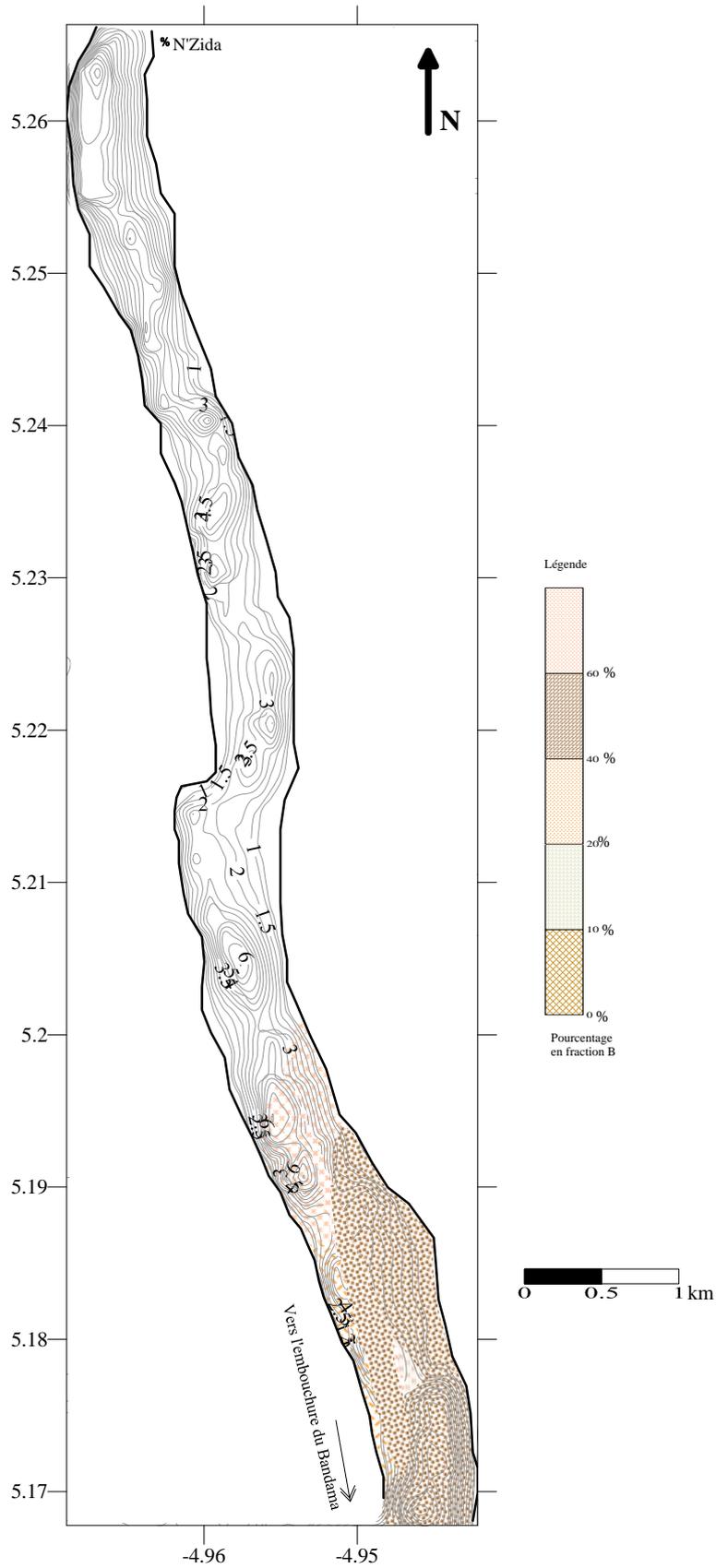


Figure 41: Carte de répartition des teneurs en fraction B dans l'estuaire (du canal au pont de N'Zida) ( $100 \mu < D < 200 \mu$ )

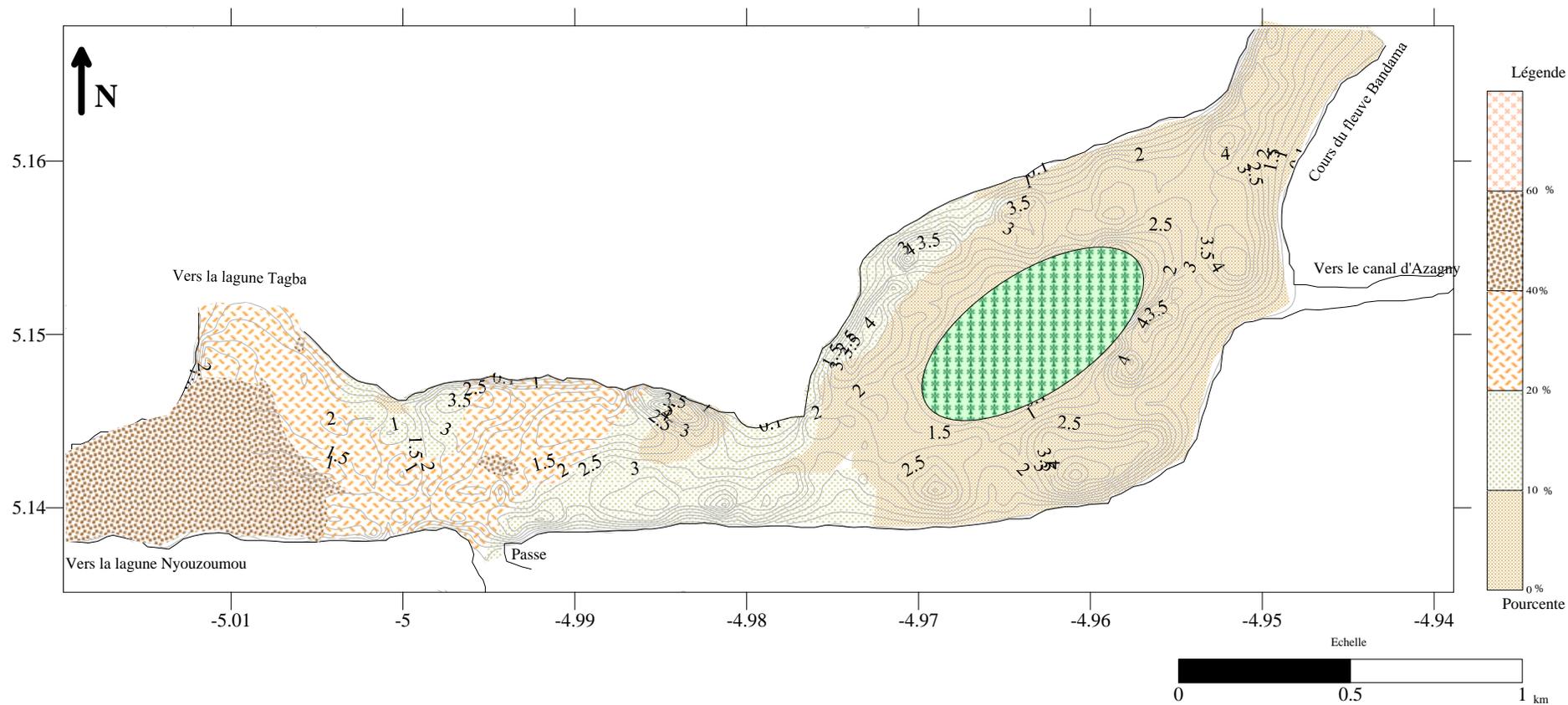


Figure 42 : Carte de répartition des teneurs en fraction C dans l'estuaire à l'embouchure (extrême sud de l'estuaire) ( $100 \mu < D < 200 \mu$ )

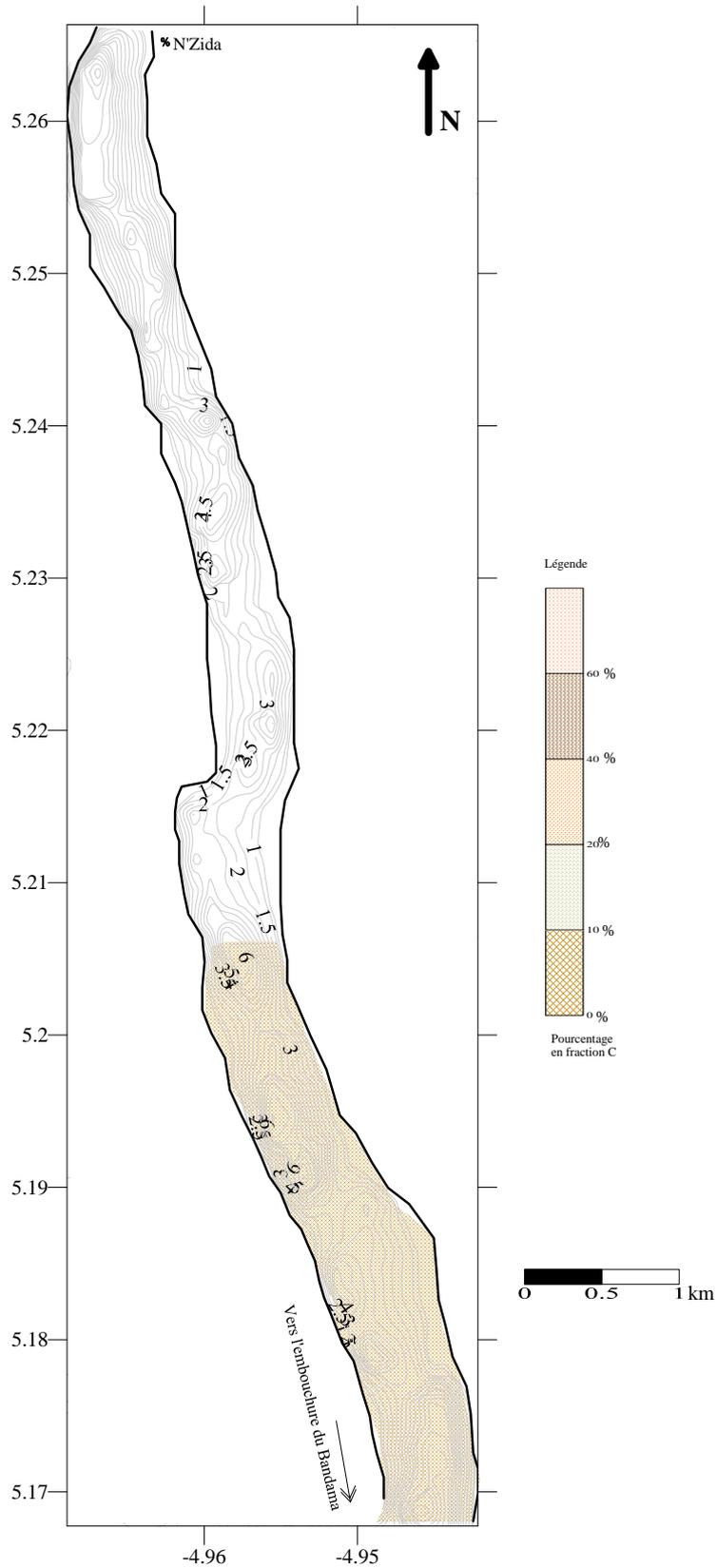


Figure 43 : Carte de répartition des teneurs en fraction C dans l'estuaire (du canal au pont de N'Zida) ( $100 \mu < D < 200 \mu$ )

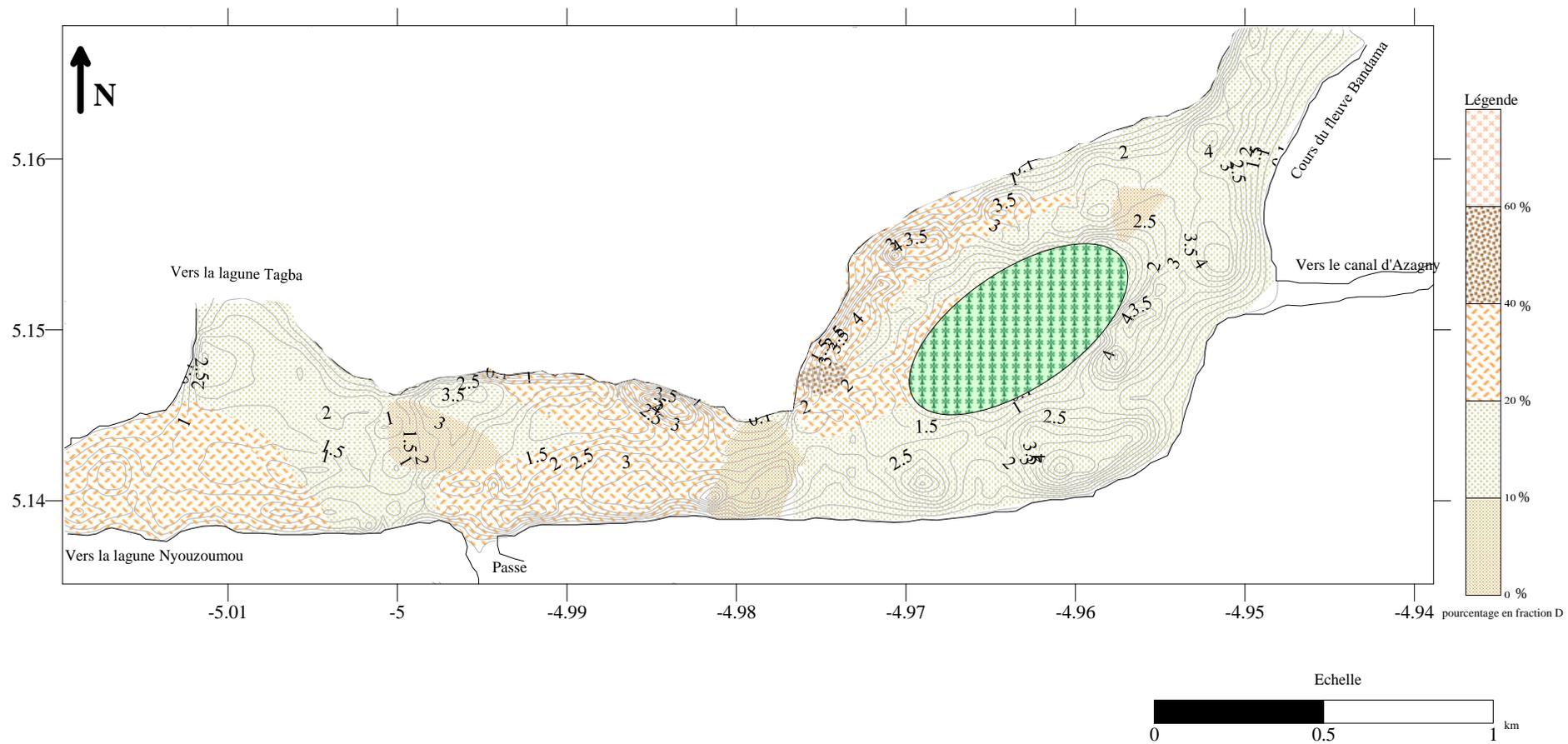


Figure 44 : Carte de répartition des teneurs en fraction D dans l'estuaire à l'embouchure ( $D < 100 \mu$ )

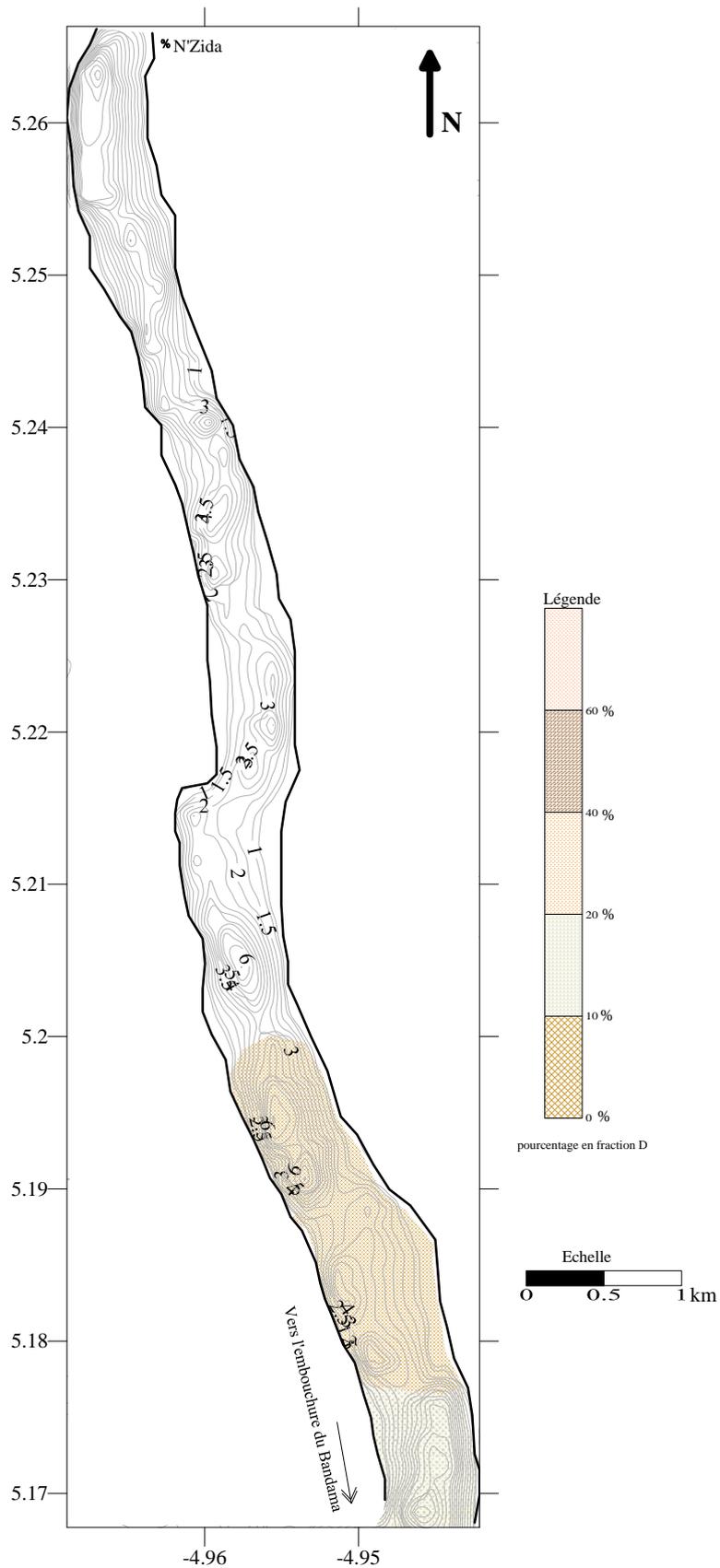


Figure 45 : Répartition des teneurs en fraction D dans l'estuaire ( $d < 100 \mu$ ) ( du canal au pont de N'Zida)

## **Répartition des moyennes granulométriques (figures 46 et 47)**

L'analyse des moyennes montre trois faciès :

- un faciès de sables très fins à l'ouest de la zone d'étude ;
- un faciès de sables fin à l'est ;
- et un faciès de sables moyens au nord.

### Les faciès des sables moyens ( $315\mu\text{m} < Mz < 500\mu\text{m}$ )

Ces sables constituent quelques îlots parsemés dans l'estuaire surtout aux environs de l'embouchure. Cette fraction sableuse constitue en moyenne 40 % dans l'ensemble des échantillons de l'estuaire (figures 46 et 47).

Sur les îlots identifiés comme faciès de sables moyens, cette fraction représente plus de 60 % des échantillons. Ces sables sont en général des sédiments bien classés avec des écarts types compris entre 0,35 et 0,50.

### Le faciès des sables fins ( $125\mu\text{m} < Mz < 315\mu\text{m}$ )

Ce faciès est localisé dans la partie ouest de l'embouchure et contigu au fleuve. Ce faciès caractérise l'ensemble de cette zone. Ce sont des sables fins avec un pourcentage variable (10 à 20 %) de vase. Ces sables sont modérément classés à bien classés.

### Les faciès des sables très fins ( $63\mu\text{m} < Mz < 125\mu\text{m}$ )

Ce faciès se localise principalement dans la partie ouest de l'embouchure. Dans ce faciès, la fraction élémentaire comprise entre  $100\mu\text{m}$  et  $200\mu\text{m}$  constitue 20 à 40 % des sédiments sur la partie ouest de l'embouchure et se prolonge vers la lagune tagba. Par contre, vers la lagune nyouzoumou, cette fraction constitue 40 à 60 % de chaque échantillon. La carte de répartition des écarts type montre que ces sables sont très bien classés à l'embouchure mais bien classés sur le reste de la zone.

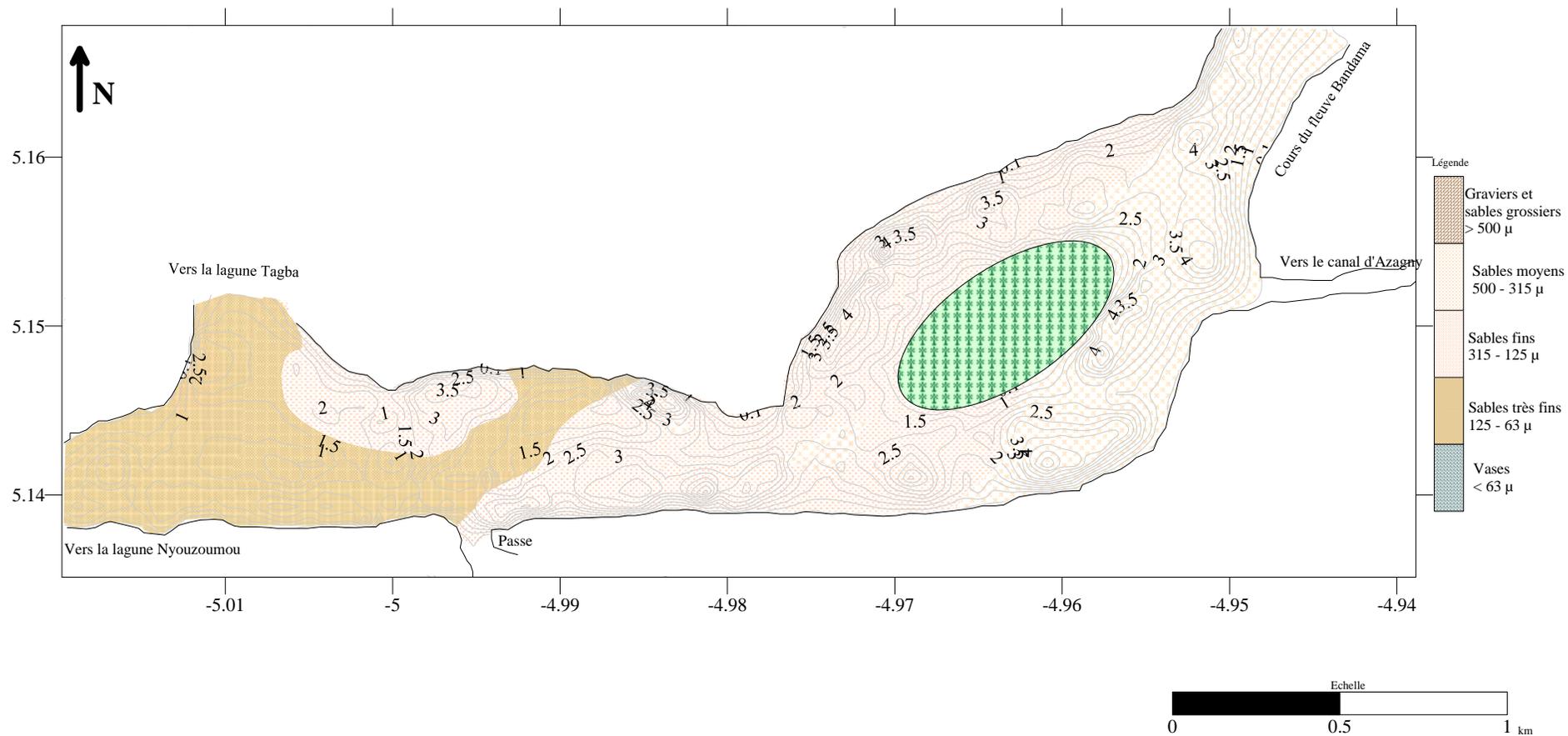


Figure 46 : Carte de répartition des moyennes granulométriques dans l'estuaire (zone 1 : extrême sud de l'estuaire)

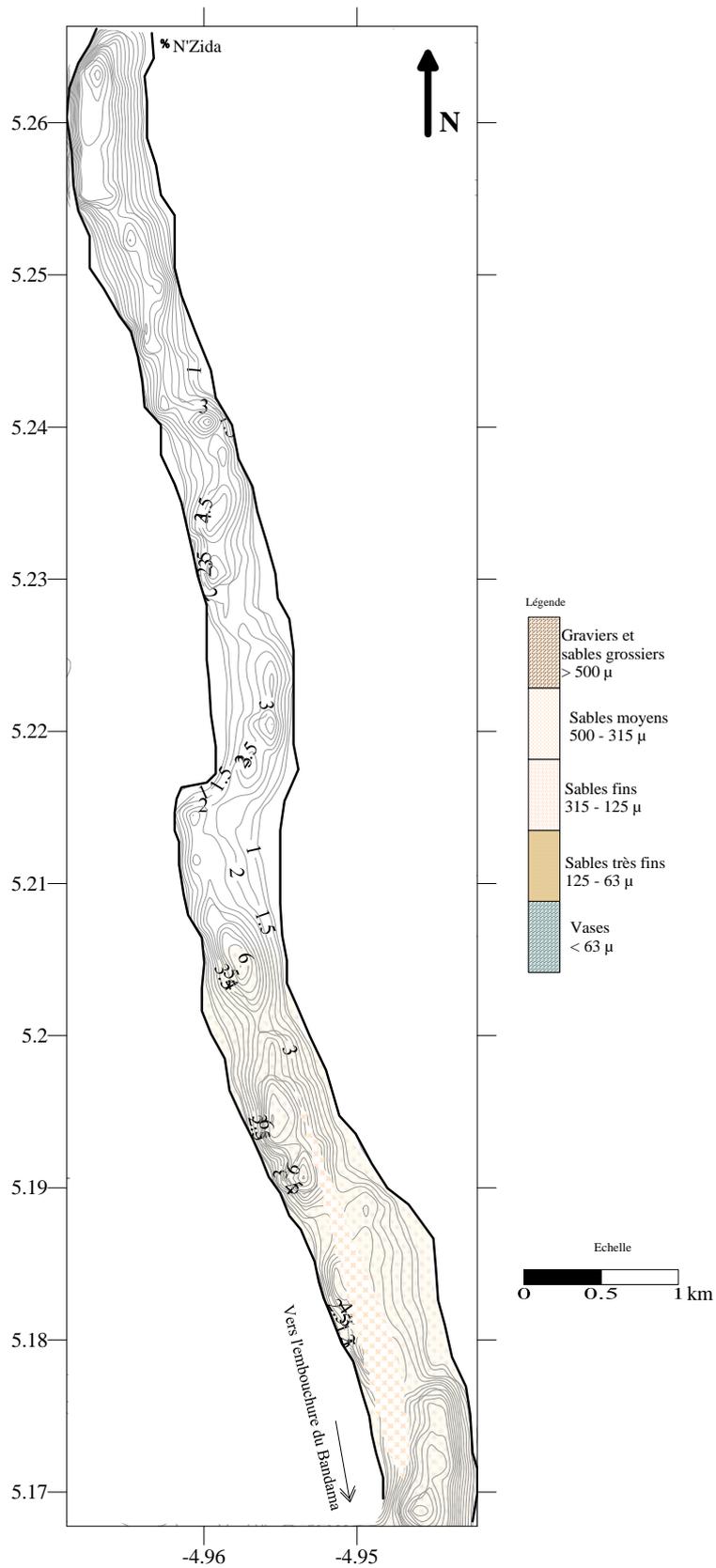


Figure 47 : Carte de répartition des moyennes granulométriques dans l'estuaire (du canal au pont de N'Zida)

### **La carte de répartition de l'écart type (figures 48 et 49)**

A proximité de la passe, se rencontre un faciès de sables fin très bien classés. Sur le reste de la zone étudiée, les sables sont généralement bien classés cependant on rencontre quelques îlots de sédiments modérément classés

Les sédiments bien classés à proximité de l'embouchure témoignent de l'extrême turbulence de cette zone même pendant la phase d'accumulation sableuse. Signalons que pendant les périodes turbulentes, le remaniement sédimentaires laisse au abords de l'embouchure des sédiments grossiers très bien classés, (photo 5) . En effet, les paramètres hydrauliques qui agissent sur cette zone sont complexes. Les allées et venues des vagues, le mouvement oscillatoire des masses d'eau dû à la marée mais aussi le débit du fleuve remanient sans cesse les sédiments à l'embouchure.

Les méga rides, structures sédimentaires rencontrée sur la plage en marée basse sont les témoins de la grande force du courant à cet endroit (photo 6).

Aussi, la stratification des sédiments des micros falaises érigés peut-elle témoigner de l'alternance des phases dynamiques différentes dans la mise en place de ces micros falaises sableuses (photo 7).

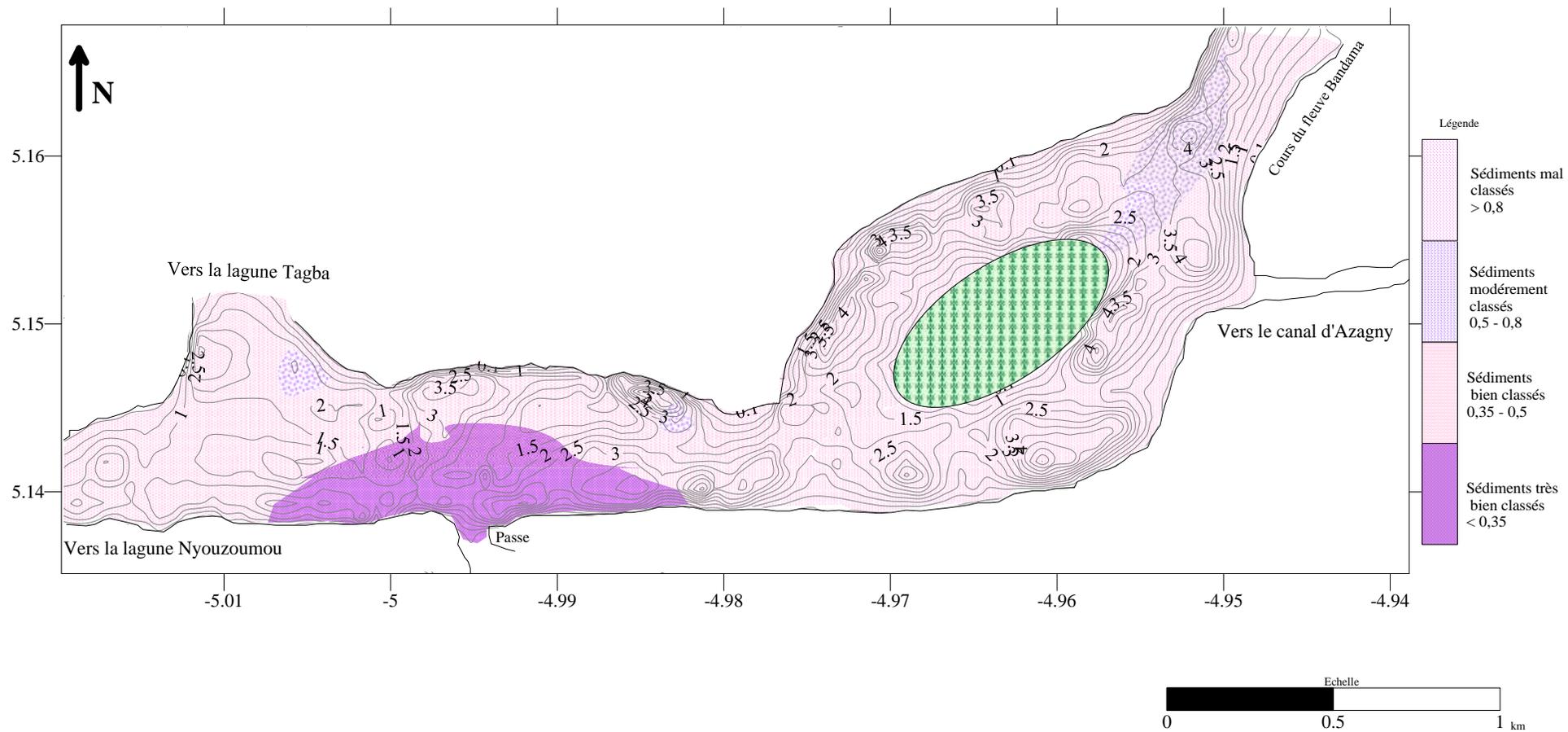


Figure 48 : Carte de répartition des écarts types dans l'estuaire (zone 1 : extrême sud de l'estuaire)

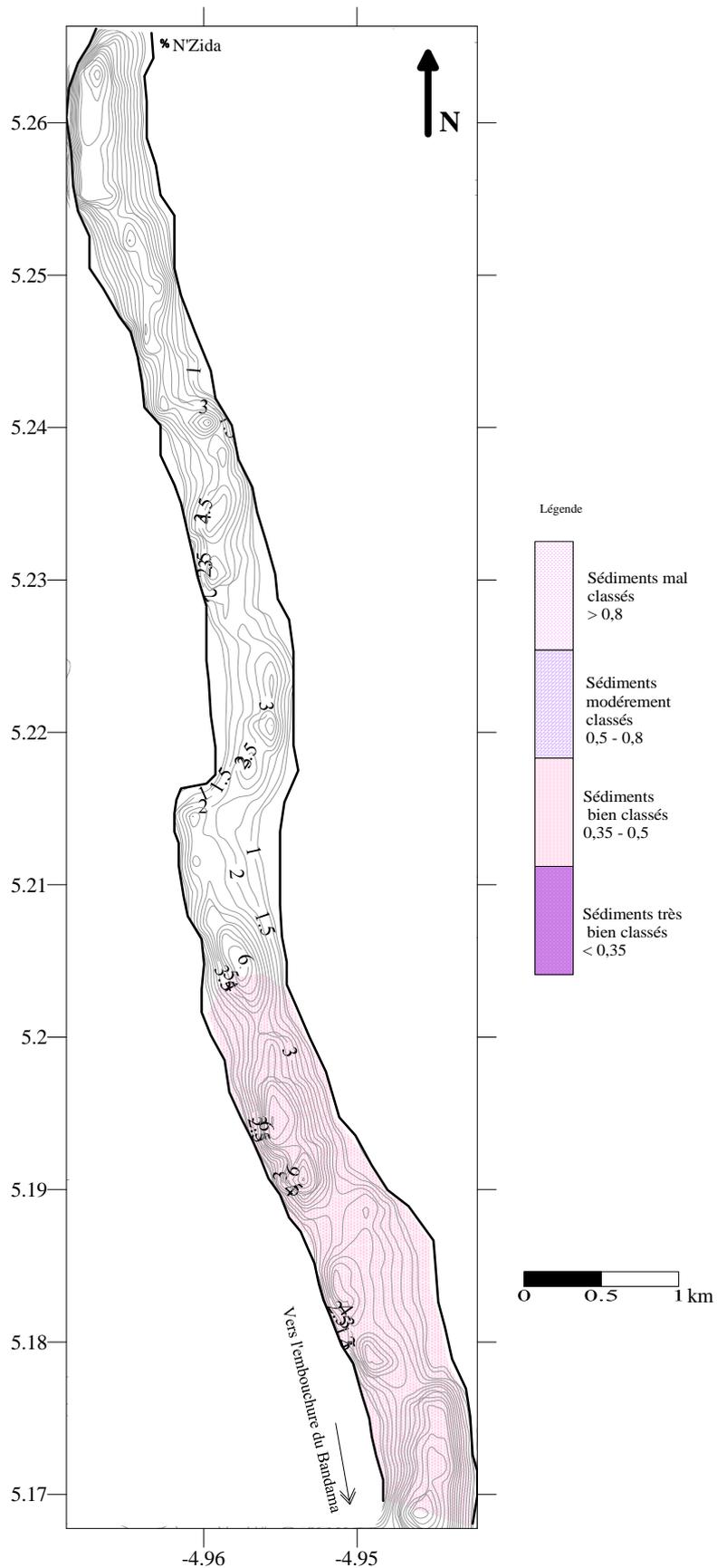


Figure 49: Carte de répartition des écarts types dans l'estuaire (du canal au pont de N'Zida)



Photo 5 : Sables grossiers aux abords de l'embouchure



14 cm

---

Photo 6 : Méga rides observées sur les rives en marée basse

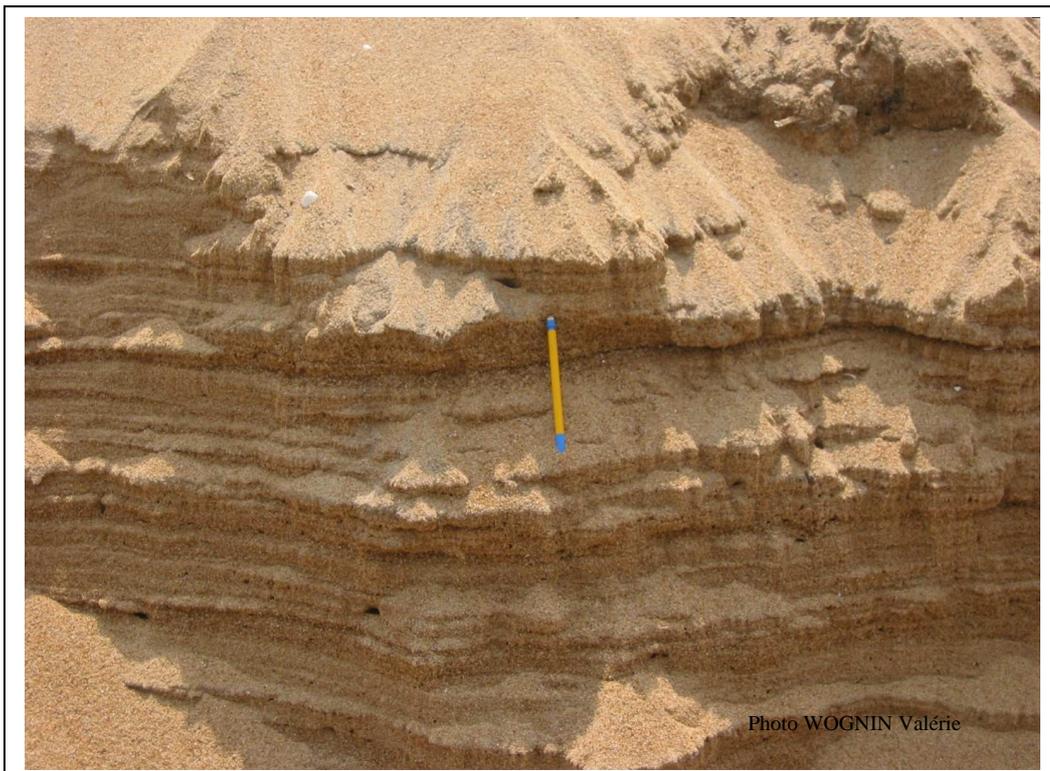


Photo 7 : Micro falaise de sables stratifiés (Structure de la flèche sableuse)

## Discussion

La carte bathymétrique issue de nos travaux présente des similitudes à celle réalisée par Abbé (1993) à proximité de l'embouchure. En effet, tout comme sur la carte bathymétrie issue de nos travaux, les chenaux proches de l'embouchure (le chenal de la lagune nyouzoumou et celui du fleuve bandama) objet de la carte bathymétrique de Abbé (1993), montrent des profondeurs de 1 à 6 mètres dans le chenal principal du bandama et des profondeurs 1 à 4 mètres dans le chenal principal de la lagune Nyouzoumou.

Aussi, le niveau de référence utilisé est un paramètre important qui peut influencer la profondeur dans un levé bathymétrique. Affian (2002) Le niveau de référence utilisé pour nos travaux (point géodésique dont la hauteur est de 11m au dessus du niveau de la mer) fait référence au niveau de nivellement général de la Côte d'Ivoire (NGCI).

Au niveau de la sédimentologie des faciès superficiels, nos résultats concordent avec ceux de Abbé (1993) mais différent de ceux de Lecolle (1972). En effet, selon Lecolle (1972), des sédiments essentiellement vaseux ( $d < 10 \mu\text{m}$ ) tapissent les fonds de l'estuaire. Ces vases recouvrent des sables fins à très fins. Dans notre cas, des sédiments vaseux se rencontrent loin de la passe au delà du pont de N'Zida à environ 17 km de l'embouchure. Notons que ces vases signalées par Lecolle (1972) et relativement absentes dans notre cas pourraient être emportées par les courants lors des grandes crues et laisser apparaître les sables fins à très fins. Aussi, signalons qu'à l'heure actuelle, les débits sont assez forts pour expulser en mer la panache turbide formée pendant le flot. D'ailleurs, Affian *et al* (1993) montrent 4 générations de panache turbide expulsées en mer lors de 4 marées basses consécutives à l'embouchure du fleuve Bandama. Par ailleurs, les sables de la dérive littorale contribuent au comblement des chenaux au niveau de l'embouchure.

## **Conclusion partielle**

La morphologie générale de l'estuaire permet de distinguer trois chenaux principaux séparés par des hauts fonds émergeant souvent en période d'étiage ou par des îles occupées par des plantations de cocotiers. Ce sont :

- le chenal de fleuve Bandama ;
- le chenal de la lagune Nyouzoumou ;
- et le chenal de la lagune Tagba..

Les profondeurs varient de 0,4 mètres à 7 mètres dans les parties proches de l'embouchure. Dans tout l'estuaire, la profondeur moyenne est de 3,5 mètres. La profondeur maximale mesurée est de 15 mètres vers le pont de N'Zida. Cette partie a été probablement draguée pour les besoins de la construction du pont. D'une manière générale, des berges au chenal principal, les pentes sont abruptes souvent presque verticales.

La répartition des faciès granulométrique de l'estuaire correspond à celle des unités morphologiques. En effet, d'une manière générale, les hauts fonds sont constitués de sables fins à très fins (diamètres compris entre 125 et 63  $\mu\text{m}$ ) ces sables sont bien classés (l'écart type compris entre 0,35 à 0,5). Ces sables fins contiennent une proportion non négligeable de sables moyens (la fraction B est représentée à environ 20%).

Les chenaux sont en général tapissés de sables moyens avec une teneur assez importante de sables fins.

### **III – EVOLUTION DU SEGMENT DE COTE DE GRAND-LAHOU**

Les processus d'érosion et de sédimentation à l'embouchure du fleuve Bandama restent particulièrement complexes en raison des interactions dynamiques entre l'estuaire et les transits littoraux. Sur l'estran particulièrement soumis à l'influence des vagues, l'érosion est très active et est ressentie quotidiennement par les riverains.

#### **III - 1- EVOLUTION A LONG TERME ( DE 1957 A 2003)**

La dynamique du trait de côte sur une période de 43 ans est étudiée à travers la comparaison de photographie aérienne, (figures 50, 51 et 52). Les résultats de nos investigations (trait de côte dessinée à partir de photographies aériennes et d'images satellites) montrent un recul effectif du trait de côte d'années en années. Sur environ 3 km de côte étudiée, seuls quelques 300 mètres de côte constituent une zone d'accumulation saisonnière de sédiments. Il s'agit de la berge à l'Est de la passe.

La tendance évolutive du cordon à l'ouest de la passe depuis 1957 est à l'érosion. Le recul du trait de côte dans la période 1957 à 1971 est estimé à 11 m. La vitesse résultante est d'environ 0,8 m/an. Cependant il faut distinguer deux zones sur ce cordon selon la vitesse de l'érosion. Sur environ 500 m à partir de la passe c'est à dire au niveau de l'embouchure (Zone 2) il s'agit de la dynamique de la flèche littorale. L'érosion est plus active que sur le reste du cordon (zone 1) où il s'agit de l'érosion côtière. Ainsi, sur cette même période, la vitesse de l'érosion est-elle estimée à 0,3m/an..

De 1971 à 1986, (en 15 années d'intervalles) le trait de côte a reculé d'environ 50 mètres avec une vitesse de 3,33 m/an dans la partie du cordon contigue à l'embouchure (zone 2). Sur le reste du cordon à l'ouest de la première partie (zone 1), le cordon a reculé d'environ 8,85 m avec une vitesse de 0,59 m/an.

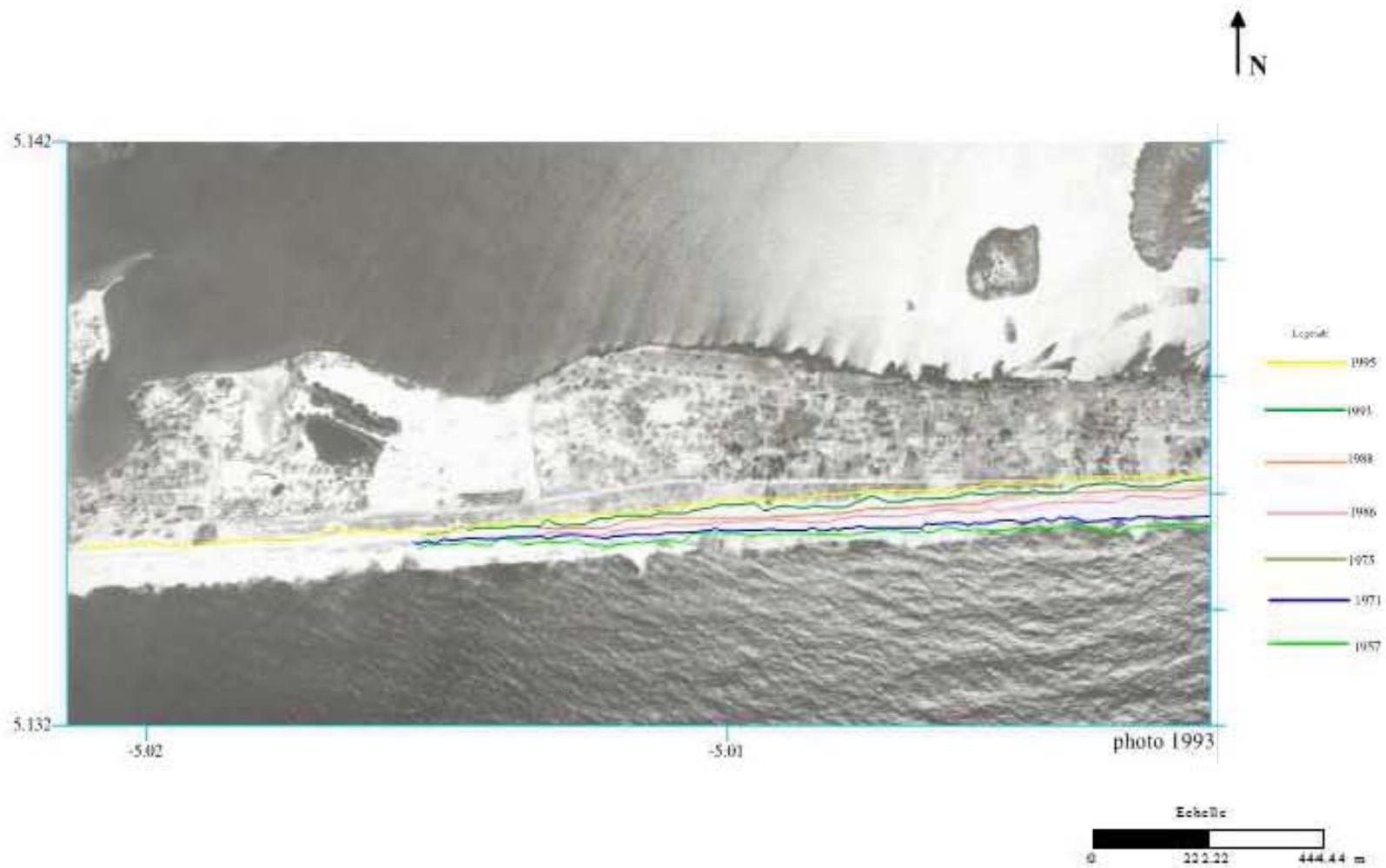


figure 50 : Evolution du cordon Ouest de l'embouchure du Bandama de 1957 à 1995

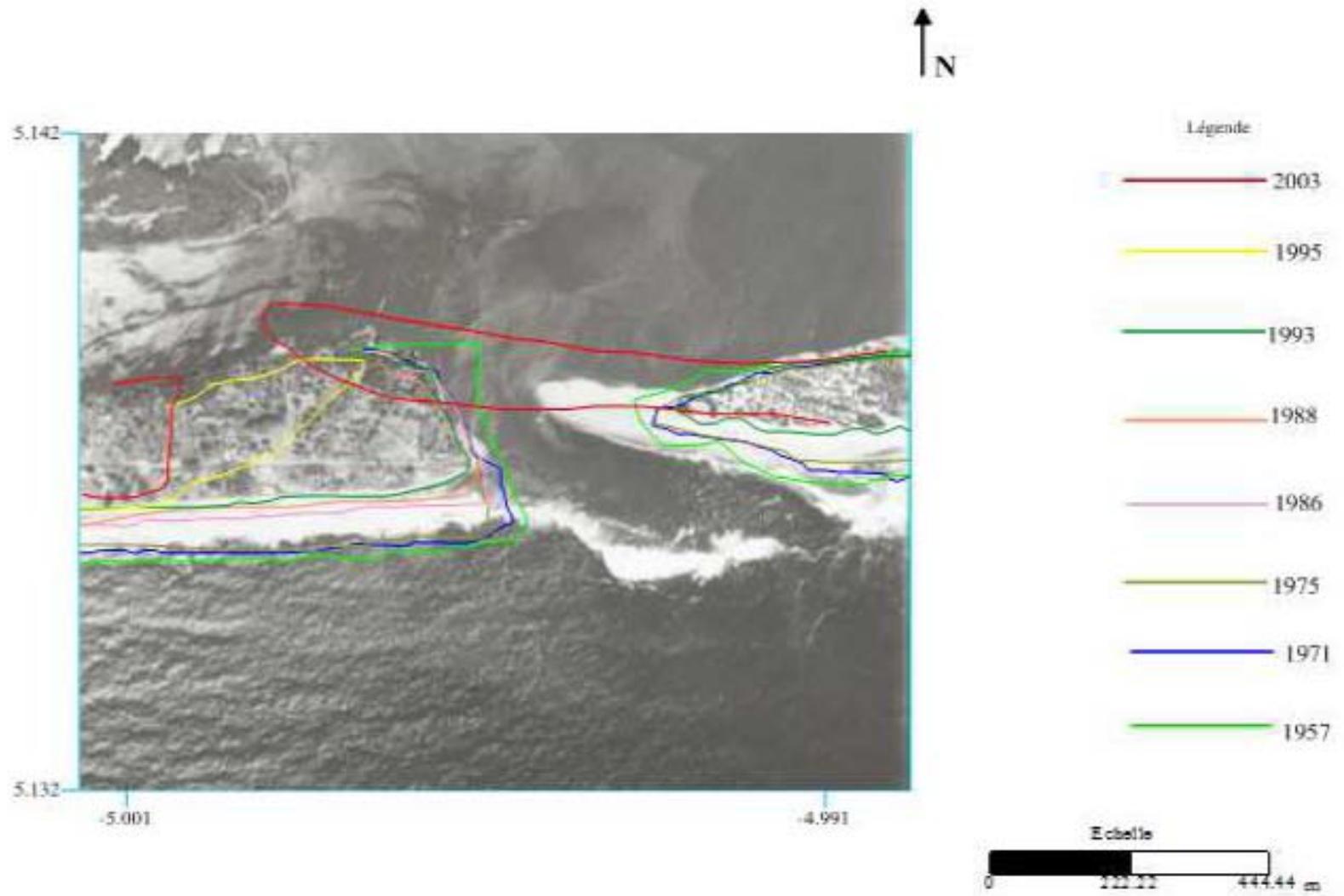


figure 51 : Evolution de l'embouchure du Bandama de 1957 à 2003

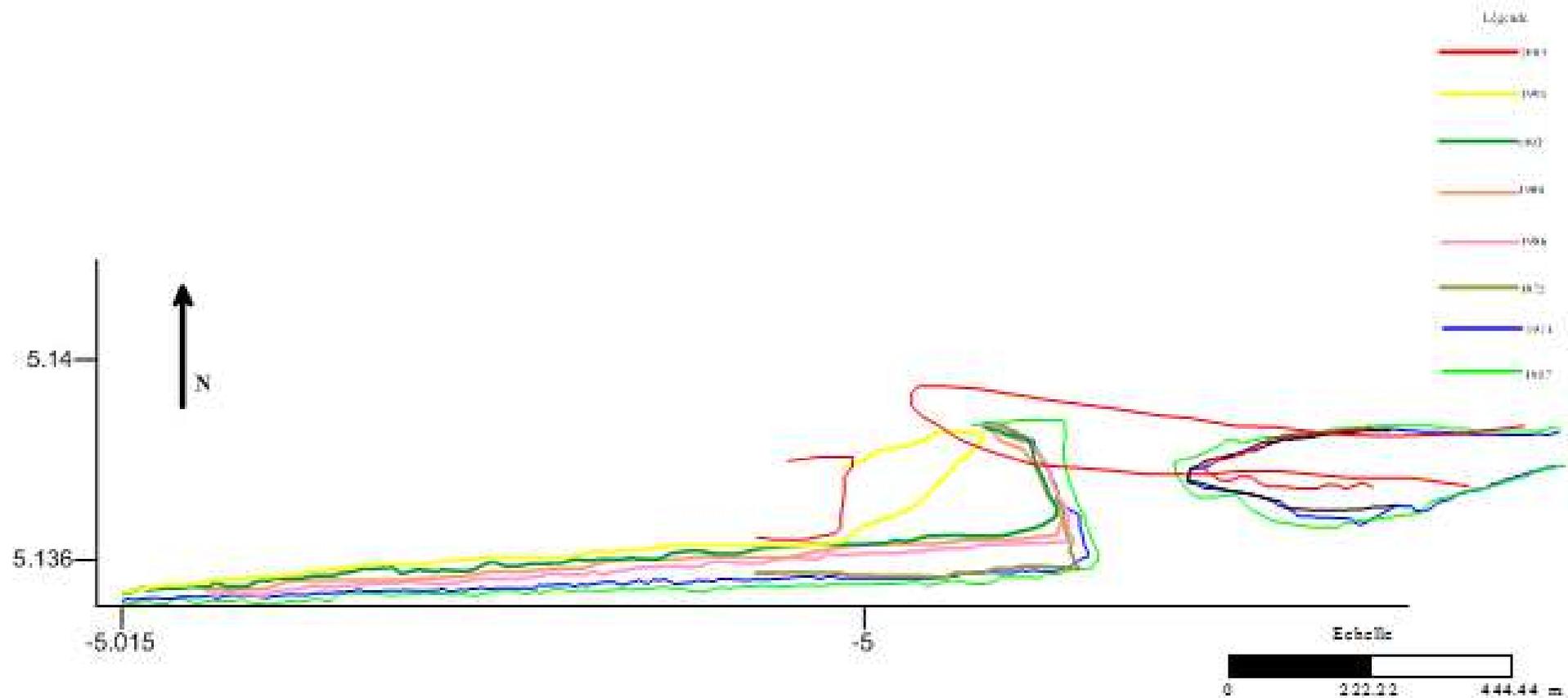


Figure 52 : Evolution des cordons Est et Ouest de l'embouchure du Bandama de 1957 à 2003

Sur la période 1986 à 1988, le trait de côte a évolué de façon spectaculaire. En deux ans, il a reculé de 15,08 m dans la zone 2 proche de l'embouchure. La vitesse dans cette zone est de 7 m/an. C'est cette période qui vit la destruction du pied du phare. Dans la zone 1 plus à l'ouest, le recul est de 9,32 m avec une vitesse moyenne 4,66m/an.

**Tableau 6:** Récapitulatif de la vitesse de l'érosion côtière (Zone 1)

	<b>1971</b>	<b>1986</b>	<b>1988</b>	<b>1993</b>	<b>1995</b>
<b>1957</b>	4,2 m 0,3 m/an	13.05 m 0.45 m/an	22.37m 0.72 m/an	28.17 m 0.78 m/an	46.73 m 1.23 m/an
<b>1971</b>		8,85m 1,23 m/an	18.17 m 1.06 m/an	23.97 m 1.08 m/an	42.53 m 1.77 m/an
<b>1986</b>			9,32 m 4,66 m/an	15.12 m 2.16 m/an	33.68 m 3.74 m/an
<b>1988</b>				5,8 m 1,16 m/an	24.36 m 3.48 m/an
<b>1993</b>					18,56 m 9,28 m/an

**Tableau 7** : Tableau récapitulatif de la vitesse d'érosion de la flèche littorale (Zone 2)

	1971	1986	1988	1993	1995	2003
<b>1957</b>	11 m 0,8 m/an	61 m 2,1 m/an	76,08 m 2,45 m/an	99,44 m 2.76 m/an	266,19m 7 m/an	550,69m 11.9 m/an
<b>1971</b>		50 m 3,33 m/an	65.08 m 3.82 m/an	88.44 m 4.02 m/an	255.19 10.63m/an	539.69 16.86m/an
<b>1986</b>			15,08 7 m/an	38.44 5.49 m/an	205.19 22.79m/an	489.69 28 m/an
<b>1988</b>				23,36 m 4,6 m/an	190.11 m 27.15m/an	474.61 m 31.64m/an
<b>1993</b>					166,75 m 83,4m/an	451.25 45.1 m/an
<b>1995</b>						284,5 m 35,5 m/an

De 1988 à 1993 la vitesse de l'érosion a relativement diminué mais elle ne demeure pas moins élevée. En effet, la cote a reculé de 23,36 mètres en 5 ans. La vitesse moyenne correspondante est de 4,6 m/an dans la zone 2 proche de l'embouchure. Cette période fut celle de la destruction totale du phare de Grand-Lahou. Sur la partie plus à l'ouest (zone 1), l'érosion est estimée à 1,16 m/an.

De 1993 à 1995, dans la zone 2 proche de l'embouchure, l'érosion à atteint une vitesse de croisière. La côte a reculé de 166,75 m avec une vitesse moyenne estimé à 83,37 m/an.

Sur cette même période mais dans la partie plus éloignée de l'embouchure, la côte a reculé de 18,56 m avec une vitesse moyenne de 9,28m/an.

Grâce à des repères et à des relevés de position par GPS, nous avons pu estimer globalement le recul du trait de côte sur la période allant de 1995 à 2003 sur la zone 2 (à l'embouchure).

Ainsi, de 1995 à 2003, le cordon a reculé de 284,5 m avec une vitesse moyenne de 35,5 m/an.

Les tableaux 6 et 7 récapitulent les vitesses d'érosion sur le cordon littoral de Grand-Lahou de 1957 à 2003. L'analyse de ces tableaux montre que la période 1988 à 2003 a été très active.

D'une manière générale, de 1957 à 2003, l'érosion a affecté 550,69 m de terre au niveau de l'embouchure du fleuve.

### **III - 2 EVOLUTION DE LA PASSE**

La morphologie de l'estuaire à l'embouchure a été particulièrement observée tout au long de l'année 2002. De cette observation, l'on peut déduire les remarques suivantes :

- L'étroit cordon littoral qui s'étend depuis l'Est de la passe jusqu'à l'extrémité ouest de la lagune Nyouzoumou, et où sont installés des villages de pêcheurs est malheureusement soumis à une forte érosion.

- Les caractéristiques morphologiques de l'embouchure varient très rapidement avec les saisons, mais aussi avec les marées. L'observation de l'embouchure sur des photos aériennes (figure 53) montre deux types de morphologie liés aux conditions du moment de la prise de vue.

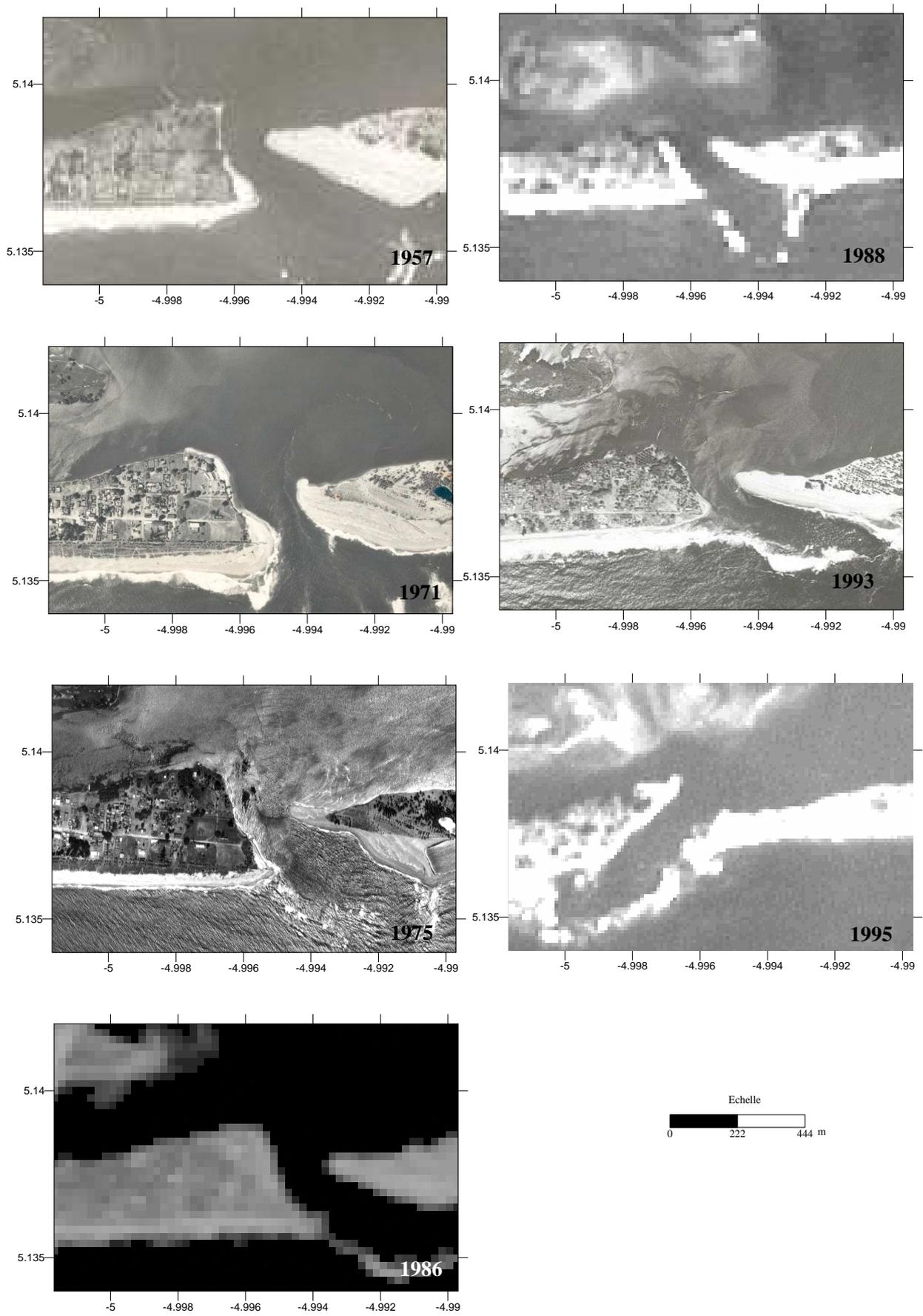


Figure 53 : Morphologie de la passe de 1957

Ces deux types de morphologie schématisés sur la figure 56 montrent que :

- En période d'étiage, la largeur de la passe est très réduite (70 mètres). Il se forme à quelques dizaines de mètres au Nord de la passe un banc de sable qui émerge progressivement pour former une île qui sera rapidement colonisée par la végétation.

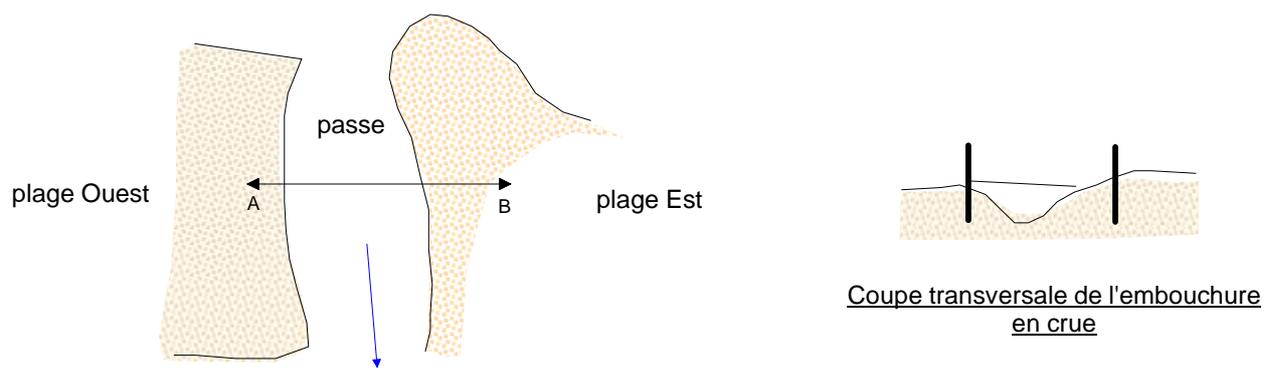
- Sur le bord Est de la passe, s'accumulent d'importantes quantités de sables marins qui emmène le cordon Est à évoluer progressivement vers l'Ouest, (figure 54 b). Une coupe transversale au niveau de la passe montre un chenal étroit avec des fortes ruptures de pente sur les deux bords de la passe (figure 54 b)

- En période de crue, l'ouverture de la passe est à son maximum. L'île sableuse formée à la tête de la passe pendant l'étiage est complètement immergée. La profondeur de l'estuaire à cet endroit atteint parfois 0,6 mètres. Aussi, la flèche sableuse formée au bord est de la passe à l'étiage disparaît -elle pour faire place à une passe élargie (plus de 200 mètres) (figure 54 a).

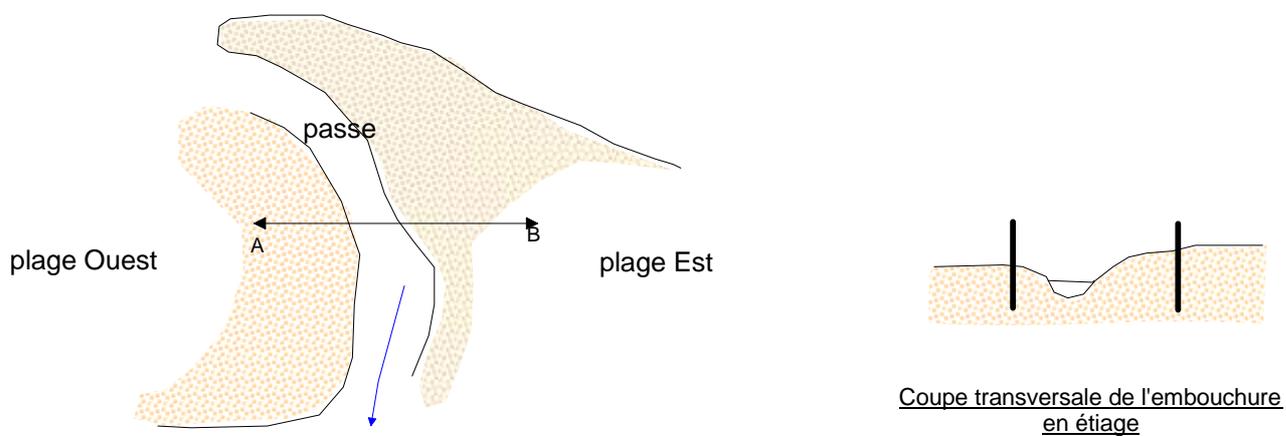
-A ces phénomènes saisonniers s'ajoutent les variations morphologiques dues aux tempêtes.

La période de 1993 à 1995 a été, tout comme pour le trait de côte, une période très agitée. En deux ans, le bord ouest de l'embouchure a reculé de 445,15m dans son secteur sud et de 49,3 m sur le bord nord. (figure 55)

Suivant les rapports entre les forces hydrauliques (dues aux courants de marée, du fleuve et la force des vagues), la morphologie et l'emplacement de la passe ont varié. En effet, selon Abbé *et al*, (1993) l'embouchure du fleuve Bandama migre vers l'ouest depuis plus de 40 ans. En 1912, le Bandama se jetait directement dans la mer (Lebourdieu 1958 in Abé et al 1993), probablement au niveau de la grande île.



A Morphologie de l'embouchure en crue



B: Morphologie de l'embouchure en étiage



Figure 54 : Schémas interprétatifs de la morphologie de l'embouchure en période de crue et d'étiage

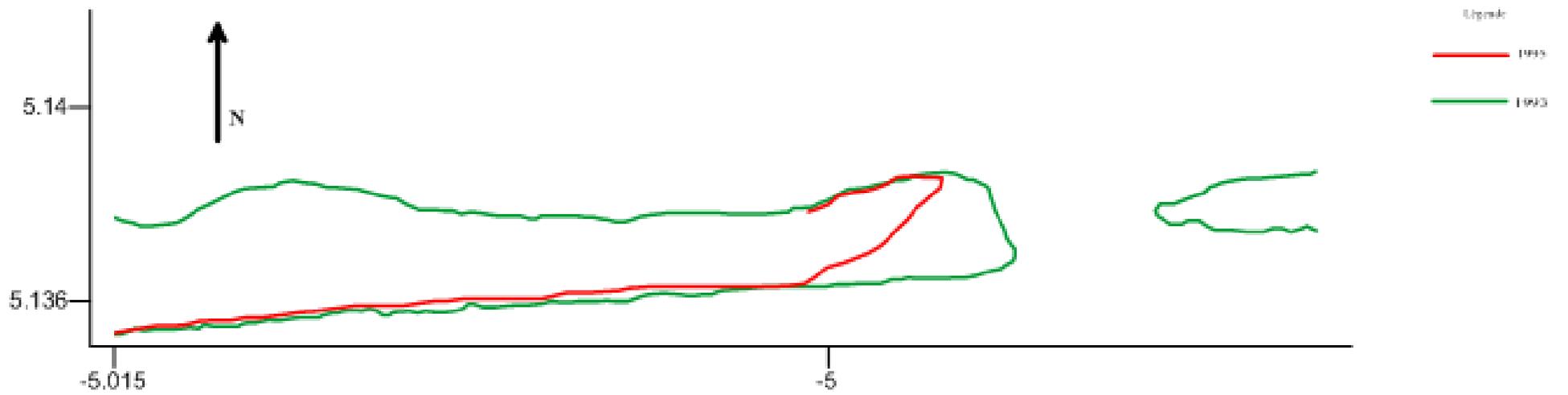


Figure 55 : Evolution de la flèche littorale à l'embouchure du Bandama de 1993 à 1995

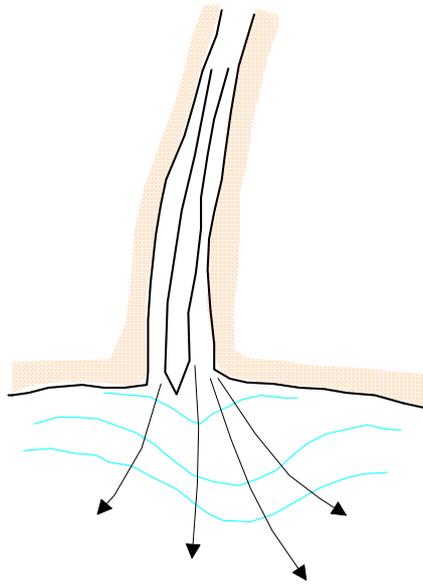
Le débit du fleuve étant relativement faible, l'on a assisté au colmatage de l'embouchure par les dépôts marins, ce qui a conduit à la formation de la grande île.

Par la suite, l'oblicité de la houle par rapport à la côte a entraîné un fort transit littoral qui jusqu'aujourd'hui déplace peu à peu l'embouchure dans le sens du transit c'est à dire vers l'ouest. (figure 56). Ces trois formes consécutives que semble prises par l'embouchure du fleuve Bandama font partie des cinq types d'embouchure définie par MIGNIOT (1982).

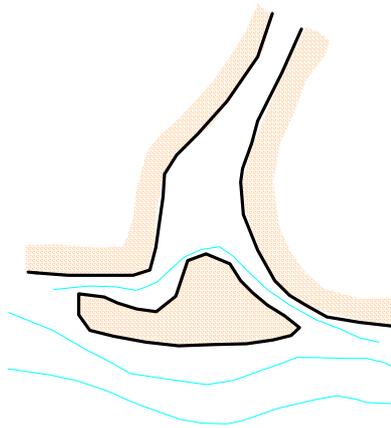
C'est depuis 1952 que l'embouchure passe par la lagune Tagba pour atteindre la mer à travers une passe percée dans le mince cordon sableux (Le BOURDIEC, 1958 in ABE et al., 1993) qui constitue le grau de la lagune Tagba.

La migration de l'embouchure s'accompagne d'une variation de son ouverture. En août 1993, l'ouverture de la passe varie de 125 à 200mètres avec un maximum de 236 mètres ABE *et al*, (1993).

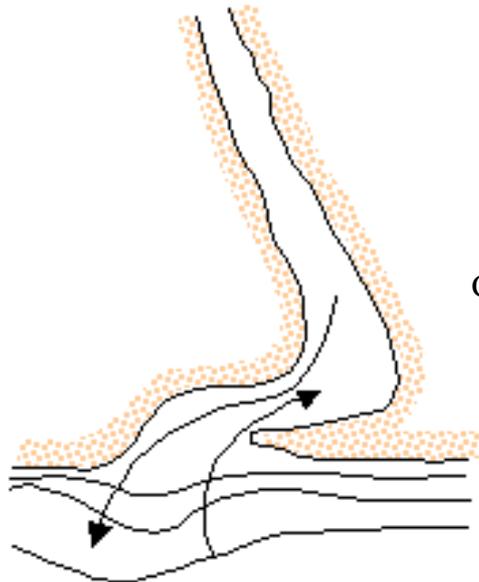
Face à cette avancée spectaculaire du trait de côte, il convient d'étudier et d'analyser les mouvements sédiments de l'estran afin de mieux comprendre les processus d'érosion et de sédimentation sur cette portion de côte.



A - Formation d'un cône de déjection devant le débouché



B : Débouché colmaté par les apports marins



C – Estuaire déplacé par le transit littoral

Figure 56 : Différents types de débouchés probables de l'estuaire du fleuve Bandama

### **III – 3 EVOLUTION A COURS TERME (UN AN)**

Cette évolution a été étudiée à travers des profils de plage.

La morphologie des plages est en permanence définie par l'interaction entre les agents dynamiques (houle, courants...) et les sédiments de plage. Ainsi, le profil de plage est-il à considérer comme un "instantané" de l'évolution morphologique (Koffi 1981). En effet, l'évolution morphologique et sédimentologique de la plage est étroitement liée à l'évolution des caractéristiques dynamiques des agents littoraux.

L'analyse des relevés topographiques au théodolite des profils de plages durant une année d'observation (2002) nous permet de :

- comprendre l'évolution saisonnière de la morphologie des plages Est et Ouest de l'embouchure du fleuve Bandama ;
- quantifier les mouvements sédimentaires ;
- suivre l'évolution sédimentologique des plages par saison sur l'année d'observation.

#### **III – 3 –1 suivi morphologique des plages profil par profil**

La figure 57 représente la position des profils de plage telle que détaillée dans la deuxième partie.

Le suivi morphologique des plages se fera d'abord par profil par profil .Puis nous considérerons l'ensemble des profils par période afin d'avoir une idée globale de l'évolution des plages est et ouest dans le temps.

##### *III – 3 –1 –1 Les profils à l'ouest de la passe*

- **Evolution morphologique du profil A** (figure 58)

Au mois de mars 2002, le profil A a une longueur de 65 m. C'est un estran à deux bermes. La plus ancienne est à 40 m du point de départ du profil et la seconde à 50 m. Ces deux bermes subissent encore l'action des vagues. Le profil est concave avec une pente très forte.57

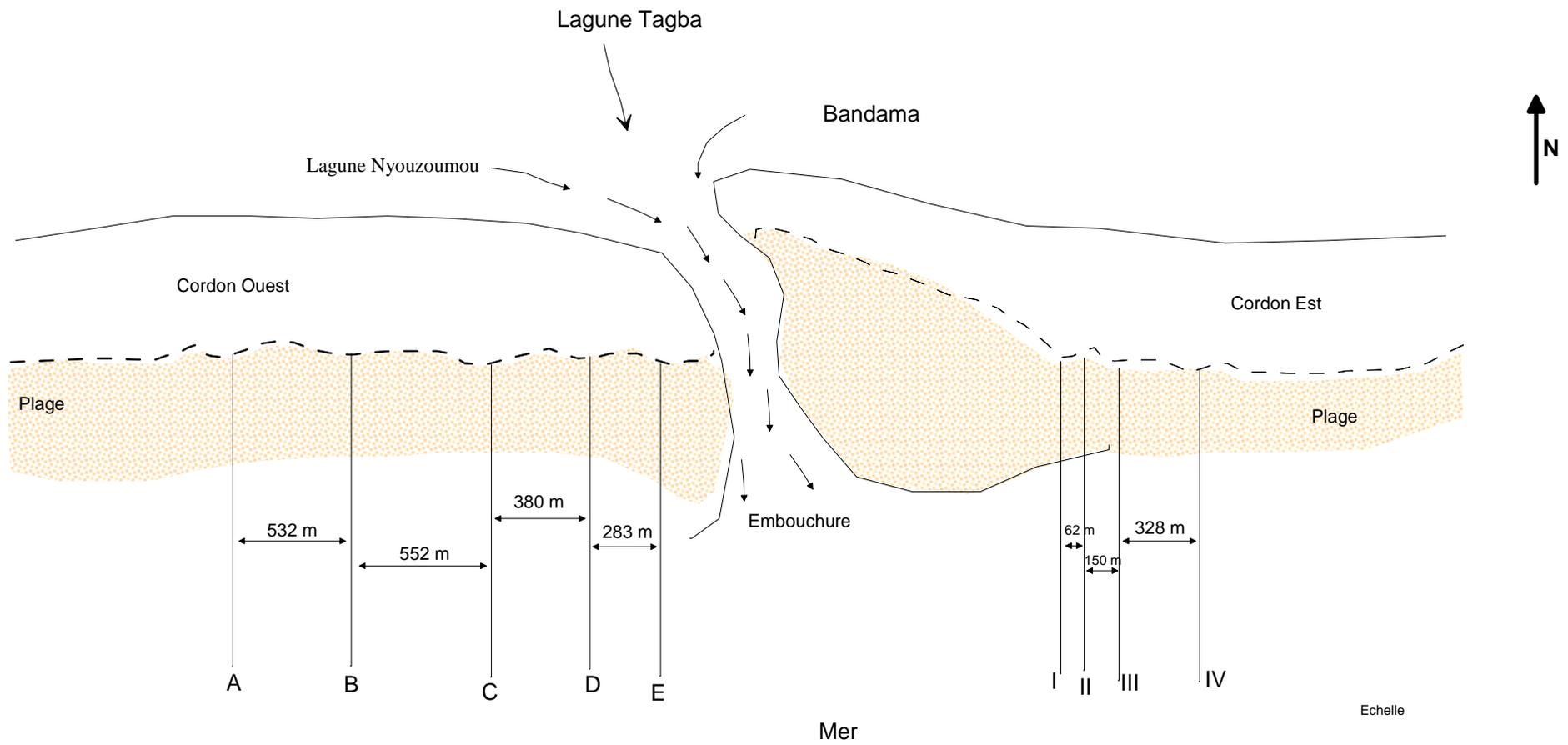


Figure 57 : Répartition des profils sur la plage

Figure 58: Evolution du profil A sur une année

- En avril 2002 (début de la période turbulente), le profil garde sa longueur mais subit un important mouvement sédimentaire faisant disparaître les deux bermes. Ce profil est dans sa quasi-totalité en dessous de celui du précédent relevé. Ce qui fait apparaître une érosion importante du moyen estran et du bas estran. Le haut estran reçoit quelques sédiments à 30 mètres du point de départ du profil.

- Pendant le mois de mai 2002, période d'occurrence des fortes houles (Queennec 1984) et période de la saison des pluies, la plage s'érode de plus en plus. Le profil garde son allure dans sa partie supérieure tandis que dans sa partie inférieure il passe en dessous de celui d'avril. La longueur du profil est fortement réduite passant de 65 m à environ 30m. Le profil est ici convexe avec une pente raide du haut estran au bas estran.

- Huit (8) mois après c'est à dire en janvier 2003, période de saison sèche et de faible houle, le profil reprend plus ou moins l'allure en escalier qu'elle avait à la saison sèche précédente avec ses creux et ses bermes. A cette période, la plage s'engraisse et le profil redevient concave.

- Au mois de mars 2003, l'allure du profil est plus ou moins identique à celle du profil de janvier. Cependant, sa longueur passe de 65 m en janvier à 50 m en mars.

En superposant le profil des deux (2) périodes calmes (mars 2002 et mars 2003), nous faisons le constat suivant : bien que mars corresponde à la fin de la période calme, la reconstitution de la plage n'est pas complète. Le profil de mars 2003 est en dessous de celui de mars 2002, ce qui démontre la tendance érosive de la plage à cette station.

- **Evolution du profil B (figure 59 )**

- En mars 2002, les caractéristiques morphologiques de la plage à la station "B" sont quasi identiques à ceux du profil A à cette même période. Les creux, les crêtes et les pentes sont conservés.

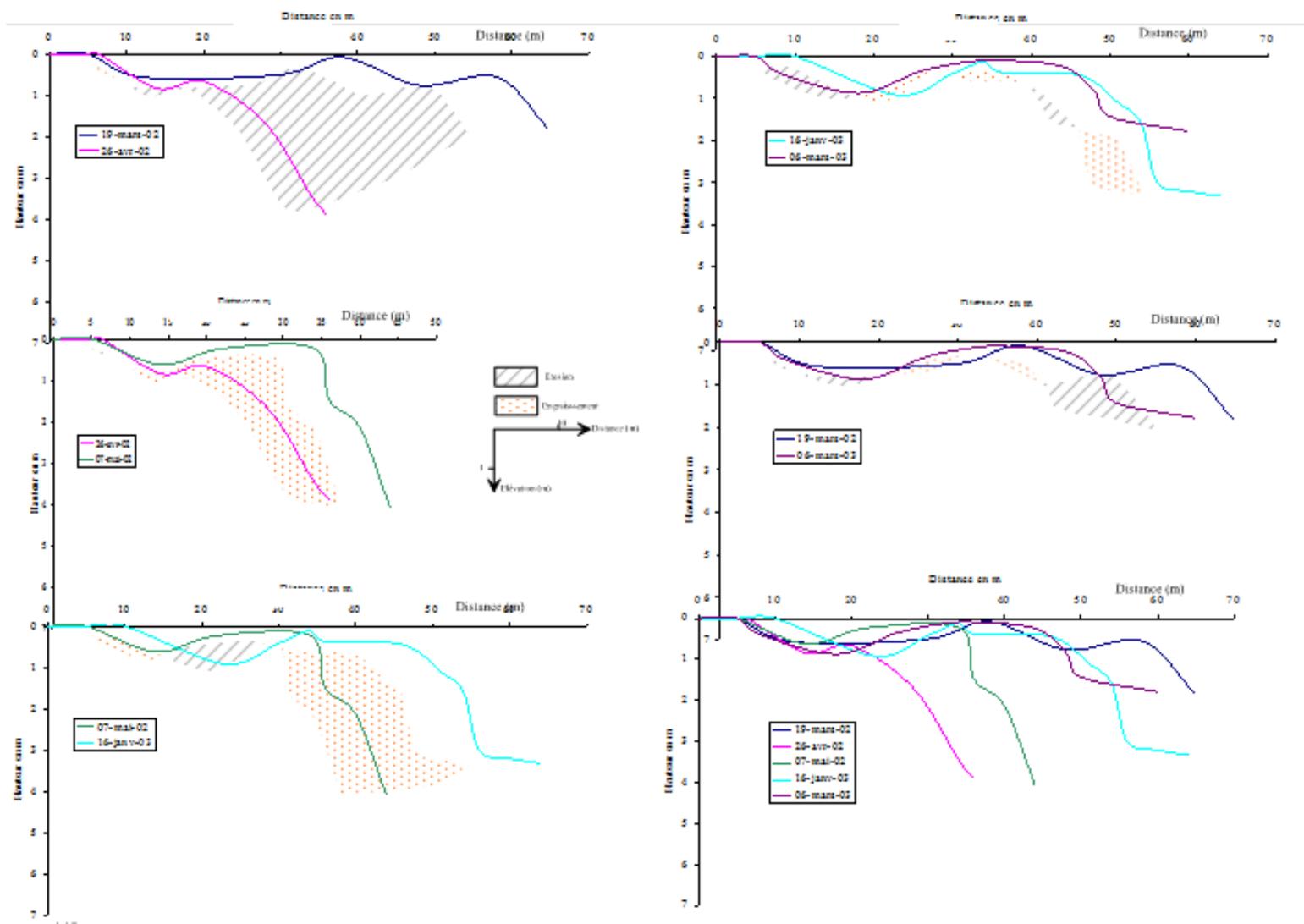


Figure 59: Evolution du profil B sur une année

- En avril 2002, période moyennement turbulente, la plage s'érode sur toute sa longueur. La longueur du profil passe de 70 m à environ 35 m. Le profil reste concave malgré cette érosion. La pente est encore raide.

- En mai 2002 par contre, contrairement à la station A, le profil passe au-dessus de celui d'avril. La plage s'engraisse sur toute sa longueur. avec une berme et le bas estran en escalier.

En janvier 2003, la plage se reconstitue. Le profil de cette période passe au-dessus de ceux d'avril et de mai.

Pendant le mois de mars 2003, sauf quelques mouvements de sables le profil garde la même allure que celui du mois de janvier. Cependant, il s'engraisse au bas de plage.

La comparaison des profils de mars 2002 et de mars 2003 montre que l'allure du profil de plage est plus ou moins conservée. Au bas de plage, le profil de mars 2003 est en dessous de celui de mars 2002 Ceci indique que, comme à la station "A", la reconstitution de la plage n'a pas été complète.

### **Evolution du profil C : (figure 60)**

-Le profil C en mars conserve les mêmes caractéristiques que les précédents à la même période.

- Le mois suivant (avril), mois qui coïncide avec le début de la période turbulente (fortes houles), la longueur du profil diminue considérablement. Il passe de 70 m à 40 m. La plage s'érode fortement dans sa partie inférieure (mi-estran et bas estran) tandis q'elle s'engraisse faiblement dans sa partie supérieure (haut estran).

- Au mois de mai, la plage continue de s'éroder. La longueur du profil passe de 40 m à 35 m. La pente reste toujours raide.

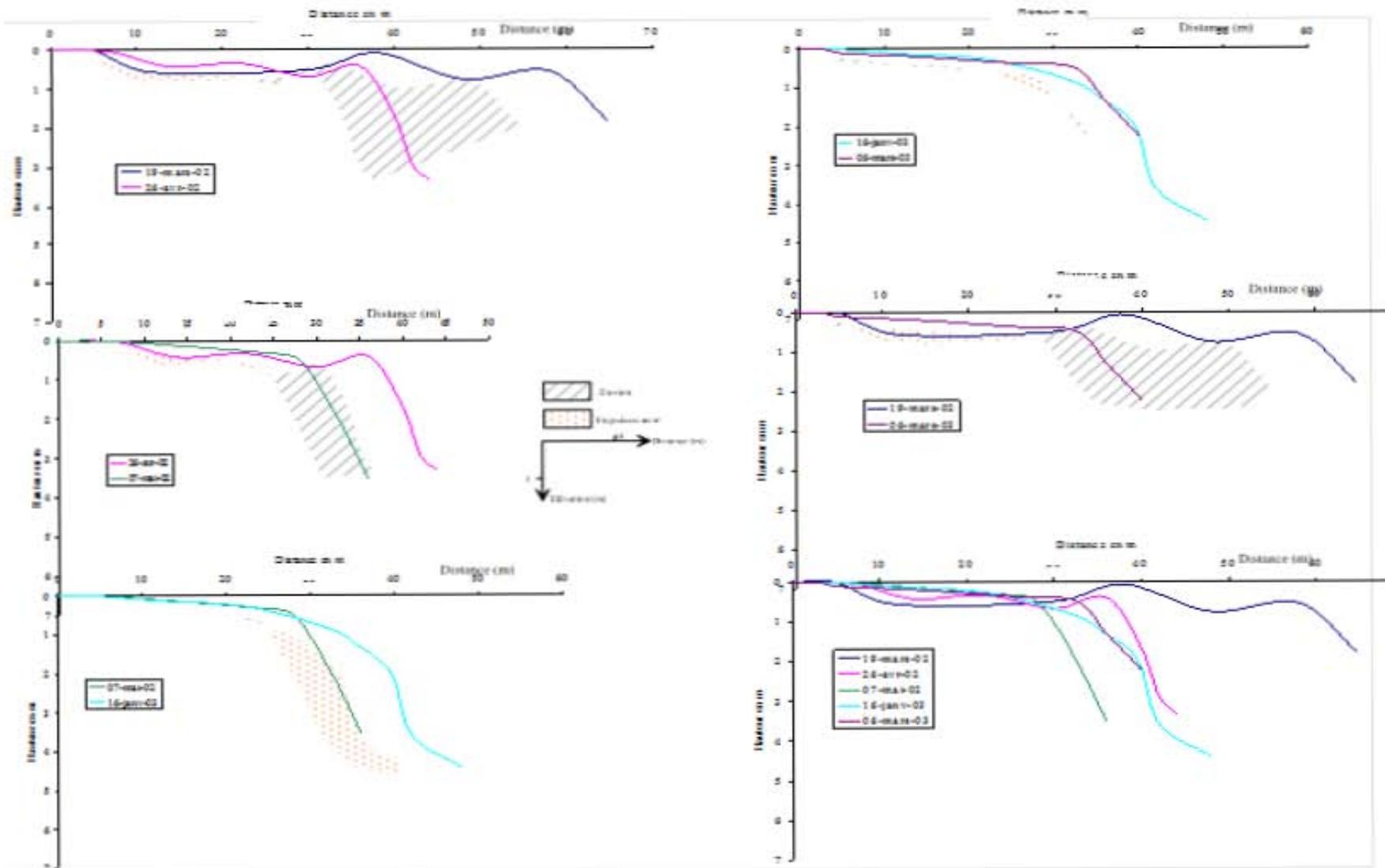


Figure 60 : Evolution du profil C sur une année

-Pendant la période de faible agitation, (janvier) la plage se reconstitue. La longueur du profil passe de 35m à 40 m. On note un engraissement du profil dans sa partie inférieure. La morphologie de la partie supérieure reste identique à celui du mois de mai.

- le mois de mars suivant, le profil garde son allure mais sa longueur diminue passant de 50 m à 40 m en mars.

- Par rapport à la période calme précédente (mars 2002) , la plage à cette station connaît une forte érosion. Le profil s'engraisse au haut de plage mais s'érode au bas de plage. Sa longueur passe alors de 65 m à 40 m. Ainsi, la reconstitution de la plage, même si elle est effective, n'est pas complète. L'allure du profil est la même, mais elle reste nettement en dessous de celle de la période précédente.

- **Evolution du profil D (figure 61)**

Le profil D a des caractéristiques identiques à ceux des précédents profils à la même période. Sa longueur, ses creux et ses crêtes sont conservés.

- En avril, tout comme aux autres stations, la longueur du profil diminue. Le bas et le mi-estran s'érodent alors que la partie supérieure s'engraisse avec la formation d'une berme à environ 15 m du point de départ du profil. Il faut noter cependant que la surface d'érosion est nettement supérieure à la surface d'engraissement.

- En mai, l'érosion de la plage continue. La longueur du profil diminue d'environ 20m. Il passe alors de 50m à 30 m. la berme observée sur le haut estran en avril s'est déplacée d'environ 10 mètres vers la mer laissant sa position initiale érodée. L'érosion est surtout très active sur le bas et le moyen estran laissant au profil une pente de plus en plus raide.

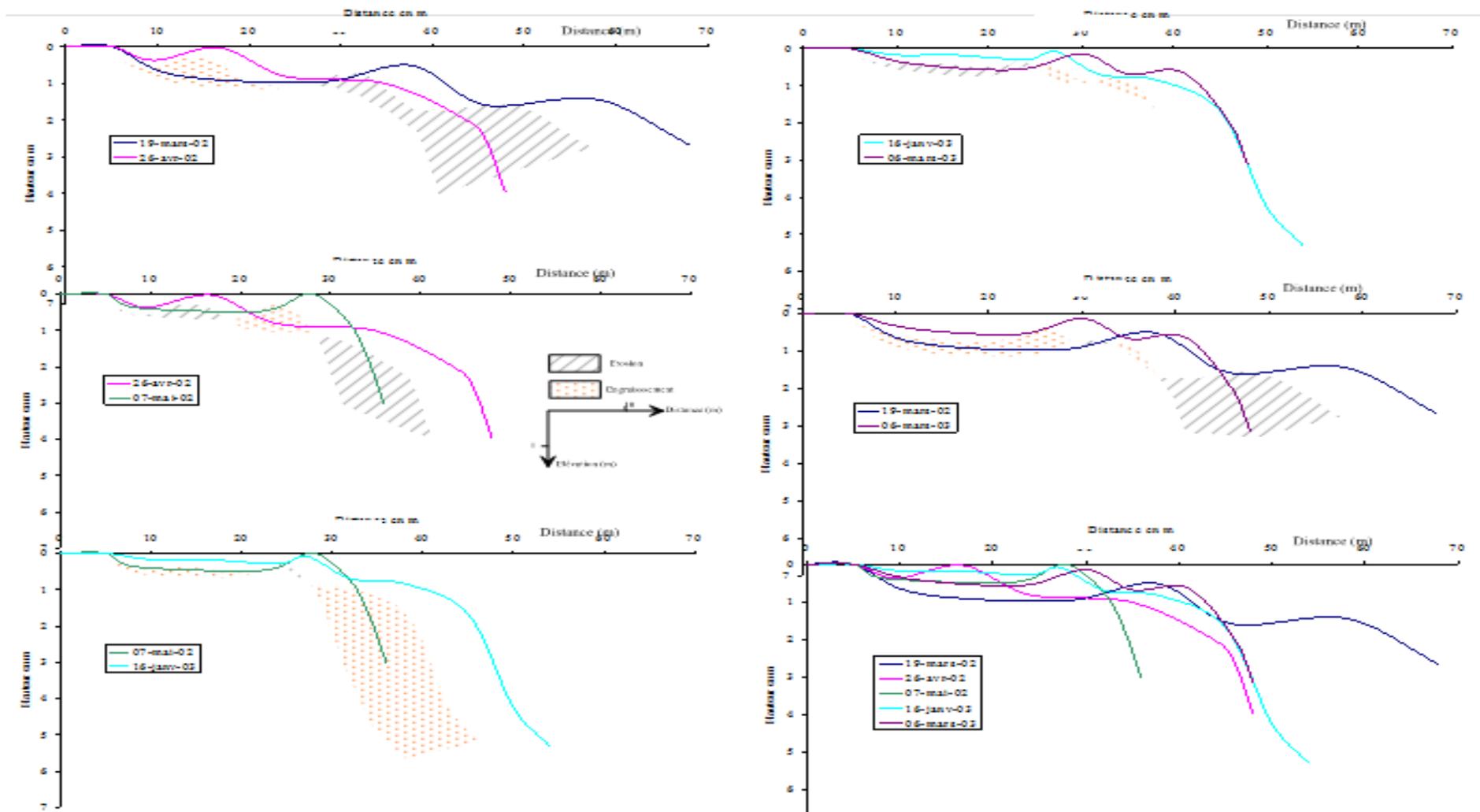


Figure 61 : Evolution du profil D sur une année

- En janvier, c'est la période où de façon générale la plage se reconstitue car correspond à la saison sèche marine et donc à la période d'occurrence des faibles houles. On constate un engraissement général sur tout le long du profil.

- au mois de mars 2003, l'allure du profil évolue plus ou moins passant d'un estran à une seule berme à un estran à deux bermes. Le haut estran s'érode tandis que le moyen estran s'engraisse.

De même qu'aux précédentes stations, les profils de mars 2002 et de mars 2003 montés ensemble mettent en évidence une tendance érosive de la plage. La longueur du profil passe de 70 m en 2002 à 50 m en 2003.

- **Evolution du profil E** (figure 62)

Le profil E est situé à environ 150 m de l'embouchure. Cette station subit donc directement l'influence de la passe. En effet, la morphologie de la plage à cette station au mois de mars 2002 est complètement différente des autres stations éloignées de la passe. La longueur du profil est d'environ 40 m. C'est un profil rectiligne plus ou moins convexe avec une pente très douce du haut estran jusqu'à la mer.

- En avril 2002, la plage s'engraisse sur toute sa longueur. L'allure du profil est à peu près semblable à ceux des stations A à D à cette période.

- Au mois de mai, la morphologie de la plage reste relativement stable, même si on note une petite surface d'érosion au pied du profil.

- En janvier 2003, la plage à cette station est complètement reconstituée. La morphologie devient semblable à celles des autres profils de cette même période.

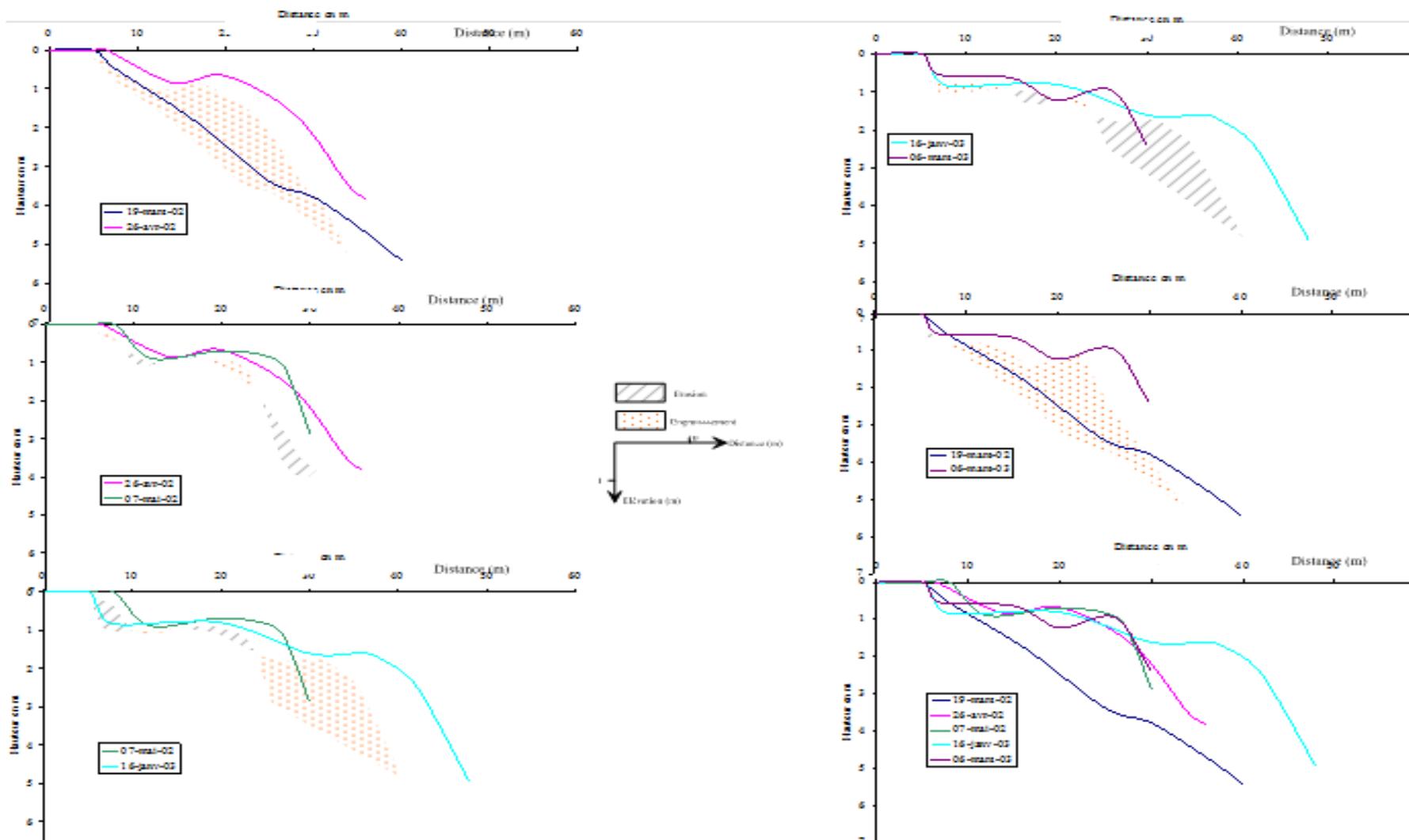


Figure 62 : Evolution du profil E sur une année

Au mois de mars suivant, le bas estran subit une forte érosion. La longueur du profil passe de 50 m à 30 m.

En comparant le profil de mars 2002 à celui de mars 2003, l'on note que l'allure du profil a complètement changé. Le profil rectiligne s'est remodelé en un profil à deux bermes. Même si la longueur du profil a diminué d'environ 10 m, le haut estran s'est considérablement engraisé.

- **Evolution du profil F** (figure 63)

- Le profil F au mois de mars 2002 a une longueur d'environ 20m avec une berme et une pente très douce. Le profil est convexe

- Au mois d'avril, contrairement à la tendance générale, la plage à ce niveau s'engraisse. Sa longueur passe de 20 à 60 mètres.

- Au mois de mai, cette station de relevés a complètement disparu et est occupée par la passe. La maison qui servait de repère a aussi complètement disparue sous l'effet de l'érosion.

### *III – 3 –1 –2 Les profils à l'Est de la passe*

- **Evolution du profil 1** (figure 64)

Le profil 1 est à environ 1 km à l'Est de la passe.

- En mars, le profil a une longueur de 70m avec une berme à 25 m de la station de positionnement. Après cette berme le profil est rectiligne avec une pente plus ou moins forte.

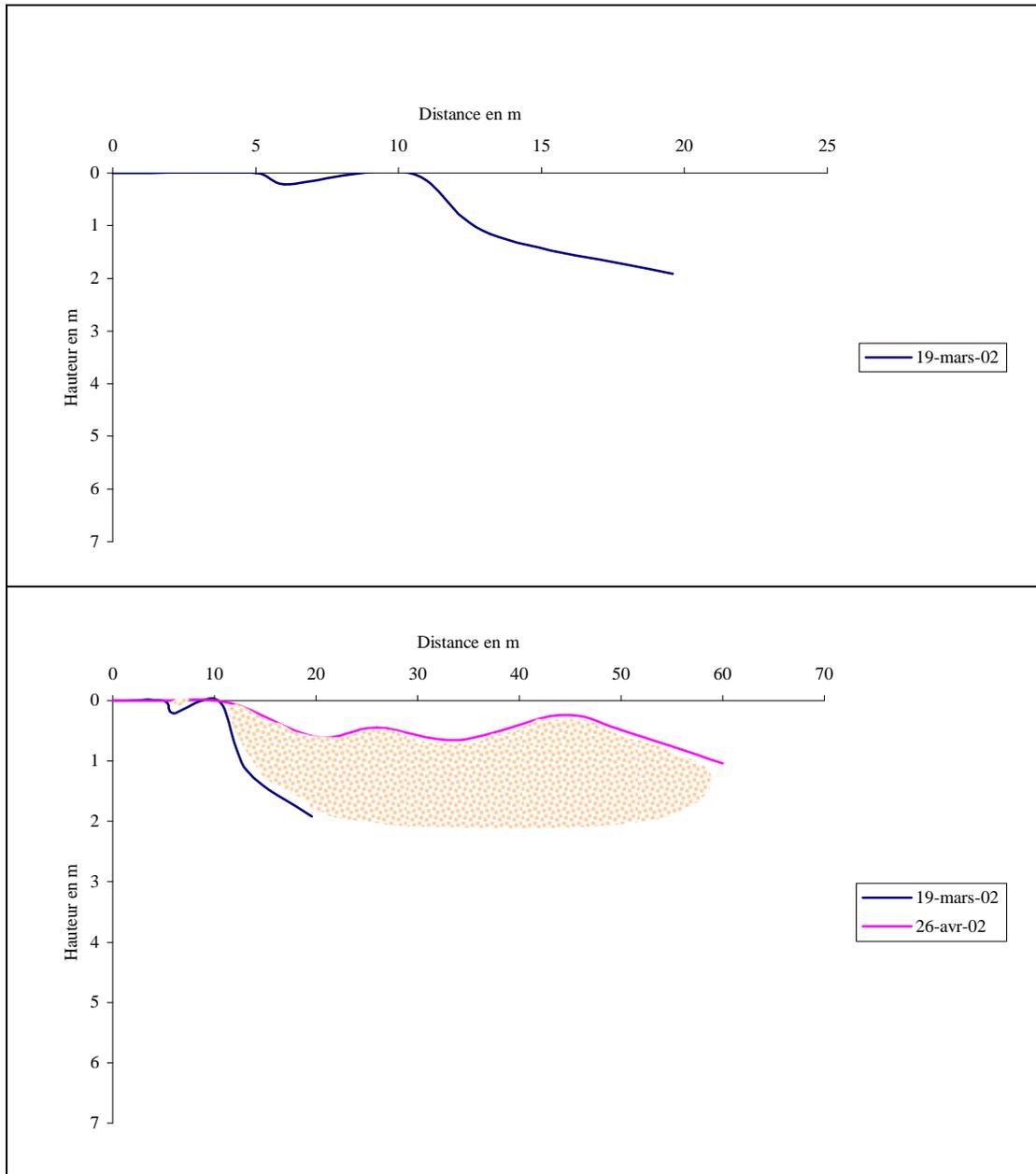
- Au mois d'avril, la plage s'érode au bas estran et s'engraisse au moyen et au haut estran. La pente devient encore plus raide.

En mai, la tendance est toujours à l'érosion sur toute la longueur du profil.

- En janvier, période calme, la plage s'engraisse. Le profil passe même au-dessus de celui de mars 2002. La pente est toujours aussi raide avec une rupture de pente située à 40 mètres du point de départ du profil.

Au mois de mars 2003, la plage s'érode au haut estran mais s'engraisse au bas estran. La longueur du profil augment. Elle passe de 55 m à 100 m.

En superposant les profils de mars 2002 et 2003, l'on constate qu'en cette station, la longueur de la plage passe de 65 m à 100m. la plage s'érode au niveau du haut estran et s'engraisse au niveau du bas estran.



 Partie érodée  
 Partie engraisée

Figure 63 : Evolution du profil F sur une année

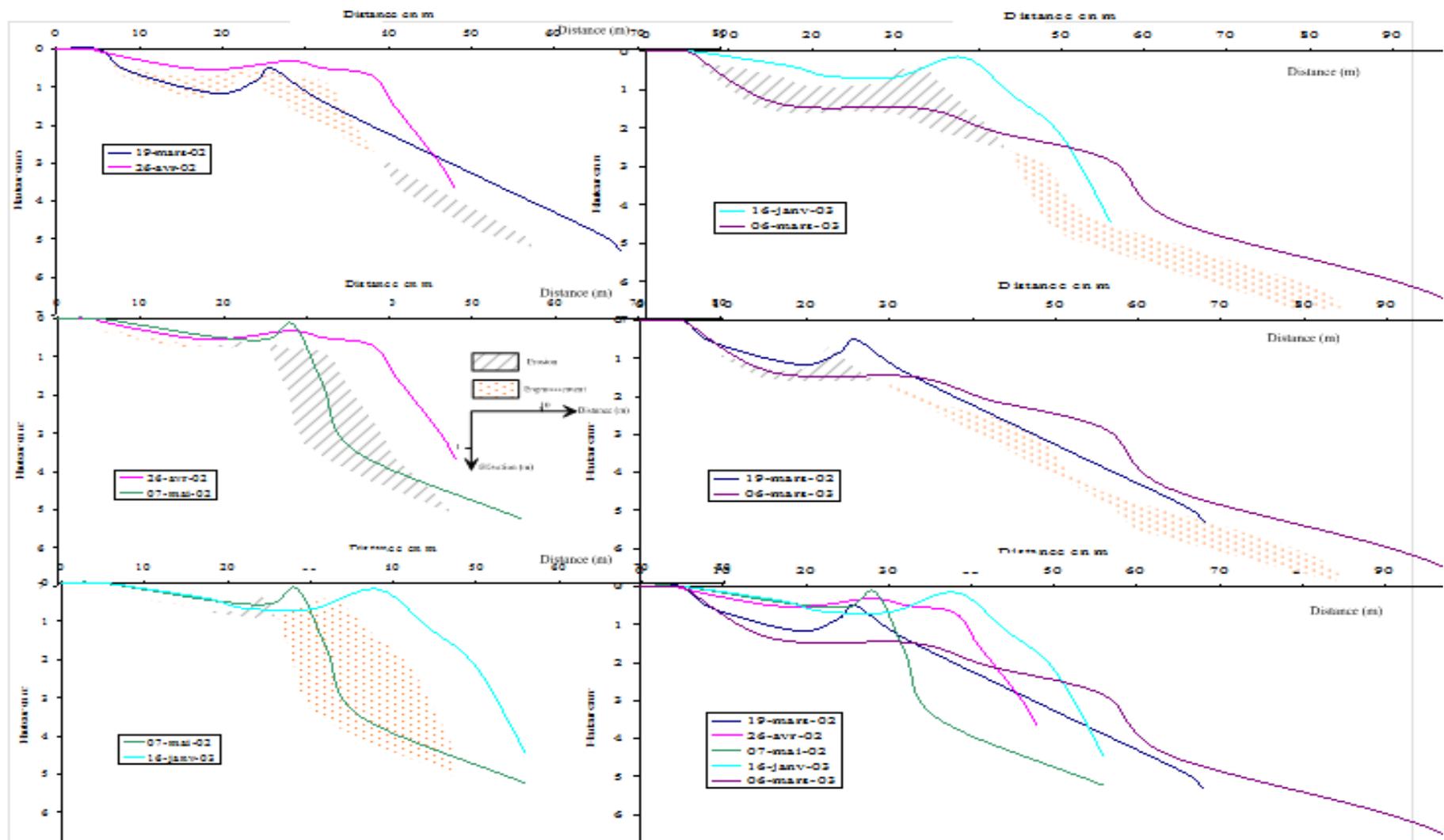


Figure 64 : Evolution du profil 1 sur une année

- **Evolution du profil 2** (figure 65)

- Le profil 2 au mois de mars est long de 90 m. Son tracé est monotone avec un seul creux en haut de plage.
- Au mois d'avril, une érosion spectaculaire affecte cette station. Le profil passe de 90m à 25m.
- En mai, la morphologie du profil reste plus ou moins identique à celui d'avril mais sa longueur augmente sensiblement. La tendance est toujours à l'érosion.
- En janvier 2003, la plage s'est engraisée. La longueur du profil passe de 20 à 50 mètres environ.

Au mois de mars 2003, le profil atteint 100 m. Le haut estran s'érode tandis que le bas estran s'engraisse.

Ce profil, comparé à celui de mars 2002 met en évidence une érosion puisqu'il est en dessous de celui de mars 2003.

- **Evolution du profil 3** (figure 66)

Le profil 3 comparativement au profil 1 et 2 est nettement plus court. Il est long de 25 m. Son tracé est rectiligne et monotone.

- Au mois d'avril, l'érosion a affecté cette station, mais la longueur a considérablement augmenté passant de 25 m à 70 m.
- Pendant le mois de mai, période de forte agitation, la longueur du profil diminue et passe à 30 m environ. Cependant, on note une petite surface d'engraissement sur le haut estran.
- En janvier, l'engraissement est général sur tout le tracé du profil. Sa longueur atteint alors 50 m.

De janvier à mars, le profil s'est engraisé sur toute sa longueur. Celle-ci est passée de 50 à 100m.

En superposant le profil de mars 2002 à celui de mars 2003, l'on constate que cette station a subi une forte accumulation de sable. La longueur du profil est passée de 25 m à 100 m.

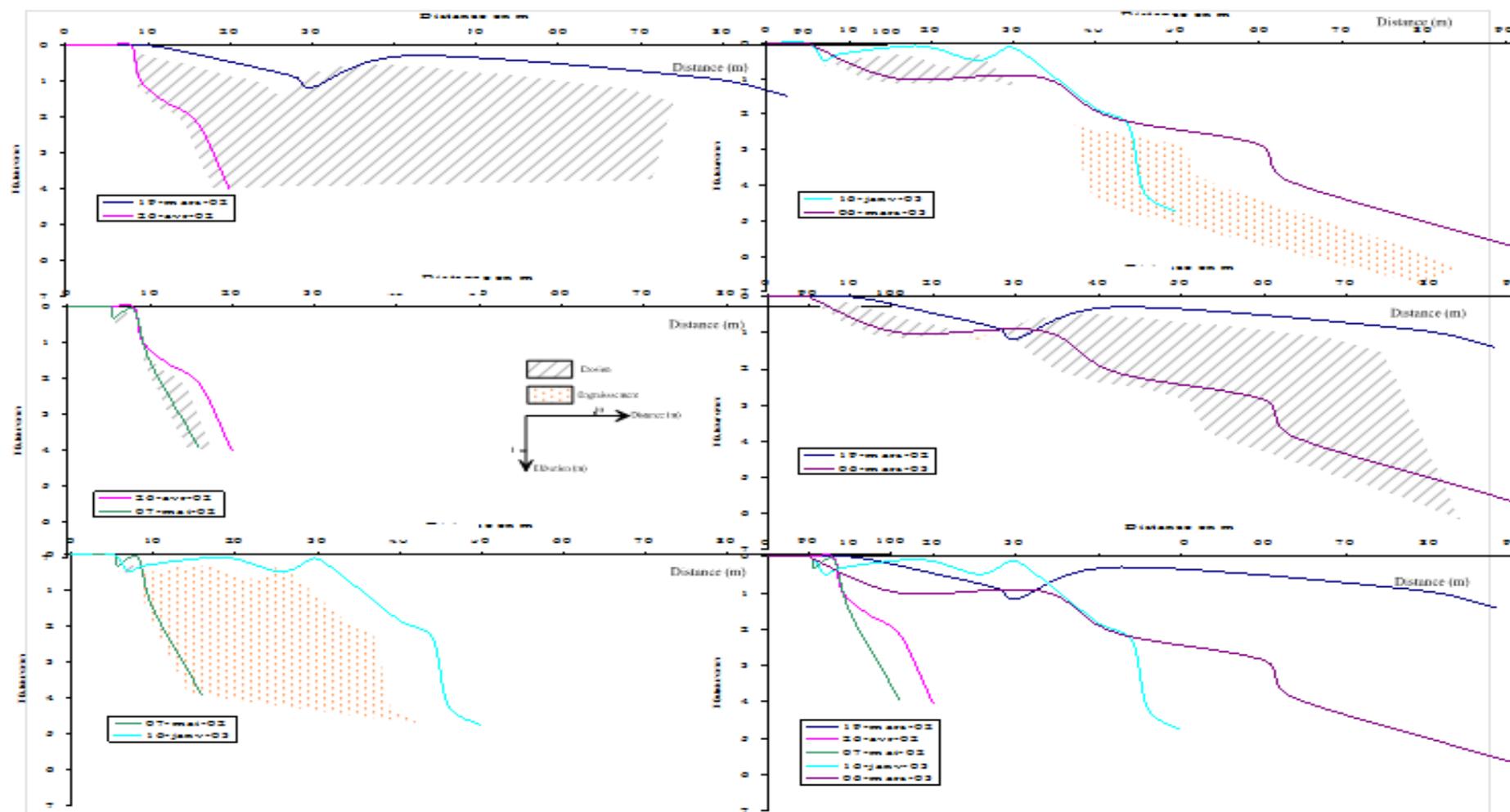


Figure 65 : Evolution du profil 2 sur une année

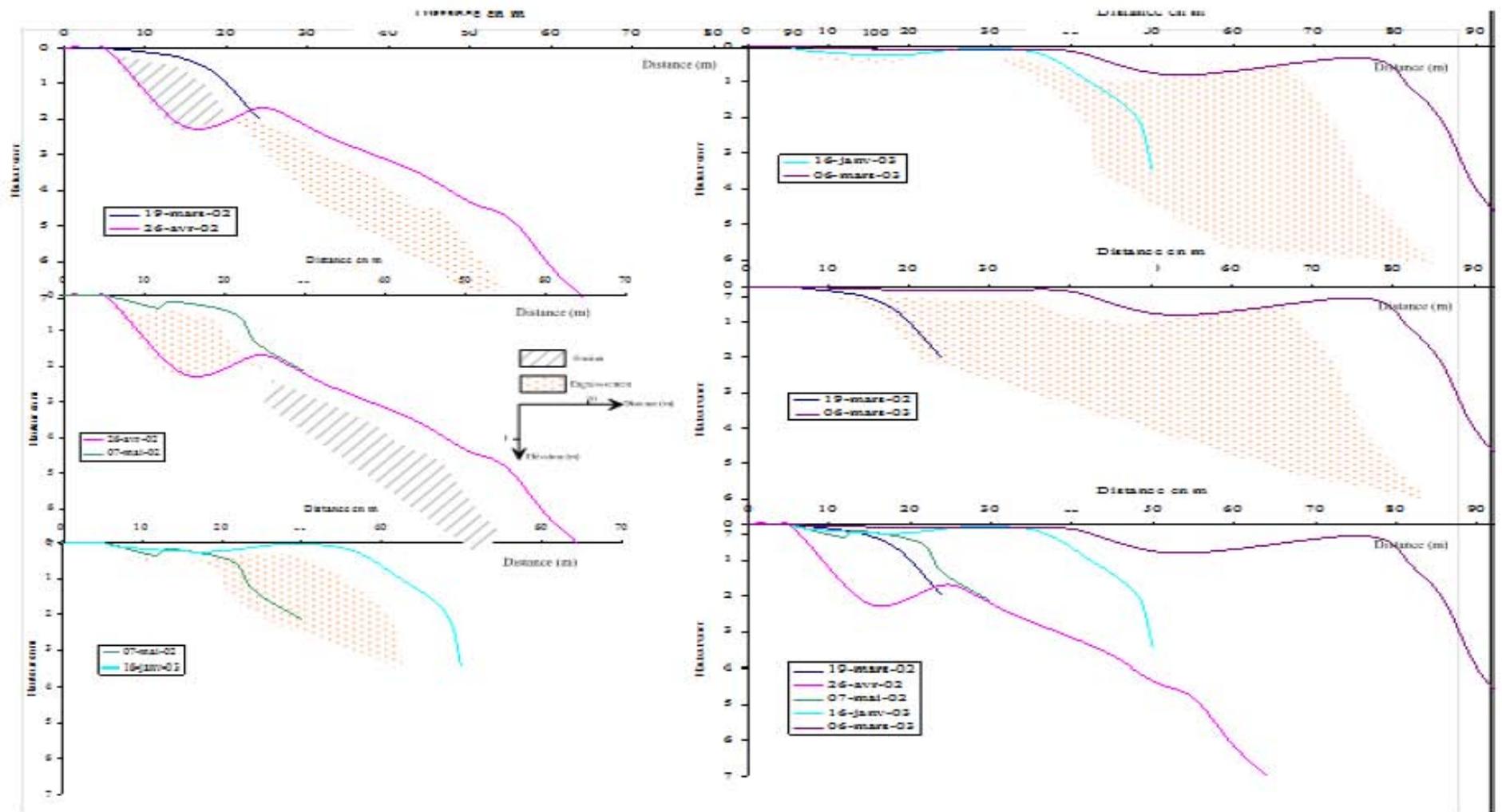


Figure 66 : Evolution du profil 3 sur une année

### **Evolution du profil 4 (figure 67)**

Le profil 4 est situé sur la flèche sableuse à l'Est de la passe.

- Sa longueur en mars 2002 ne dépasse pas les 25 m. Son tracé est aussi monotone et rectiligne que le profil 3.
- Au mois d'avril, tout comme le profil 3, la longueur du profil 4 passe de 25 m à 70 m mais avec une érosion générale.
- Au mois de mai, malgré l'agitation de la mer, cette portion de plage s'engraisse. Sa longueur est conservée.
- En janvier, l'engraissement continue. Il y a une forte accumulation de sable à cette station. La longueur du profil passe alors à 160 m environ.
- en mars sa longueur diminue et atteint 100m.

Entre le mois de mars 2002, et celui de mars 2003, cette portion de plage s'est considérablement engraisée. Cela peut s'expliquer par l'évolution de la flèche sableuse sur laquelle est situé le profil.

### **III – 3 – 2 Analyse des remaniements sédimentaires de la plage sur un an**

Nous faisons ici une étude comparée de l'estran d'une saison à l'autre en analysant l'évolution sur 1 an. Pour ce faire, il est indiqué de tracer des coupes sériées de tous les profils. Le diagramme ainsi obtenu permet de visualiser l'évolution saisonnière de chaque profil, grâce à l'individualisation des zones érodées et des zones engraisées. Il est alors possible de faire une synthèse sur toute la plage.

Entre mars et avril 2002, (figure 68) La morphologie de la plage est semblable de la station A à la station D,(à l'ouest de la passe) avec la présence de berme, de creux et de crêtes. Les deux profils E et F proche de la passe ont une morphologie différente. A l'est de la passe, les profils 3 et 4 proches de celle-ci ont leurs morphologies et leurs longueurs identiques. Les deux autres plus éloignés de la passe sont aussi semblables.

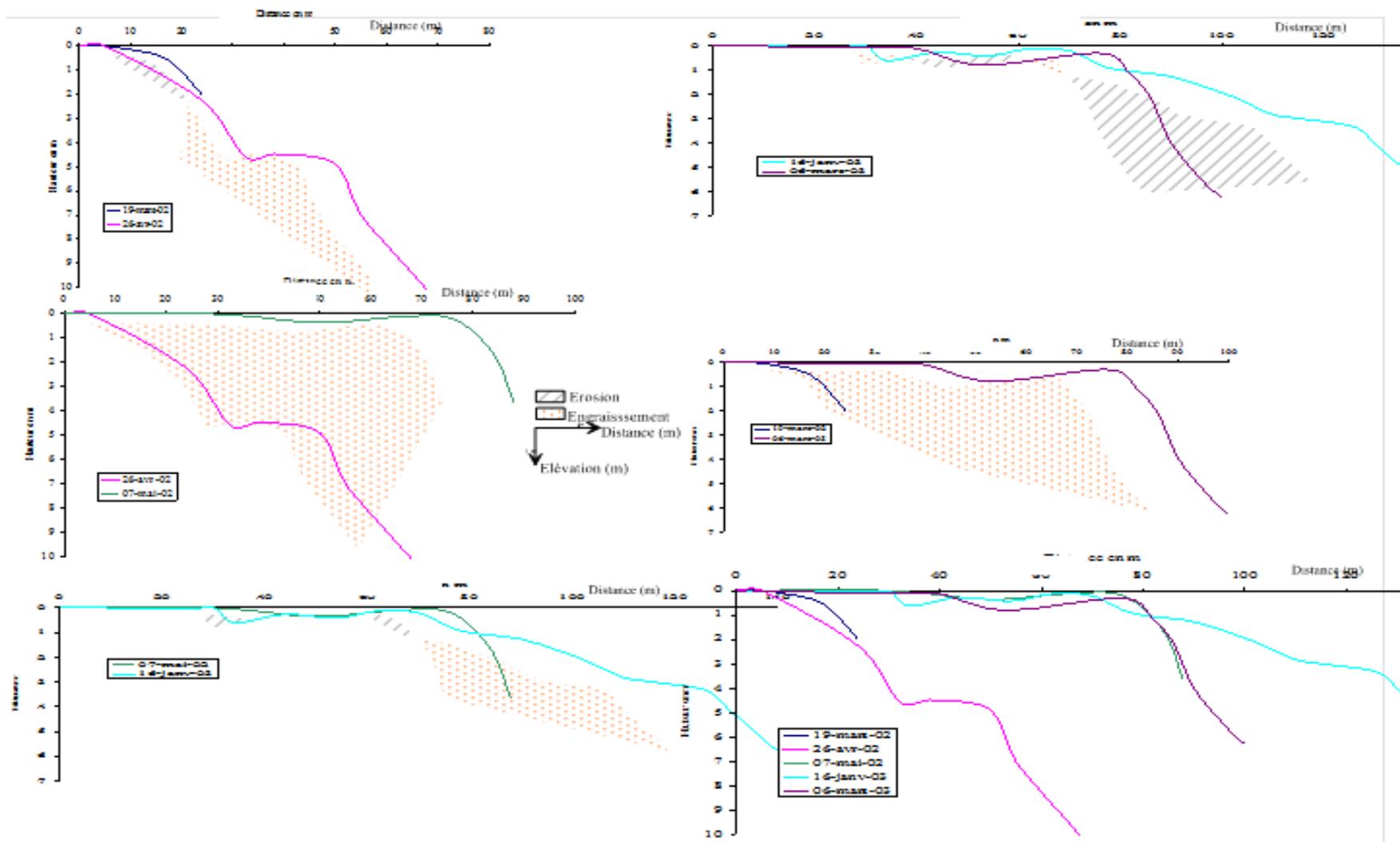


Figure 67 : Evolution du profil 4 sur une année

En avril 2002, la partie la plus éloignée de l'embouchure s'est érodée tandis que la partie proche de la passe s'engraisse.

A l'est de l'embouchure, la plage se reconstruit dans sa partie proche de la passe tandis qu'elle s'érode la sa partie la plus éloignées.

Sur l'ensemble de la plage considérée, l'on observe un transport de sédiment dans la direction Ouest- est. Ceci pourrait s'expliquer par le courant de la dérive littorale qui à une direction Est –Ouest dans cette région.

Un planimétrage nous permet d'estimer les surfaces érodées ou engraisées (en mètre carré linéaire) sur chaque profil.

Ainsi, de mars à avril 2002, La somme des surfaces érodées sur le profil A est-elle de **103,02 m<sup>2</sup>** tandis que seulement 4,04 m<sup>2</sup> sont engraisés. Le tableau 8 donne les valeurs des surfaces érodées et engraisées sur chaque profil pendant la période de mars à avril 2002.

**Tableau 8 :** Volumes et surfaces remaniés entre mars et avril 2002

Profil	Total surfaces érodées (m <sup>2</sup> )	Volume de sable déplacé (m <sup>3</sup> )	Total surfaces engraisées (m <sup>2</sup> )	Volume de sable déposé (m <sup>3</sup> )	Différence (m <sup>2</sup> )	Tendance
Profil A	<b>103,02</b>	54809,22	<b>4,04</b>	2154,03	<b>-98,98</b>	Erosion
Profil B	<b>212,36</b>	115102,27	<b>1,49</b>	811,71	<b>-210,87</b>	Erosion
Profil C	<b>133,97</b>	61093,92	<b>1,26</b>	576,29	<b>-132,71</b>	Erosion
Profil D	<b>117,2</b>	38913,46	<b>18,43</b>	6119,85	<b>-98,77</b>	Erosion
Profil E	<b>0</b>	0	<b>173,78</b>	37711,67	<b>173,78</b>	Engraissement
Profil F	<b>0</b>	0	<b>142,73</b>	32114,44	<b>142,73</b>	Engraissement
Profil 1	<b>0</b>	0	<b>62,11</b>	11243,57	<b>62,11</b>	Engraissement
Profil 2	<b>273,62</b>	29004	<b>0</b>	0	<b>-273,62</b>	Erosion
Profil 3	<b>32,61</b>	7795,32	<b>0</b>	0	<b>-32,61</b>	Erosion
Profil 4	<b>32,03</b>	10059,4	<b>0</b>	0	<b>-32,03</b>	Erosion

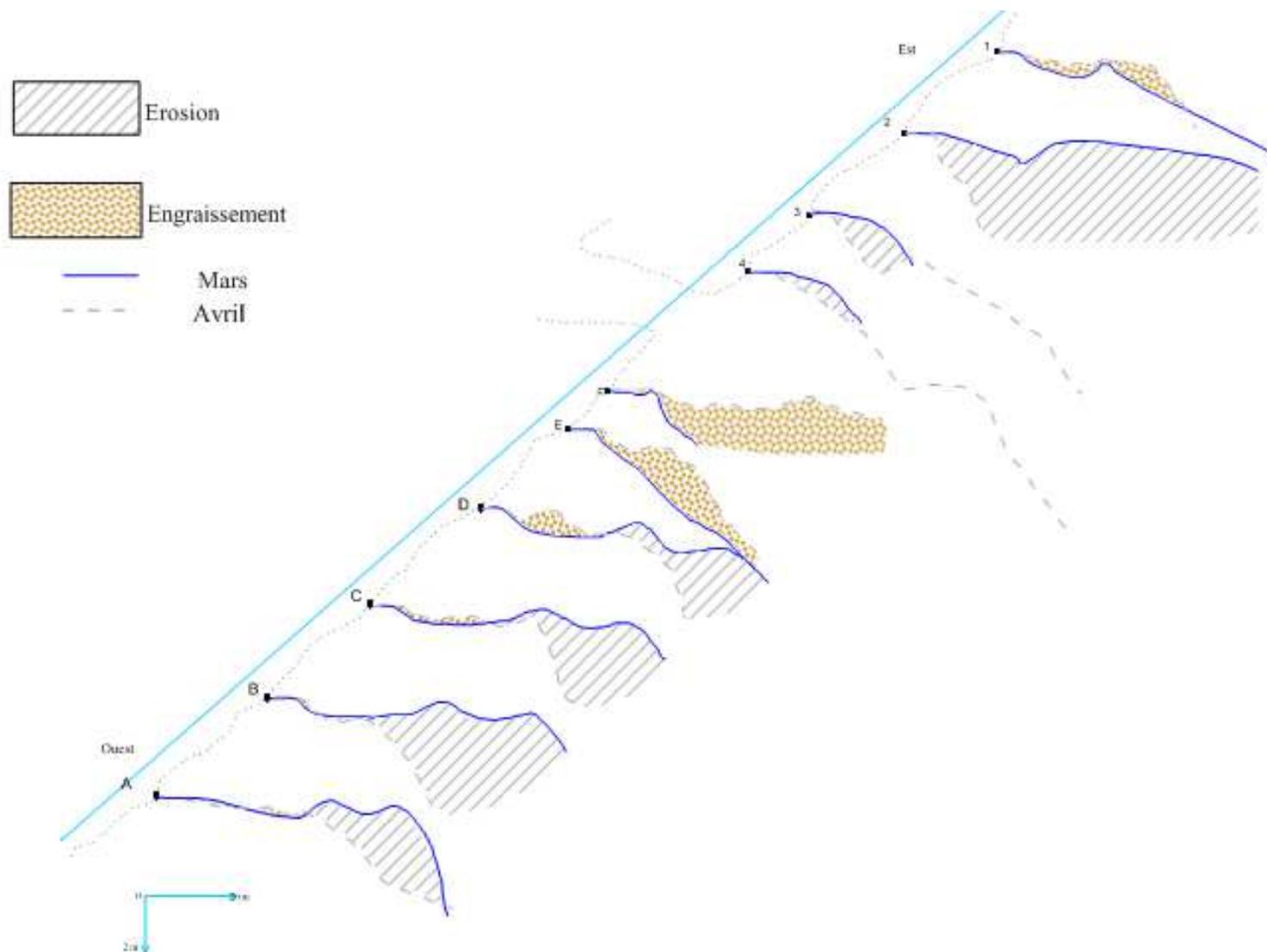


Figure 68: Schéma de l'évolution de la plage entre mars et avril 2002

Connaissant les distances entre les profils, nous pouvons aisément estimer le volume total de sédiments déposés ou érodés le long de la plage considérée.

Ainsi, à l'ouest de la passe, **269 918,47** m<sup>3</sup> de sédiments se sont érodés et déplacés dans la période de mars à avril 2002 tandis que **79 488,02** m<sup>3</sup> de sédiments se sont –ils déposés dans la partie proche de la passe.

A l'est de la plage, l'érosion a affecté **46 858** m<sup>3</sup> de sédiments et seulement **11 243** m<sup>3</sup> se sont déposés.

Entre avril et mai, (figure 69), A l'ouest de la passe la tendance générale est à l'érosion. Le profil F a totalement disparu, seul le profil B s'est engraisé. La morphologie de la plage est semblable tout le long de celle –ci. Le tableau 9 fait la synthèse des surfaces érodées par rapport à celles engraisées.

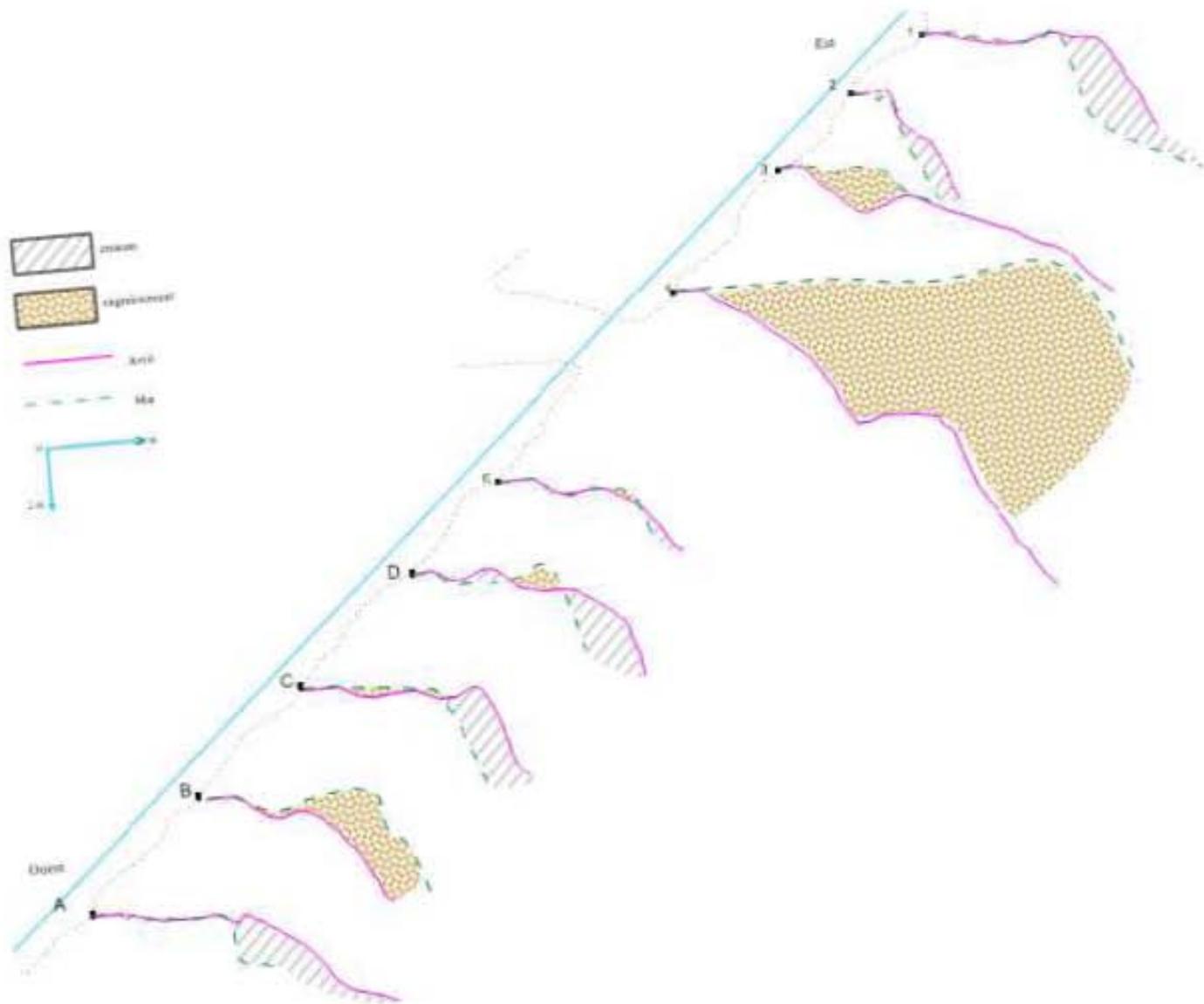


Figure 69: Schéma de l'évolution de la plage en avril et mai 2002

**Tableau 9** : Volumes et surfaces remaniés entre avril et mai 2002

Profil	Total surfaces érodées (m <sup>2</sup> )	Volume de sable déplacé (m <sup>3</sup> )	Total surfaces engraisées (m <sup>2</sup> )	Volume de sable déposé (m <sup>3</sup> )	Différence (m <sup>2</sup> )	Tendance
Profil A	<b>138,36</b>	73611,04	<b>0</b>	0	<b>-138,36</b>	Erosion
Profil B	<b>0</b>	0	<b>128,1</b>	69432,33	<b>128,1</b>	Engraissement
Profil C	<b>55,4</b>	25264,9	<b>20,14</b>	9188,18	<b>-35,26</b>	Erosion
Profil D	<b>49,92</b>	16574,36	<b>7,52</b>	2498,98	<b>-42,4</b>	Erosion
Profil E	<b>31,54</b>	6844,84	<b>2,37</b>	516,32	<b>-29,17</b>	Erosion
Profil 1	<b>103,68</b>	18767,74	<b>6,58</b>	1192,02	<b>-97,1</b>	Erosion
Profil 2	<b>28</b>	2968	<b>0</b>	0	<b>-28</b>	Erosion
Profil 3	<b>0</b>	0	<b>32,19</b>	7693,46	<b>32,19</b>	Engraissement
Profil 4	<b>0</b>	0	<b>704,25</b>	221135,433	<b>704,25</b>	Engraissement

Durant cette période, le volume de sédiments érodés sur la plage à l'ouest de la passe est de **122 295,16 m<sup>3</sup>** alors que seulement **81 635,82 m<sup>3</sup>** se sont déposés.

A l'est de la passe, les deux profils éloignés de la passe subissent une érosion alors que les deux autres proches de la passe s'engraissent. Le volume de sable déposé sur les stations engraisées s'évalue à **230 020,92 m<sup>3</sup>**; Cependant, alors que le volume érodé est de **21 735,75 m<sup>3</sup>** de sédiments. L'engraissement de cette partie de la plage est dû à la construction de la flèche sableuse sur la rive Est de la passe.

Sur la période de mai à janvier 2003 (figure 70) sur toute la plage, on observe un dépôt général de sédiments. Cependant, quelques surfaces d'érosions s'observent sur le haut estran à l'ouest de la passe. La synthèse des surfaces érodées ou engraisées est consignée dans le tableau 10

**Tableau 10 :** Volumes et surfaces remaniés entre mai 2002 et janvier 2003

Profil	Total surfaces érodées (m <sup>2</sup> )	Volume de sable déplacé (m <sup>3</sup> )	Total surfaces engraisées (m <sup>2</sup> )	Volume de sable déposé (m <sup>3</sup> )	Différence (m <sup>2</sup> )	Tendance
Profil A	<b>3,24</b>	1723,83	<b>133,22</b>	70878,14	<b>129,98</b>	Engraissement
Profil B	<b>12,16</b>	6594,86	<b>128,48</b>	69636,16	<b>116,32</b>	Engraissement
Profil C	<b>1,22</b>	558,74	<b>68,99</b>	31462,80	<b>67,77</b>	Engraissement
Profil D	<b>0</b>	0	<b>98,52</b>	32709,24	<b>98,52</b>	Engraissement
Profil E	<b>9,59</b>	2081,57	<b>69,48</b>	15079,21	<b>59,89</b>	Engraissement
Profil 1	<b>61,49</b>	11131,42	<b>124,77</b>	22583,89	<b>63,28</b>	Engraissement
Profil 2	<b>0,36</b>	38,55	<b>173,90</b>	18434,08	<b>173,54</b>	Engraissement
Profil 3	<b>0</b>	0	<b>102,24</b>	24436,43	<b>102,24</b>	Engraissement
Profil 4	<b>18,76</b>	5893,41	<b>277,62</b>	87173,70	<b>258,86</b>	Engraissement

Sur cette période, le volume total de sédiment déposé à l'ouest de la passe est de **219 765,57 m<sup>3</sup>** alors que l'érosion a affecté seulement **10 959,03 m<sup>3</sup>**. A l'est de la passe **152 628,11 m<sup>3</sup>** de sédiments se sont déposés alors que **17 063 m<sup>3</sup>** se sont érodés.

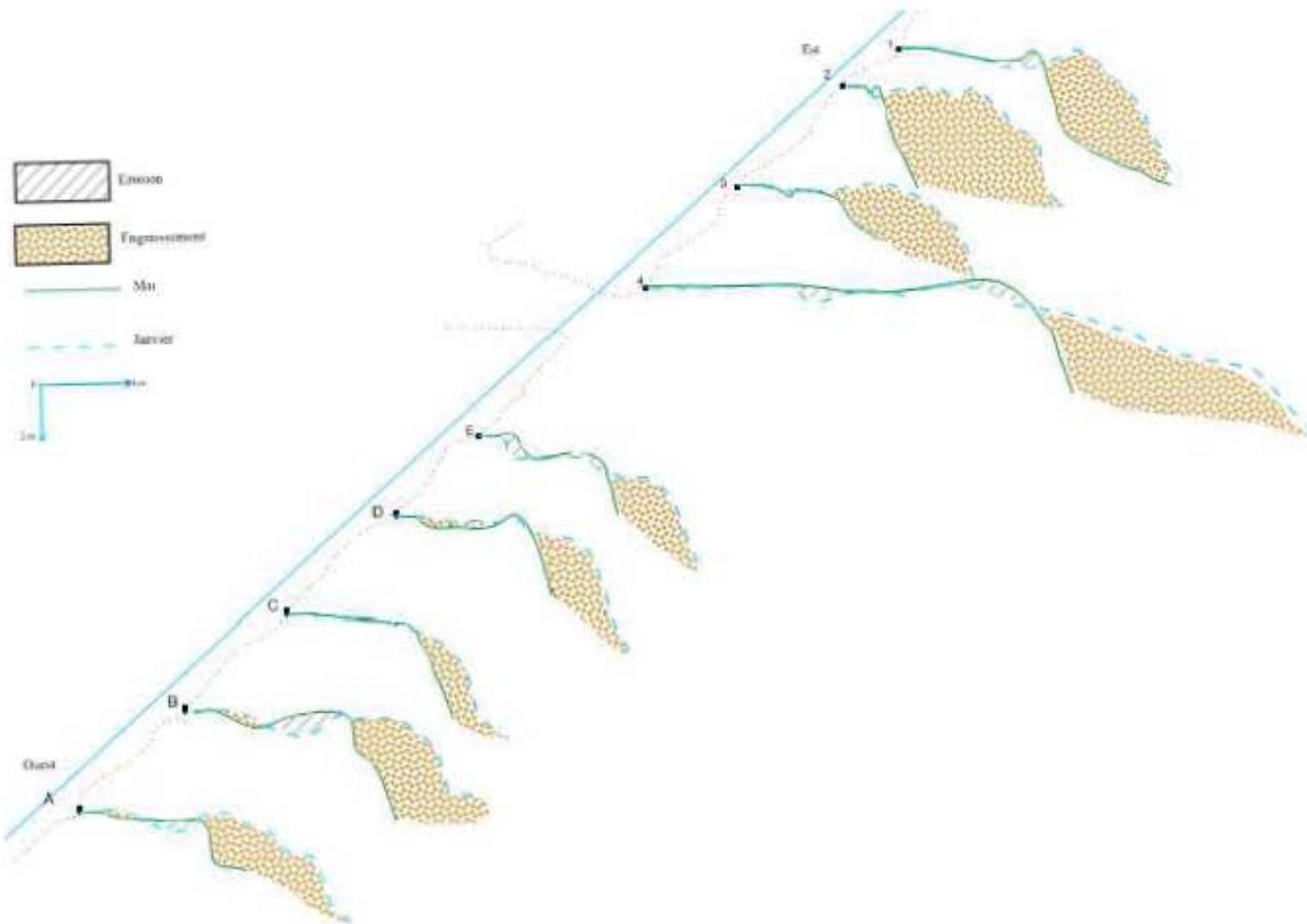


Figure 70 : Schéma de l'évolution de la plage et mai et janvier 2003

De janvier à mars 2003, (figure 71)

D'une manière générale, les sédiments de plage ont été très peu remaniés durant la période de janvier à mars 2003. En effet, la différence entre les surfaces érodées et les surfaces engraisées est de quelques dizaine de m<sup>2</sup> (tableau 11.) L'érosion durant cette période a affecté beaucoup plus la plage ouest. La plage est d'une manière générale s'est engraisée sauf à la station 4 proche de l'embouchure.

Le volume de sédiment érodé à l'ouest de la passe est de **58 539,99** m<sup>3</sup> alors qu'à l'est il est de **135 002,45** m<sup>3</sup>.

**Tableau 11:** Volumes et Surfaces remaniés par profil entre janvier et mars 2003.

Profil	Total surfaces érodées (m <sup>2</sup> )	Volume de sable déplacé (m <sup>3</sup> )	Total surfaces engraisées (m <sup>2</sup> )	Volume de sable déposé (m <sup>3</sup> )	Différence (m <sup>2</sup> )	Tendance
Profil A	<b>45,78</b>	24356,32	<b>4,131</b>	2198,03	<b>- 41,65</b>	Erosion
Profil B	<b>21,31</b>	11552,6	<b>37,14</b>	20132,37	<b>15,83</b>	Engraissement
Profil C	<b>9,41</b>	4291,76	<b>9,01</b>	4109,74	<b>-0,4</b>	Erosion
Profil D	<b>10,09</b>	3352,54	<b>20,61</b>	6845,75	<b>10,52</b>	Engraissement
Profil E	<b>69,06</b>	14986,75	<b>4,77</b>	1035,99	<b>- 64,29</b>	Erosion
Profil 1	<b>126,77</b>	229,46	<b>248,08</b>	44903	<b>121,31</b>	Engraissement
Profil 2	<b>25,03</b>	2653,71	<b>257,64</b>	27310,77	<b>232,61</b>	Engraissement
Profil 3	<b>0,21</b>	51,04	<b>379,63</b>	90733,8	<b>379,42</b>	Engraissement
Profil 4	<b>348,25</b>	109351,38	<b>12,03</b>	3778,77	<b>- 336,22</b>	Erosion

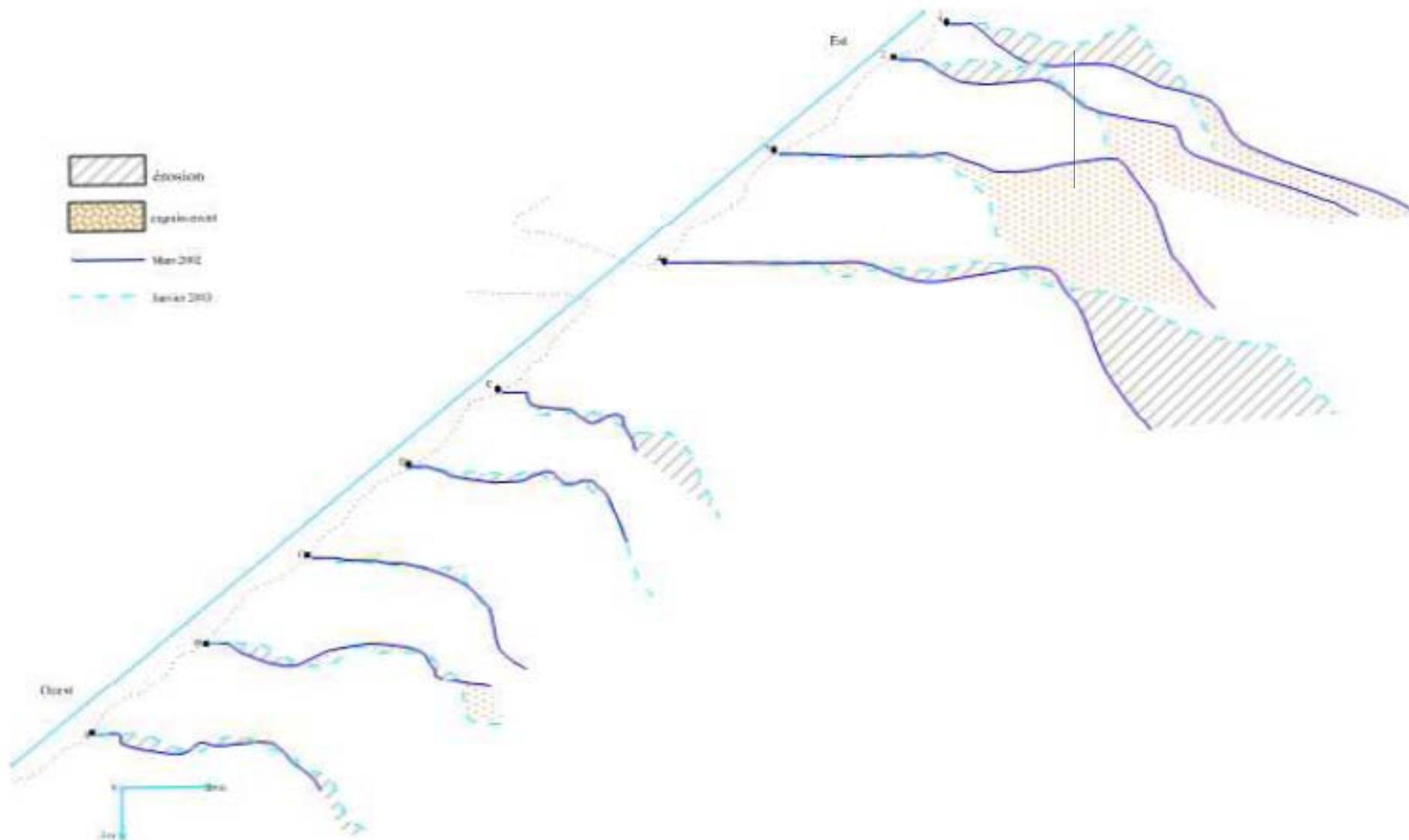


Figure 71 : Schéma de l'évolution de la plage entre janv et mars 2003

- **Synthèse de l'évolution des plages sur un an (figure 72)**

Même si d'une manière générale, la période de janvier 2003 a vu l'engraissement des plages, la superposition des profils de mars 2002 et de mars 2003 montre que la tendance générale à l'ouest de la passe est à l'érosion. Aux alentours de la passe, s'accumulent d'importants volumes de sables. Ainsi, les stations 3 et 4 à l'est de la passe et la station E à l'ouest de la passe ont subi un engraissement.

L'observation des surfaces totales d'érosion à l'est et à l'ouest de la passe permet de dire que même si pendant la période calme la plage est reconstruite, cette reconstruction n'est pas parfaite. En effet, les zones proches de la passe où l'érosion est forte pendant les périodes turbulentes s'engraissent considérablement pendant les périodes de faibles agitations.

Le détail des surfaces érodées et engraisées se trouve dans le tableau suivant :

**Tableau 12 :** Volumes et surfaces remaniés entre mars 2002 et mars 2003.

Profil	Total surfaces érodées (m <sup>2</sup> )	Volume de sable déplacé (m <sup>3</sup> )	Total surfaces engraisées (m <sup>2</sup> )	Volume de sable déposé (m <sup>3</sup> )	Différence (m <sup>2</sup> )	Tendance
Profil A	<b>130,05</b>	69188,87	<b>3,45</b>	1836,66	<b>-126,6</b>	érosion
Profil B	<b>25,16</b>	13637,29	<b>4,85</b>	2632,19	<b>-20,31</b>	érosion
Profil C	<b>70,71</b>	32245,71	<b>10,56</b>	4815,46	<b>-60,15</b>	érosion
Profil D	<b>38,25</b>	12701,09	<b>31,65</b>	10508,68	<b>-6,6</b>	érosion
Profil E	<b>0,83</b>	180,45	<b>156,84</b>	34035,41	<b>156,01</b>	Engraissement
Profil 1	<b>21,66</b>	3921,66	<b>368,12</b>	66631,25	<b>346,46</b>	Engraissement
Profil 2	<b>442,11</b>	46863,80	<b>0,77</b>	82,39	<b>-441,34</b>	érosion
Profil 3	<b>0</b>	0	<b>464,51</b>	111018,68	<b>464,51</b>	Engraissement
Profil 4	<b>0</b>	0	<b>681,83</b>	214095,55	<b>681,83</b>	Engraissement

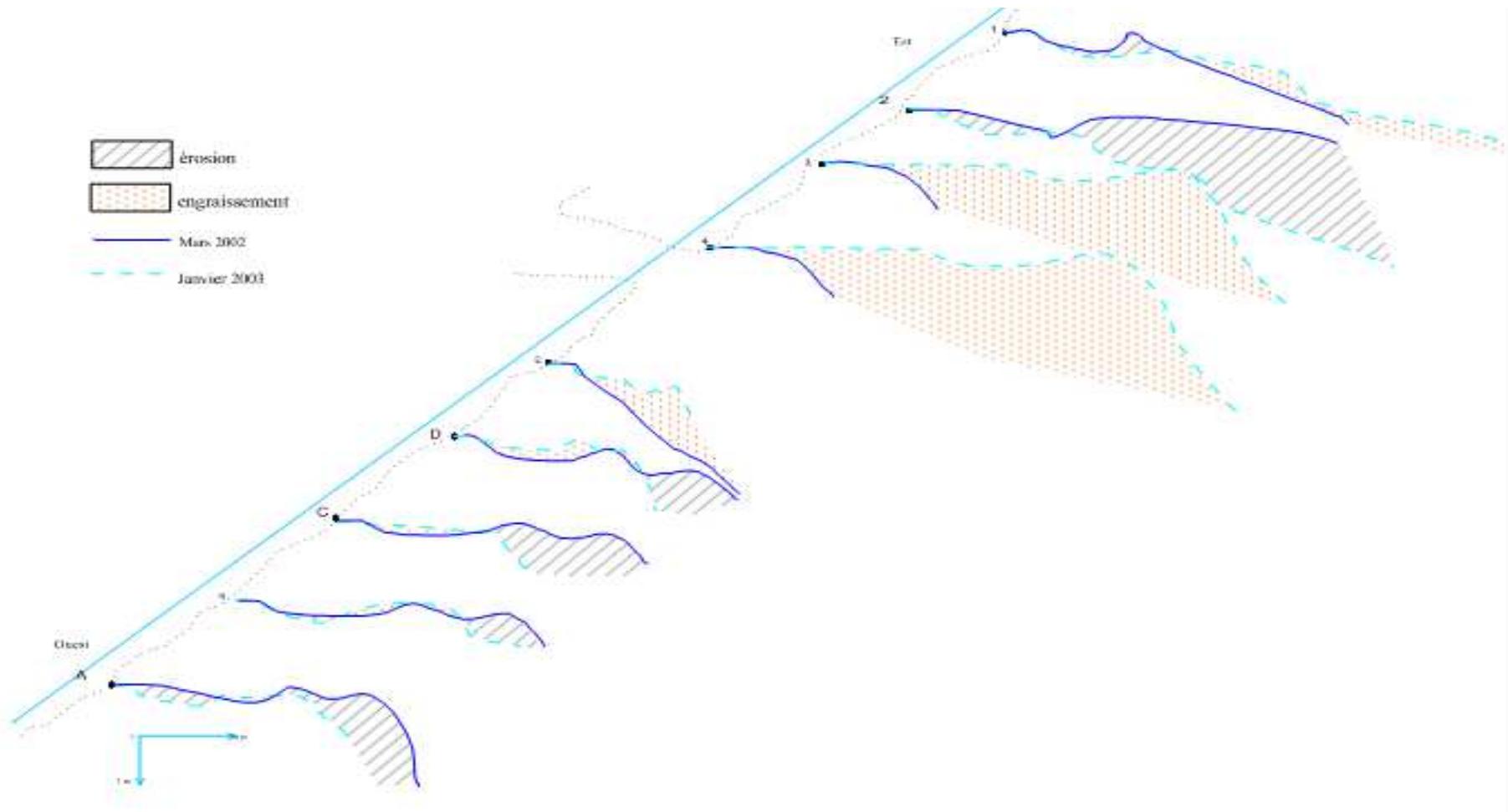


Figure 72 : Schéma de l'évolution de la plage entre mars 2002 et mars 2003

### **III –4 EVOLUTION DES FACIES SUPERFICIELS**

Sur la plage, les sédiments sont remaniés par la houle. L'observation visuelle des sables sur tous les profils montre une granulométrie décroissante du haut estran vers le bas estran. Sur le haut estran cependant, les sables sont mêlés de débris coquillés triés et déposés par les vagues. L'évolution des formes sur la plage est un bon indicateur de mouvements sédimentaires.

L'étude sédimentologique des faciès superficiels le long des profils montre une certaine stabilité dans la distribution des sédiments dans le temps. Nous n'exposerons que les résultats de mai 2002 correspondants à la période turbulente et ceux de janvier 2003 correspondant à la période calme.

#### **Evolution sédimentologique**

L'analyse granulométrique des 71 échantillons prélevés sur les profils et leur positionnement sur ceux-ci nous ont permis de déterminer les limites des différents faciès sédimentologiques.

Parmi les paramètres granulométriques, nous avons choisi de représenter :

- la moyenne granulométrique définie par Folk et Ward, (1975) et qui détermine le grain moyenne d'un sédiment ;
- et l'écart type qui traduit le degré de classement des grains de sable ou la dispersion des tailles par rapport à la moyenne.

#### **❖ répartition saisonnière des faciès (figures 73 et 74)**

Les coupes sériées saisonnières dessinées à partir de la morphologie sur lesquelles sont représentées les résultats de l'analyse granulométrique, nous indiquent l'évolution des différents stocks sédimentaires, car celle-ci représente les variations en surface des faciès représentés.

Monté sur le même profil que la moyenne granulométrique, l'écart type permet d'affecter un degré de classement à chaque stock sableux.

- **Pendant la saison sèche (profil de janvier)** (figure 73)

Sur l'ensemble de la plage, l'action importante de la houle permet un bon tri des sédiments. La répartition des faciès à partir de la moyenne est très nette. Deux stocks sableux sont définis :

- les sables grossiers ( $Mz < 1 \Phi$ )
- les sables moyens ( $1\Phi > Mz > 2\Phi$ )

La répartition des moyennes sur les profils montre une granulométrie décroissante du haut vers le bas estran. Les sables coquillés avec des débris coquillés sont sur le haut et le moyen estran. Sur le mi-estran, on retrouve ces mêmes sables grossiers mais avec moins de débris coquillés. Les sables moyens quant à eux se retrouvent sur le bas estran. On y rencontre souvent des laminations de minéraux lourds.

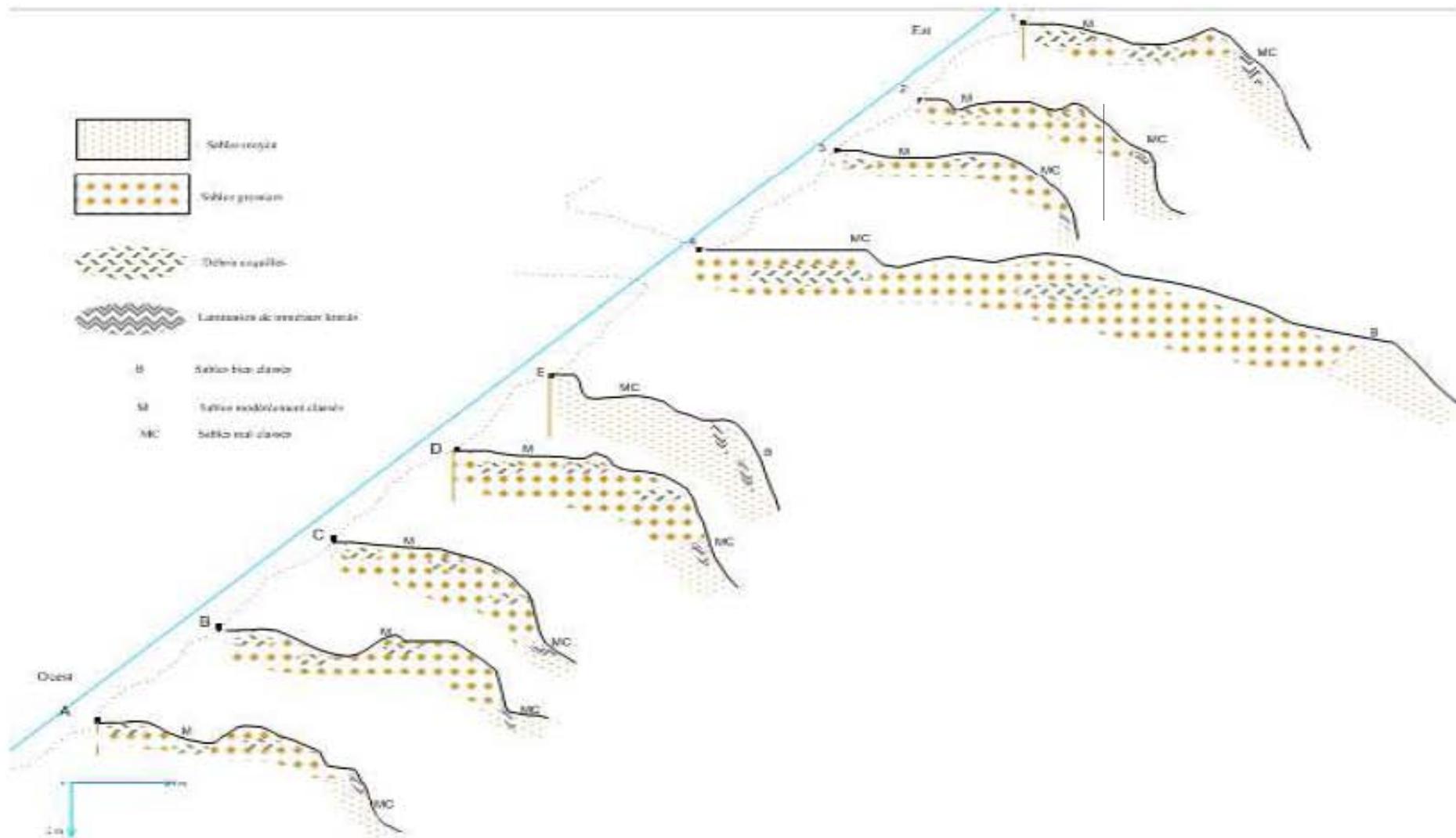


Figure 73 : Répartition des faciès sédimentologiques sur la plage à partir de la moyenne granulométrique et de l'indice de classement Janvier 2003

Sur le profil E à proximité de la passe, on rencontre que des sables moyens du haut estran au bas estran. On note également la présence de minéraux lourds mais les débris coquillés sont rares.

L'analyse de l'indice de classement fait apparaître trois stocks sédimentaires.

Ce sont :

- les sables bien classés (B)  $(0,35 < \sigma < 0,5)$
- Sables modérément classés (M)  $0,50 < \sigma < 0,80$
- Sables mal classés (MC)  $\sigma > 0,80$

Sur l'ensemble de la plage, les sables grossiers du haut estran et du moyen estran sont mal classés. Les sables moyens sont bien classés sur les profils E et 4 qui sont proches de l'embouchure. Ces sables moyens sont modérément classés sur le reste de la plage.

- Pendant la saison des pluies (profil de mai) (figure 74)

La répartition des moyennes par profil montre que, tout le long de la plage, les sables grossiers se retrouvent sur le haut estran et le moyen estran. Les sables moyens sont au bas estran. On observe également des débris coquillés sur le haut et le moyen estran. Dans les sables moyens, sur le bas estran, on rencontre des laminations de minéraux lourds.

L'analyse de l'indice de classement par rapport à la moyenne montre que les sables grossiers du haut et du mi-estran sont en général modérément classés ; tandis que les sédiments du bas estran sont mal classés sur les profils loin de la passe. Au niveau des profils proches de la passe, les sédiments moyens du bas estran sont bien classés sans doute à cause de l'énergie des vagues combinées à celle du fleuve à cet endroit.

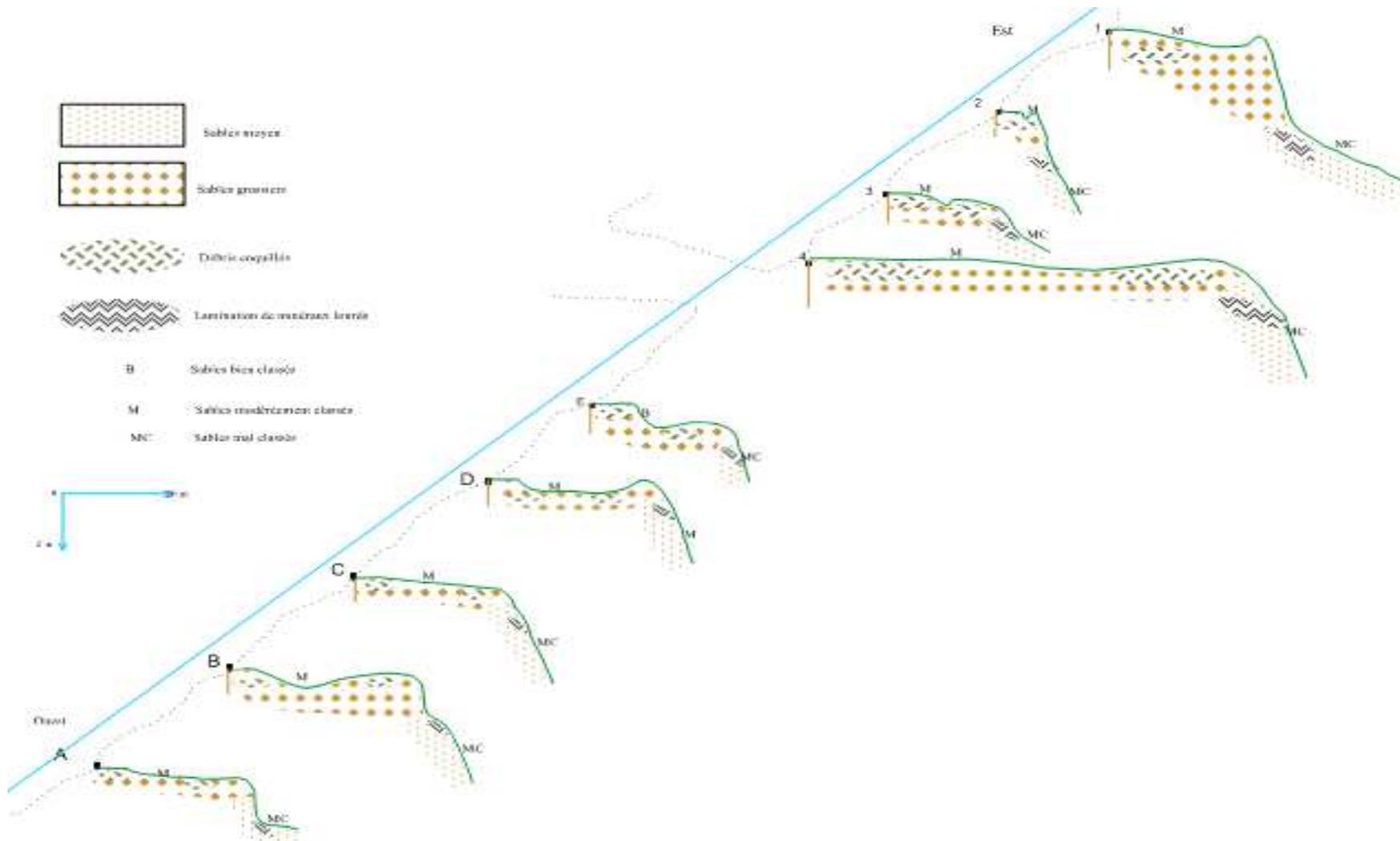


Figure 74 : Répartition des faciès sédimentologiques sur la plage à partir de la moyenne granulométrique et de l'indice de classement (période turbulente mai 2002)

### **III – 5 LES CAUSES DE L'EROSION A GRAND-LAHOU**

L'érosion est l'ensemble des phénomènes externes qui, à la surface du sol ou à faible profondeur, enlèvent tout ou une partie des terrains existants et modifient ainsi son relief. (Foucault 1980). L'érosion s'oppose donc à la sédimentation qui elle est un gain de terrain ou une accrétion de terrain. "Dans le contexte des littoraux, l'érosion se traduit essentiellement par un recul des rives. L'érosion résulte de la conjonction de plusieurs facteurs qui sont : le niveau de la mer, la houle, etc. Son intensité varie suivant les caractéristiques des agents qui le contrôlent mais aussi avec les caractéristiques géomorphologiques du littoral.

Quelles sont les causes de l'érosion du cordon littoral de Grand-Lahou ?

Les causes de l'érosion peuvent être classées en deux catégories:

- les causes résultant de processus naturels auxquelles il est souvent difficile d'y remédier.
- les causes dues aux interventions humaines souvent "mal planifiées". Ces causes peuvent être contenues ou même inversées.

#### **III– 5 –1 Les causes naturelles**

Si nos observations de terrain et nos investigations soutenues par des témoignages des riverains permettent d'envisager des hypothèses pour répondre à cette question, le manque de données sur une longue période (données anémométriques (liées au vent) permettant d'analyser la fréquence des tempêtes ; données sur la morphologie détaillée de la plage sous-marine permettant d'étudier la déformation de la houle au rivage,...) ne permet pas de faire des prévisions à long terme, de gérer de façon adéquate ce milieu et même de dresser des plans d'aménagement pertinents.

La fréquence et l'intensité des tempêtes, le déficit sédimentaire, l'élévation du niveau marin relatif, Caractéristiques du substrat, Le tracé du littoral, La topographie locale des terres émergées, Les vents, Les agents littoraux et Le bilan sédimentaire pourront être les causes naturelles directes de l'érosion sur cette portion du littoral.

### *III- 5 -1 -1 Les causes liées aux tempêtes*

La tempête est une des causes importantes de l'érosion à Grand-Lahou.

La mémoire des habitants des zones côtières en générale et ceux de Grand-Lahou en particulier est riche en ces évènements destructifs. Ces témoignages sont soutenus par certains auteurs comme Varlet, (1958) qui signale la destruction d'une allée de cocotier en 1860.

A Grand-Lahou selon elle, chaque décennie apporte son lot de souvenirs. Par exemple, entre 1949 et 1950, on assista à la destruction de plusieurs habitats et de biens personnels. Juillet 1989 celle de la destruction du phare. Avril 1997 vit la destruction du campement hôtel de Grand-Lahou ;

Les tempêtes à Grand-Lahou, même si elles ne sont pas très fréquentes accélèrent l'érosion de la côte.

Aussi, une analyse détaillée de données anémométriques (vents) permettront-elle de déterminer leurs fréquences ou de déterminer leurs sévérités au cours du temps.

Sur le littoral de Grand-Lahou, le vent à une direction NE –SW. Bien que son intensité ne soit pas de nature à soulever des quantités importantes de sables, il joue cependant un rôle déterminant lors des tempêtes.

### *III- 5 -1 -1 Les causes liées à l'orientation du trait de côte*

Indépendamment des autres facteurs, le tracé de la ligne de rivage peut expliquer la prépondérance de l'érosion ou de la sédimentation locale sur la rive.

En effet, l'orientation du rivage par rapport au plan des vagues favorise ou non l'érosion. A Grand-Lahou, le trait de côte, d'orientation Ouest –Est, s'infléchit sensiblement vers le Nord-nord-ouest ce qui semble se traduire selon Queleennec, (1984) par une variation dans l'intensité du transit littoral. l'angle d'incidence des houles par rapport à l'orientation de la côte entraîne une dérive littorale dominante de direction Ouest- Est. Cette dérive est à la base de la migration de l'embouchure vers l'Ouest.

### *III- 5 -1 -3 Les causes liées à la côte du cordon littoral*

Il s'agit de la hauteur des terrains à éroder. Par exemples des plaines alluviales, des plateaux, des marais intertidaux, des basses moyennes et hautes terrasses. L'altitude moyenne des terres émergées (côte) à Grand-Lahou est de quatre (4) mètres. A l'est de l'embouchure, pendant la marée haute, les vagues surmontent aisément l'étroit cordon littoral pour alimenter la lagune en eau de mer, modifiant sans cesse la morphologie de celui-ci. A l'ouest de la passe, le cordon est moins étroit mais la hauteur de vagues par rapport à l'altitude moyenne du cordon favorise l'érosion de celui-ci.

Aussi, le substrat constitué de matériel meuble et cohérent (sables moyens à grossiers) est-il de nature à s'éroder très facilement. En effet, dans les mêmes conditions, l'érosion sera d'autant plus rapide que la roche est meuble et cohérente.

### *III- 5 -1 -1 Les causes liées à L'élévation du niveau de la mer*

C'est une cause souvent évoquée par les spécialistes pour expliquer l'érosion dans la plupart des littoraux dans le monde. Selon Abé et al 1995, une élévation de 0,5 m causerait une perte de territoire de 0,39 % sur les 322 000 km<sup>2</sup> que compte la Côte 'Ivoire. Les houles génèrent une surélévation du plan

d'eau qui peut aller jusqu'à 30 cm (Robin, 1988). Les variations thermiques occasionnent de même dans le golfe de Guinée des variations qui peuvent atteindre 20 cm (Robin et al, 1999), le tout contribuant à l'élévation du niveau relatif de la mer de Côte d'Ivoire. Selon (Verstraete, 1989). Des données recueillies à partir du marégraphe de Takoradi (Ghana) permet d'estimer la hausse séculaire du niveau marin à 0,34cm par an. (Pizzali, 1996), à l'aide de deux marégraphes installés en Afrique de l'ouest suggère pour la région une élévation moyenne du niveau de 0,16 cm/an.

### **III – 5 –2 Les causes anthropiques**

L'anthropisme constitue un facteur de plus en plus important de la modification des rivages. Les barrages construits sur le fleuve Bandama contribuent pour l'essentiel à la réduction du budget sédimentaire. En effet par leur rôle de rétention des particules détritiques (Bamba *et al* , 2002) ils privent le littoral de l'approvisionnement en sable . Notons que 184 barrages sont installés sur le fleuve Bandama. (Anonyme, 1996). De même, les besoins croissants en matériaux de construction (sables, graviers) pour les grands travaux d'aménagement, les prélèvements ponctuels de sables sur l'estran pour la construction de nouvelles maisons, la fréquentation quotidienne des cordons par les habitants qui piétinent les herbes, le prélèvement de bois de mangrove pour sécher le poisson ..... sont autant de facteurs anthropiques qui sont susceptibles de fragiliser et d'accélérer leur démantèlement par l'érosion.

D'une manière générale, malgré l'ampleur de l'érosion sur les plages de Braffédon à Grand-Lahou, les agents d'érosion restent mal connus. Le manque de données précises et fiables sur les agents (vagues, courants...) rend difficile l'évaluation des apports et des départs de matériaux.

## Discussion

Le trait de côte et la flèche littorale à Grand-Lahou connaissent une érosion certaine. Cependant, ces deux entités n'évoluent à pas à la même vitesse. L'évolution de la flèche littorale et l'érosion de la berge ouest de la passe sont très importantes. En effet de 1957 à 2003, soit en 46 années seulement, la berge ouest de l'embouchure a reculé de plus de 500 m. Cette avancée spectaculaire de la flèche littorale suivie de l'érosion de la berge ouest de l'embouchure a été signalée par Abbé (1993) qui estime la vitesse d'érosion à 1,1 m/ mois. Les photos prises durant la période de notre étude (annexe 4) attestent de ces destructions. Signalons cependant que pendant les périodes de crue, une partie du stock sableux qui constitue la flèche littorale est remobilisée.

Concernant la l'érosion de la côte, l'érosion même si elle n'est pas aussi spectaculaire que celle de la berge ouest de la passe, se fait progressivement et à une vitesse plus ou moins élevée. Nos résultats comparés à ceux des études antérieures sont généralement en phase avec ceux-ci. HAUHOUOT, (1999) estime le recul du trait de côte 1957 à 1986 à 0,3 m/an et celui de la période 1986 à 1993 à 2m/an. Koffi (1994) estime le recul de la période 1985 à 1990 à 2,5 m/an. Sur les mêmes périodes nos investigations donnent respectivement des vitesses de : 0,45m/an pour la période de 1957 à 1986,

2.16 m/an pour la période de 1986 à 1993.

Notons que Sur une courte période (quelques mois), la vitesse de l'érosion estimée est très importante (83,4m/an de 1993 à 1995 au niveau de la rive ouest de la passe). Mais, l'estimation sur une longue période, qui prend en compte les périodes turbulentes et les périodes de faibles agitations donne des vitesses d'érosion de moindres importances.

Cependant, Ces estimations bien que concordantes avec les estimations antérieures sont peuvent contenir quelques décalages compte tenu la

précision du système de repérage, de la qualité médiocre de certaines photos aériennes, des erreurs liées à la digitalisation du trait de côte etc.

### **Conclusion partielle**

Les comparaisons de photos sur une longue période (cinquantaine d'années), les estimations précédentes sur une courte période (1 an) et les témoignages recueillis auprès de personnes âgées à Grand-Lahou, nous font penser que l'érosion à Grand-Lahou est un phénomène continu, périodiquement accéléré ou décéléré. Elle est due en grande partie aux attaques des houles, des tempêtes mais aussi au transit littoral et à l'action anthropique.

Le transit littoral, dirigé vers l'Est entretient la dynamique de la flèche littorale qui selon les saisons réduit ou agrandit la passe.

L'étude des photos aériennes de 1957 à 2003 a montré une érosion continue du littoral de Grand Lahou. Certaines périodes connaissent une érosion très active due aux conditions d'agitation du milieu.

L'analyse des profils de plages sur une période de 1an (mars 2002 à mars 2003) nous permet de conclure que l'érosion est très active pendant les périodes turbulentes. D'énormes quantités de sables sont mobilisées.

Les profils de plages de mars et janvier à l'est et à l'ouest de la passe présentent des morphologies irrégulières avec des crêtes et des creux. Les profils concaves liés aux périodes d'érosion s'observent pendant les mois turbulents d'avril et de mai. Les formes convexes liées aux périodes de moindres agitations s'observent pendant les mois calmes de janvier et de mars, la tendance de l'évolution générale est à l'érosion sur toute la plage

# CONCLUSION

## **I RAPPEL DES OBJECTIFS :**

L'étude de l'hydrologie et la sédimentologie de l'embouchure du fleuve Bandama entreprise ici avait pour objectif principal la compréhension du fonctionnement de ce milieu estuarien.

En vue d'atteindre cet objectif global, plusieurs objectifs spécifiques ont été définis : ce sont :

- déterminer les caractéristiques de l'estuaire du Bandama afin de comprendre le rôle de l'hydrodynamisme dans les phénomènes de sédimentation ;
- préciser la nature et quantifier l'importance des apports fluviaux dans le budget sédimentaire de l'embouchure du fleuve ;
- cartographier la morphologie et la sédimentologie des faciès superficiels de l'environnement étudié ;
- quantifier l'érosion à Grand-Lahou.

## **II - RAPPEL DES RESULTATS**

### **II- 1 - HYDROLOGIE DE L'ESTUAIRE**

L'étude hydrologique de l'estuaire a consisté essentiellement à l'analyse des paramètres physico-chimiques dans l'estuaire.

D'une façon générale, la limite de l'estuaire varie suivant les périodes (étiage, crue, marée de vives eaux et marée de mortes eaux). Les conditions optimales d'observation de la pénétration maximale des eaux marines se situent pendant l'étiage du fleuve et à marée de vives eaux. à cette période, la

marée de salinité se fait ressentir jusqu'à environ 29 km de l'embouchure alors que la marée dynamique se ressent jusqu'à environ 70 km.

L'étude de l'intrusion saline dans l'estuaire montre que cette intrusion se fait de manière différente selon les caractéristiques fluviale et marine.

Dans l'estuaire du Bandama, pendant la période de crue, le débit du fleuve est assez fort pour vaincre la pression de la marée. L'estuaire se comporte alors comme un estuaire à coin salé. En profondeur, l'eau salée s'écoule vers l'amont.

En période d'étiage, le débit du fleuve est de plus en plus faible. La stratification de la colonne d'eau est très réduite. L'écoulement moyen résiduel tend à se diriger vers l'aval sur toute la hauteur d'eau. A cette période, l'estuaire se comporte comme un estuaire de type partiellement mélangé.

Au maximum d'étiage, l'estuaire peut passer du type partiellement mélangé au type verticalement homogène ou bien mélangé. Les courants de marée sont importants par rapport au débit fluvial. L'intrusion se fera alors sans stratification ou avec une faible variation verticale de la salinité.

D'une manière générale, La distribution de la salinité dans l'estuaire en crue et en étiage montre que l'estuaire du Bandama passe progressivement **du type stratifié** en période de **crue** au **type partiellement mélangé ou mélangé** en période **d'étiage**.

## **II- 2 MORPHOLOGIE ET SEDIMENTOLOGIE DE L'ESTUAIRE**

La morphologique générale de l'estuaire permet de distinguer trois chenaux principaux qui sont :

- le chenal de fleuve Bandama ;
- le chenal de la lagune Nyouzoumou ;
- et le chenal de la lagune Tagba..

Ces chenaux sont séparés par des hauts fonds émergeant souvent en période d'étiage ou par des îles occupées par des plantations de cocotiers.

D'une manière générale, des berges au chenal principal, les pentes sont abruptes souvent presque verticales.

Les profondeurs varient de 0,4 mètres à 7 mètres dans les parties proches de l'embouchure. Dans tout l'estuaire, la profondeur moyenne est de 3,5 mètres. La profondeur maximale mesurée est de 15 mètres vers le pont de N'Zida. Cette partie a été probablement draguée pour les besoins de la construction du pont.

### **Répartition des faciès superficiels**

La répartition des faciès granulométrique de l'estuaire correspond à celle des unités morphologiques. En effet, d'une manière générale, les hauts fonds sont constitués de sables fins à très fins (diamètres compris entre 125 et 63  $\mu\text{m}$ ) ces sables sont bien classés (l'écart type compris entre 0,35 à 0,5). Ces sables fins contiennent une proportion non négligeable de sables moyens (la fraction B est représentée à environ 20%). Les figures 38 à 51 pages 106 à 123 représentent la répartition des faciès superficiels dans l'estuaire.

Les chenaux sont en général tapissés de sables moyens avec une teneur assez importante de sables fins.

## **II- 3 L'EROSION A GRAND-LAHOUE**

### **II – 3 – 1 Le recul du trait de côte de 1957 à 2003**

La position du trait de côte estimé grâce à des photos aériennes montre un recul de plus en plus important. L'érosion est très active comme en témoignent les résultats de cette étude. Cependant, la qualité plus ou moins médiocre des

pises de vue de 1986, et de 1988 ne permet pas d'avoir des résultats fiables sur cette période.

L'évolution de l'érosion a été estimée depuis 1957. (voir tableau ci-dessous)

**Tableau 6** Récapitulatif de la vitesse de l'érosion côtière (Zone 1)

	1971	1986	1988	1993	1995
1957	4,2 m 0,3 m/an	13.05 m 0.45 m/an	22.37m 0.72 m/an	28.17 m 0.78 m/an	46.73 m 1.23 m/an
1971		8,85m 1,23 m/an	18.17 m 1.06 m/an	23.97 m 1.08 m/an	42.53 m 1.77 m/an
1986			9,32 m 4,66 m/an	15.12 m 2.16 m/an	33.68 m 3.74 m/an
1988				5,8 m 1,16 m/an	24.36 m 3.48 m/an
1993					18,56 m 9,28 m/an

L'évolution de l'érosion est continue sur tout le cordon. Mais la partie la plus active est celle de la passe (zone 2). En effet, l'embouchure migre de plus en plus vers l'ouest sous l'effet de l'érosion. De 1957 à 2003, environ 550 km de terre a disparu sous l'effet de l'érosion dans la partie contiguë à l'embouchure

**Tableau 7** Tableau récapitulatif de la vitesse de l'érosion de la flèche littorale (Zone 2)

	1971	1986	1988	1993	1995	2003
1957	11 m 0,8 m/an	61 m 2,1 m/an	76,08 m 2,45 m/an	99,44 m 2.76 m/an	266,19m 7 m/an	550,69m 11.9 m/an
1971		50 m 3,33 m/an	65.08 m 3.82 m/an	88.44 m 4.02 m/an	255.19 10.63m/an	539.69 16.86m/an
1986			15,08 7 m/an	38.44 5.49 m/an	205.19 22.79m/an	489.69 28 m/an
1988				23,36 m 4,6 m/an	190.11 m 27.15m/an	474.61 m 31.64m/an
1993					166,75 m 83,4m/an	451.25 45.1 m/an
1995						284,5 m 35,5 m/an

### II – 3 – 2 Evolution morphologique et sédimentologique de la plage sur un an

L'étude morphologique saisonnière de plages a montré que celles-ci sont soumises à des remaniements importants. La morphologie varie d'une saison à l'autre. Pendant les périodes de fortes agitations, les plages s'érodent pendant qu'elles s'engraissent en périodes calmes. Le bilan sédimentaire est négatif car la reconstitution des plages n'est pas complète pendant la période calme. La tendance générale est donc à l'érosion.

Sur le plan sédimentologique, les plages sont constituées de sables grossiers et moyens. Les sables moyens se rencontrent au bas estran et les sables grossiers sur le haut et le moyen estran. Les sables du haut estran sont

modérément classés tandis que ceux du bas estran sont mal classés. Sur les profil proches de la passe, on rencontre des sables bien classé au bas estran et des sables modérément classé sur le haut estran. Cette répartition de l'indice de classement montre que les zones les plus turbulentes sont celles qui sont proches de la passe.

### **III CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS**

D'une manière générale, les objectifs fixés à ce travail ont été atteints. Cependant, l'objectif lié à la quantification des apports sédimentaire fluviaux dans le budget sédimentaire de l'embouchure n'a pas été totalement atteint. En effet, même si nous connaissons aujourd'hui la nature des apports, la concentration des eaux en matière en suspension, la largeur et la profondeur des sections, le manque de matériel adéquat a constitué une limite pour les mesures des débits, du sens du courant, et de la matière dissoute; données nécessaires pour la quantification des apports sédimentaires fluviaux.

Cet axe sera l'un des points prioritaires dans nos études ultérieures. Car nous envisageons dans un futur proche d'étendre cette recherche à tout le littoral, en particulier aux embouchures des grands fleuves de Côte d'Ivoire.

Même si l'élaboration de techniques ou d'outils de protection contre l'érosion des côtes nécessite l'avis de spécialistes en génie côtier, Nous voulons, au terme de cette étude, proposer quelques mesures visant à contrôler les causes anthropiques de l'érosion et aussi quelques perspectives visant la maîtrise de l'équilibre du littoral ivoirien .

**Aux riverains,**

Nous recommandons

- d'éviter d'extraire du sable ou du gravier sur la côte ou dans les lagunes. L'extraction de ces sables peut réduire l'apport de sédiments et contribuer ainsi au déficit sédimentaire.

- d'éviter les activités de construction sur la plage (hôtel, habitation, industries...) car ces structures sur la plage peuvent obstruer la dérive littorale. Il se produira alors en amont un engraissement et en aval une érosion.

- d'éviter la destruction de la végétation sur les cordons littoraux et sur les rives des lagunes.

### **Aux autorités politiques et administratives,**

Nous recommandons :

-de soutenir ou d'initier les études visant à la protection et à la gestion durable de ce site historique et touristique.

- d'entreprendre des travaux d'aménagement visant à maîtriser l'équilibre morphologique et sédimentologique des débouchés des grands fleuves de notre pays, ceci afin d'éviter les risques liés à leurs évolutions (inondation des rives souvent habitées, ensablement et fermeture du grau, érosion.....)

### **A la communauté scientifique de Côte d'Ivoire, aux autorités politiques, et aux bailleurs de fond**

Nous recommandons :

La réalisation d'une étude interdisciplinaire (sédimentologie, socio économie, environnement, aménagement du territoire...) afin de mettre en place un système efficace de gestion intégrée et rationnelle de tout le littoral ivoirien. Ainsi, nous tirerons un meilleur profit de toutes les ressources et avantages qu'offre cet espace littoral.

# **BIBLIOGRAPHIE**

## Bibliographie

- Abé J. (1984) Etude des mouvements sédimentaires dans la zone du canyon de Capbreton à l'aide de traceurs radioactifs et fluorescents (France). Thèse 3ème cycle, Univ. Bordeaux I. n° 2003, 204p.
- Abé J. (1995) Etude comparative de la dynamique sédimentaire aux embouchures des fleuves du littoral ivoirien. Proc. Int. Conf. Coastal Change 95 Bordomer- IOC, Bordeaux, pp. 347-363
- Abé J. et N'Guessan K. L. (1995) Vulnérabilité du littoral ivoirien aux changements climatiques et à l'élévation du niveau de la mer. Atelier régional sur la gestion intégrée des zones littorales CERESCOR-Guinée, 10 p.
- Abé J., Bakayoko S., Bamba S. B. et Koffi K. P. (1993) Morphologie et hydrodynamique à l'embouchure du fleuve Bandama. Jour. Ivoir. Océanol. Limnol. Abidjan. Vol. 2, n° 2, pp. 9 – 24.
- Affian K. (2003) Approche environnemental d'un écosystème lagunaire microtidal (la lagune ébrié en Côte d'ivoire) par des études géochimiques, bathymétriques, et hydrologiques : Contribution du SIG et de la télédétection. Thèse de Doctorat d'Etat Sc. Nat. Univ. Abidjan, 225 p.
- Affian K., Jourda P., Aka K. et Abé J. (1993) Caractérisation du panache turbide d'un fleuve en zone intertropicale à l'aide d'une image HRV de Spot : cas du Bandama en Côte d'Ivoire. Actualités Scientifiques. Actes des journées scientifiques de Tunis 1993, Presses de l'Univ. du Québec, pp. 205 - 213

- Aka K., Tastet J. .P (1986) La sédimentation au quaternaire supérieur sur la marge ivoirienne : résultats préliminaires des missions *transivoire*. Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine, Bordeaux, n° 40, pp. 97-153
- Aka K (1991) La sédimentation quaternaire sur la marge de Côte d'Ivoire Essai de modélisation. Thèse de Doctorat d'Etat Sc. Nat. Univ. Abidjan, 233p.
- Aka K. (1994) Distribution des matières en suspension dans les eaux de la plateforme continentale de Côte d'Ivoire. Journal of African Earth Sciences, vol. 20, n° 1, pp. 29-35.
- Allen G. P. (1970) Présentation d'un programme d'analyses granulométriques en Fortran IV. Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine, Bordeaux n° 8, pp. 253-261.
- Allen G. P. (1972) Etude des processus sédimentaires dans l'estuaire de la Gironde. Thèse de Doct. Es-sciences, Bordeaux, n° 369, 310 p.
- Allen G. P. (1972). Contribution à l'étude de la circulation des masses d'eau à l'embouchure de la Gironde. C. R. Acad. Sc. Paris, t. 275 (10 juillet 1972).
- Allen G. P., Casting P. et Tastet J. P., (1981) Excursion géologique sur l'estuaire de la Gironde. Assoc. Sédim. France, CFP, IGBA, 112p.
- Anonyme (1969) Carte régulière de l'Afrique de l'ouest : Grand-Lahou. IGN, Paris 1972
- Anonyme (1982) Inventaire hydrogéologique appliqué à l'hydraulique villageoise, Carte de Grand-Lahou, Cah. n° 29, Géomine, 26p.

- Anonyme (1983) Atelier régional sur les impacts des programmes de développement sur l'environnement du bassin versant du Bandama. RCI, Ministère de l'environnement, 172 p.
- Anonyme (1988) les causes de l'érosion. <http://mer.littoral.lamanche.net>
- Anonyme (1999) Analyse économique et financière du secteur de l'eau en Côte d'Ivoire. H.C.H., Rapport préliminaire, 31p.
- Anonyme (2000) Les estuaires. <http://www.enseeiht.fr/hmf/travaux/CD0001/travaux/optsee/hym/9/estuaire.htm>
- Anonyme (2001) Bloc CI-40, phase 2 puits d'exploitation et d'évaluation : étude d'impact environnemental. Rap. Ranger Oil, août 2001. 84 p.
- Anonyme (2001) Bloc CI-26, phase 3 puits d'exploitation, d'évaluation et de production : étude d'impact environnemental. Rap. Ranger Oil, août 2001. 84 p.
- Arbey F. (1961) Etude littorale sur la Côte des Maures. Les Sinuosités de plage. Cah. Océanogr. XIII, n°6 pp. 380-396.
- Berthois L. (1953) Remarque sur la granulométrie des sables des croissants de plage. Bull. Soc. Limm. Norm., pp.5-62
- Berthois L. (1962) Techniques d'études estuariennes. Centre de Doc. Universitaire. 5, Paris V, 114 p.
- Berthois L. (1962) Les roches sédimentaires : 1 Etude sédimentologique des roches meubles (techniques et méthodes) ed. doin, ParisVI, 278 p.
- Blanc J. J. (1982) Sédimentation des marges continentales actuelles et anciennes. Masson, Paris 157 p.

- Blarez E (1986) La marge continentale de Côte d'Ivoire- Ghana. Thèse Univ. PM Curie, 188 p.
- Bonnefille R. et Cormault P. (1964) Etude statistique des données hydrauliques et étude d'ensemble des données naturelles au large d'Abidjan. Rapport E.D.F. Centre de Recherches et d'essai de Chatou, Laboratoire National d'Hydraulique ; S.T.R. – C.F.P.T. 381 DHM., 29 p.
- Boellmann F., (1975) Transits sédimentaires et évolution des embouchures sur le littoral d'Aquitain (région de Mimizan, Landes) Thèse 3ème cycle, Fac. Sci., Univ. Bordeaux I , n° 1217, 102p.
- Bonnefille R. (1963) Essais de synthèse des lois de début d'entraînement des sédiments sous l'action d'un courant en régime continu. Bull. Centre de recherche Chatou, n°5, pp. 67-72
- Boye M. (1954) Solution aux problèmes de croissants de plage. Géomorphologie dynamique, T.V, n° 6, pp. 241-273.
- Chamley H. (1988) Les milieux de sédimentation. BRGM édition, 173p. ISBN BRGM 2 – 7159-0399-5
- Chivers R. C., Emerson N. and Burns D. R. (1990). New Acoustic Processing for Underway Surveying. The hydrographic journal, n° 56 April 1990., The Hydrographic Society, pp. 59-66
- Colin C. (1988) Coastal upwelling events in front of the Ivory Coast during the FOCAL program. Oceanologica Acta, 11: 125-138
- Derruau M. (1972) Précis de géomorphologie. Masson et Cie. 5e ed. 415 p.

- Diner N. et Marchand P. (1995) Acoustique et pêche maritime. Masson, Paris, 300 p.
- Durand J. R et Chantraine J. M (1982) L'environnement climatique des lagunes ivoiriennes. Rev. Hydrobiol. Trop. 15 (2), pp. 85-113
- Eldin M. (1971) Le climat in le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Mem. ORSTOM., n° 50, pp. 73-108
- Folk R. L. and Ward W. C. (1957) Brazos Rivers Bar : a study in the significance of grain size parameters. J. Sed. Petrol. vol. 27 n°1, pp. 325 354
- Foucault A. et Raoult J.F.(1980) Dictionnaire de géologie. Masson Paris New york Barcelone Milan 1980, 331 p.
- Guilcher A. (1949) Observations sur les croissants de plage. Bull. Soc. Géol. Fr. 15, XIX, pp.15-30
- Guillaumet J.-L. et Adjanohoun E. (1968) Carte de la végétation de la Côte d'ivoire. Ech. 1/500000 feuille sud-Ouest, O.R.S.T.O.M., Adiopodoumé.
- Hauhouot C., Robin M. et Miossec A. (1997) Etude cinématique du littoral de Grand-Lahou (Côte d'Ivoire) à l'aide d'un S.I.G. in îles et littoraux tropicaux. Brest ouest ed., pp. 269-276
- Hie Dare J.P. (1983) Etude sur l'aménagement des pêches sur la lagune Tagba (Côte d'Ivoire), C.R.O. 22p.
- Ingle J. (1966) The movement of beach sands. Developments in sedimentology, n°5, Elviesier Publishing Company, Amsterdam, London, New york, 85 p.

- Ippen A.T. (1966) Estuary and coastline hydrodynamics. Ippen edit. Me. Graw Hill, New York, 744 p.
- King C.A.M. (1959) Beaches and coasts. Londres (1959), pp. 250 – 280
- Koffi K. P. (1981) Contribution à l'étude des processus sédimentaires dans la zone littorale aquitaine (France) : remaniements et transport en suspension. Thèse 3ème cycle, Univ. Bordeaux I, n° 1718, 135 p.
- Larras J. (1956) Effets de la houle et du clapotis sur les fonds de sable. IVè journées d'hydraulique, paris, la houille blanche, T2, pp. 579-589
- Lecole J. (1971) Sédimentologie des fonds lagunaires et estuariens. Variations morphologiques saisonnières de l'embouchure d'un fleuve en climat intertropical (le Bandama, Côte d'Ivoire). Cahiers Orstom, Série géologique, III, 2 , pp.89-220.
- Le Lœuff P., Marchal. E. et Amon Kothias J.B. (1993) Environnement et ressources aquatiques de la Côte d'Ivoire, Tome I. Le milieu marin Edition de l'orstom, Paris pp. 23 – 61.
- Lombard (1972) Géologie sédimentaire et série marine., Edit. Masson et Cie. 705 p.
- Lurton X. et Pouliquen E. (1994) Identification de la nature des fonds marins à l'aide de signaux d'échosondeurs : II. Méthode d'identification. Acta acustica n° 2, pp. 187- 194
- McManus J. (1988) Grain size determination and interpretation in Tucker M., Techniques in sedimentology. Blackwell scientific publ., Oxford, pp. 63-85

- Martin L. (1971) The continental margin from Cape Palmas to Lagos : bottom sediments and submarine morphology. Repport 70/16, Institute of geological Sciences, London, pp. 83-93
- Martin L. (1974) Sédimentologie. Atlas de Côte d'Ivoire. Ministère Plan / ORSTOM/ Institut géographie tropicale, Abidjan. 1 planche.
- Martin L. (1973) La sédimentation actuelle sur le plateau continental de Côte d'Ivoire Cah. ORTOM, sér. Géol., vol. 5, n° 2, pp. 120 – 155
- Migniot C. (1982) Etude de la dynamique sédimentaire marine, fluviale et estuarienne. Thèse de Doctorat es Sc. Nat., Univ. Paris Sud, Orsay 483 p.
- Milligan, T.G. and Loring, D. H. (1997) The effect of flocculation on the size distributions of bottom sediment in coastal inlets : implications for contaminant transport. Water Air Soil Pollution, 99, pp. 33-42.
- Milligan, T.G. and P.S. Hill, (1998) A laboratory assessment of the relative importance of turbulence, particle composition, and concentration in limiting maximal floc size and settling behaviour. J. Sea Res. 39, pp. 227-241.
- Mondé S. (1997) Nouvelles approches de la cartographie du plateau continental de Côte d'Ivoire : Aspects morphologiques et sédimentologiques. Thèse 3ème cycle, Fac. Sci., Univ. Abidjan, n° 253/97, 175p.
- Monnet C. (1972) Contribution à l'étude de la dynamique et de la nature des suspensions d'un fleuve intertropical, le Bandama, Côte d'Ivoire. Evolution des éléments chimiques des eaux de son estuaire. Thèse de Doctorat es Sciences, Univ. Nice, 427 p.

- Pirazzoli P. A. (1996) Sea-level changes, the last 20 000 years. J. Wiley and Sons, Chichester, 211p.
- Pritchard d.w. (1955) Estuarine circulation patterns. Proc. Am. Soc. Civ. Engin. New york, vol. 81, pp.1-11
- Pritchard d.w. (1967). What is an estuary : physical view point. In estuaries, Lauff. G.H. Edit : Am Assoc. Advance Sc. Washington, publ.83 pp. 3-5
- Queleennec R.E. (1984) Identification des problèmes d'érosion sur le littoral sableux de Côte d'Ivoire : Proposition d'actions prioritaires. Rap. B.R.G.M. 84 AGE 033. atelier "ETS", 46 p.
- Rivière A. (1977) Méthodes granulométriques : techniques et interprétations Masson, Paris New York, Barcelone Milan 1977. 149 p.
- Robin M. Hauhouot C. (1999) Les risques naturels côtiers en Côte d'Ivoire. Cah. Nantais n° 51 pp. 169-184
- Shepard F.P. (1948) Submarine geology Harper J. Brothers publishers, New York 115 p.
- Tastet J. P. (1972) Quelques considérations sur les classifications des côtes. La morphologie côtière ivoirienne. Ann. Univ., Abidjan, Série C. T VIII, 2, pp. 135-162
- Tastet J. P. (1979) Environnements sédimentaires et structuraux quaternaires du littoral du Golf de Guinée (Côte d'Ivoire, Togo et Bénin) Thèse Doctorat d'Etat, Bordeaux I, n° 621, 175p.
- Tastet .J.P , Caillon L. et Simon B. (1985) La dynamique sédimentaire littorale devant Abidjan, impact des aménagements : contribution à la

compréhension des phénomènes d'érosion et de sédimentation. Rap. Univ. Abidjan, 34p.

Tastet J.P., Martin L., et Aka K. (1993) Géologie et environnements sédimentaires de la marge continentale de Côte d'Ivoire Environnement et ressources aquatiques de la Côte d'Ivoire, Tome I. Le milieu marin Edition de l'orsom, Paris, pp. 23 – 61.

Tastet et Guiral (1994) Géologie et sédimentologie. In Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire, les milieux lagunaires. Edition Osrtom, Tome 2. Paris pp. 35-58.

Trépanier, I., Dubois J.M., et Bonn F. (2002) Suivi de l'évolution du trait de côte à partir d'images HRV (XS) de SPOT : application au delta du fleuve Rouge, Viêt-Nam. INT. J. remote sensing. 2002, vol. 23, n°5, pp.917-937

Varlet F. (1958) Le régime de l'Atlantique près d'Abidjan. Etude. Eburnéennes, Abidjan, VII, pp. 101-220.

Varlet F. (1958) Le régime Atlantique près d'Abidjan, Côte d'Ivoire, Essai d'océanographie littorale, extrait des Etudes Eburnéennes, t.7, 222 p.

Verstraete J. M. (1989) Le niveau de la mer le long des côtes de l'Afrique de l'Oust et à l'équateur, hausse probable du niveau marin à l'échelle séculaire, COMARAF/IOC (Gloss.) Océanogr. Phys. - Conakry Guinée, pp. 5-43.

Weber O. (1978) Evolution morphologique, granulométrique d'un profil littoral de la dune à la plage sous-marine à La Salie (Gironde) en fonction des saisons – bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine, Bordeaux, 1978, N° 23, pp. 39 – 54

Wognin V. (1998) Utilisation d'une méthode acoustique pour la cartographie de la nature du fond de la mer : Application au plateau continental de Côte d'Ivoire à l'Est d'Abidjan. Mem. DEA., Univ. Abidjan 70 p.