

Partie III. Sédimentologie et dynamique sédimentaire

IIIa . La sédimentologie des filandres de l'estuaire de la Seine - Aspect physique

La partie IIIa correspond aux travaux de l'équipe 1 (S.Lesourd, LOG/M2C)

Table des matières

1- Introduction.....	2
1-1-Eléments de contexte.....	2
1-2. Rappels des objectifs.....	2
2- Méthodes.....	3
3- Contexte hydrologique.....	7
4- Caractéristiques granulométriques des échantillons DEFHFIS.....	7
4-1 Granulométrie : étude globale.....	7
4-2 Le cas des silts et argiles.....	9
5- Caractéristiques sédimentologiques des filandres	11
5-1 Faciologie de dépôt.....	11
5-2 Caractéristiques sédimentologiques des filandres.....	15
5-3 Détail sur les filandres ateliers.....	20
6- Caractéristiques de la zone intertidale sur les sites ateliers.....	21
6-1 Faciologie de dépôt sur la zone intertidale autour de Harle.....	21
6-2. Faciologie de dépôt sur la zone intertidale autour de Grande Crique.....	24
6-3. Faciologie de dépôt du schorre.....	27
6-4. Comparaison avec la filandre.....	27
7- Dynamique sédimentaire.....	29
7-1. Vitesses de courants sur Harle (mesure ADV).....	29
7-2. Topographie relative (mesure ALTUS) dans la filandre Harle.....	30
7-3. Données hydrosédimentaires sur Grande Crique (mesure Valeport).....	34
8- Conclusions partielles.....	38

1- Introduction

1-1-Eléments de contexte

La sédimentologie et la dynamique sédimentaire de la vasière nord ont fait l'objet d'un grand nombre d'études (S.Lesourd, 2000 ; Deloffre, 2005 ; Cuvilliez, 2008 ; Verney, 2006). Si les processus et la faciologie de surface ont été décrits sur la surface de la slikke, il n'en est pas de même pour les filandres en eux-mêmes, plus difficile d'accès. De fait les résultats présentés ici sont exploratoires du point de vue de la sédimentologie.

En 1998, sur la vasière nord, l'étude des structures sédimentaires met en évidence la diversité des faciès vaseux en fonction des saisons. Trois zones sont distinguées selon un profil slikke schorre, autour de la filandre Nette : la basse slikke est caractérisée par des banquettes vaseuses (système ridge and runnels, Cf figure I-1), la partie haute est plane et plus sableuse, tandis que des rides sableuses sont trouvées au débouché du chenal Nette dans la partie médiane.

L'évolution morphologique de la partie médiane de la vasière (Environ de la filandre Nette) est sous le contrôle conjugué du débit fluvial et des courants de marée. Elle est marquée par des brusques variations topographiques relatives de + 10 cm à -10 cm en quelques semaines. Le maximum de l'envasement se produit lors des phases d'importants apports particuliers de la Seine associées aux périodes de forts coefficients de marée. Ces deux facteurs peuvent être amplifiés ou contrariés par l'action de la houle.

La morphologie des filandres est très contrastée : elles peuvent à certains moments soit être comblées par de la vase molle, soit être lessivées de leur contenu.

En étiage, la vasière s'engraisse régulièrement et les filandres se remplissent de vase molle. En hiver (crue, agitation), la vasière passe de la fonction de zone de stockage à celle de zone de source de matériel fin, ces derniers étant exportés vers le chenal nord. La marée contrôle la sédimentation grâce à l'apport du bouchon vaseux selon un cycle lunaire. (Lesourd 2000, Deloffre 2005).

La modification drastique de la vasière (Cf partie II) a profondément modifié la vasière : disparition de la microfalaie, lissage des structures, nette érosion régressive.

1-2. Rappels des objectifs

L'action du LOG / S.Lesourd est liée à la thématique sédiment, en terme de caractérisation physique. Outre la coordination, il comprend des prélèvements de sédiment, aussi bien en intertidal (à pied) qu'en subtidal (mission typologie), ainsi que des mesures hydrosédimentaires. Il était prévu 4 campagnes (juillet 2010, février 2011, juillet 2011 et octobre 2011) qui permettront de tenir compte du forçage du débit fluvial et de palier aux variabilités saisonnières interannuelles.

L'objectif est de caractériser les sédiments du point de vue de la faciologie, de la granulométrie, de la rhéologie et de la concentration.

En intertidal, des transects amont-aval étaient prévus sur le continuum de chaque filandre atelier. Ces transects incluent prélèvement de surface (analyse faciologique comprenant une microgranulométrie) et prélèvement par carottages courts (30 cm), aussi bien sur la vasière s.s. qu'au fond des filandres. Ce plan d'échantillonnage, dense lors de la première mission (état des lieux), sera répété à chaque campagne (été / hiver) en fonction des évolutions morphosédimentaires observées.

Des données rhéologiques étaient prévues, acquises au moyen d'un viscosimètre pour les vases fluides du fond de chenal. Ces données seront confrontées aux vitesses de courants mesurées au sein de chaque filandre.

Du point de vue de la courantologie, une utilisation idéale des engins (en fait l'Altus) serait de les laisser sur zone durant 2 années. Le caractère instable des filandres et le temps de mobilisation des engins rend la manipulation délicate (sans oublier le problème des chasseurs). De fait, il était programmé des campagnes de mesure courte (quelques cycles de marée) sur 1 ou 2 sections caractéristiques de chaque filandre (idéalement à l'entrée du système et sur une section caractéristique en milieu de tronçon). Le dispositif prévoyait le déploiement d'un ADCP (mesure du profil de vitesse) et d'un ADV couplé à un Altus (mesure des variations relatives de la topographie).

La plupart de ces actions ont été réalisées, hormis pour les mesures courantologiques qui ont souffert de problèmes techniques.

2- Méthodes

Les données de cette étude ont été acquises (1) dans le fond des filandres, dans le cadre des missions typologie et (2) sur la slikke, en intertidal. Ces missions en intertidal ont toutefois été l'occasion de descendre dans les filandres afin de réaliser quelques échantillonnages complémentaires.

Dans le cadre des missions typologie, des transects amont-aval ont été réalisés sur le continuum de chaque filandre, avec les moyens nautiques de la CSLN, la vedette océanographique "l'Eclat". Chaque filandre a été échantillonnée trois fois au minimum (en amont, c'est-à-dire le maximum atteint par le bateau ; un point Intermédiaire (au milieu d'une ligne amont aval) et un point Aval, qui correspond généralement à l'embouchure de la filandre, pour peu qu'elle soit repérable à haute mer). L'effort d'échantillonnage a été accentué sur les filandres ateliers où le nombre de points intermédiaires est plus important ; cela représente 7 à 8 échantillons pour la Grande crique (amont et aval inclus) et 6 à 7 échantillons pour Harle (amont et aval inclus). Les figures IIIa-1 et IIIa-2 présentent la position des échantillonnages DEFHFIS réalisés lors des missions typologie.

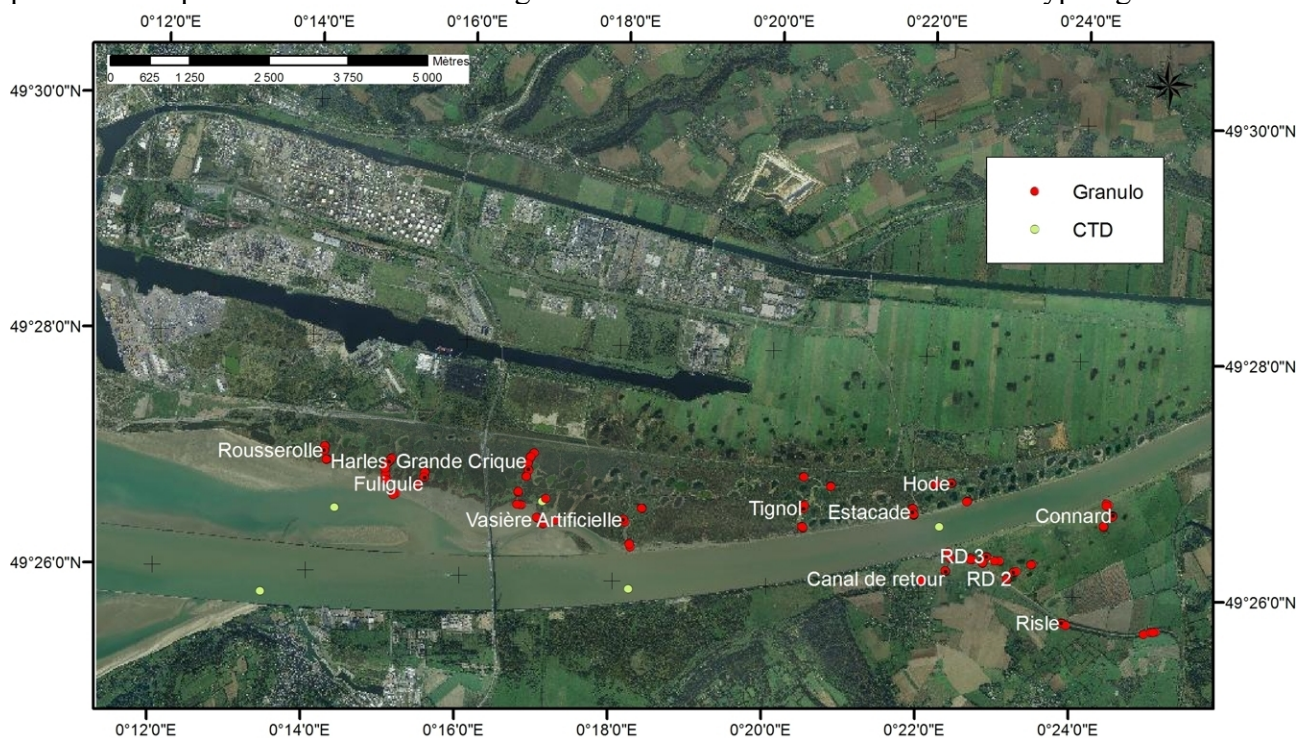


Figure IIIa-01. Position des échantillonnages DEFHFIS réalisés lors des missions typologie. Les points "CTD" sont des mesures complémentaires, à la sonde CTD. Orthophoto GPMH.



Figure IIIa-02. Position des échantillonnages DEFHFIS réalisés lors des missions typologie. Détail sur la partie E. Orthophoto GPMH.

Une nomenclature simplifiée a été établie pour les filandres, afin notamment d'alléger les textes. Les filandres ainsi étudiées (nomenclature extraite de Hoyez et Cuvilliez 1998) sont : Fuligule (FU), Harle (HA), Rousserolle (RO), Grande Crique (GC), Vasière artificielle (VA), Tignol (TI), Estacade (ES), Hode (HO), Crique à Connard (CO), Canal de Retour (CR), RD2 et RD3 (sans noms officiels) et la rivière Risle (RI).

Les données "typologie" comprennent (1) un prélèvement avec une benne légère type Van Veen, pour photographie, granulométrie, teneur en eau, matière organique (partie IIIb ci après) et rhéologie sur quelques échantillons de vase molle et (2) un profil vertical à la sonde CTD (T° , salinité). L'échantillonnage a été réalisé de manière à prélever et mesurer au sein de la filandre, dans l'axe, de façon à être représentatif du fond de la filandre et non de ses berges ; en effet ces dernières sont souvent affectées par des processus d'érosion par glissement de blocs compacts, qui eux sont représentatifs de la vasière s.s.

Afin de comparer la sédimentologie des filandres et celle de la slikke, des transects schorre slikke ont été réalisés le long de chaque filandre atelier (figure IIIa-3a et IIIa-3b).

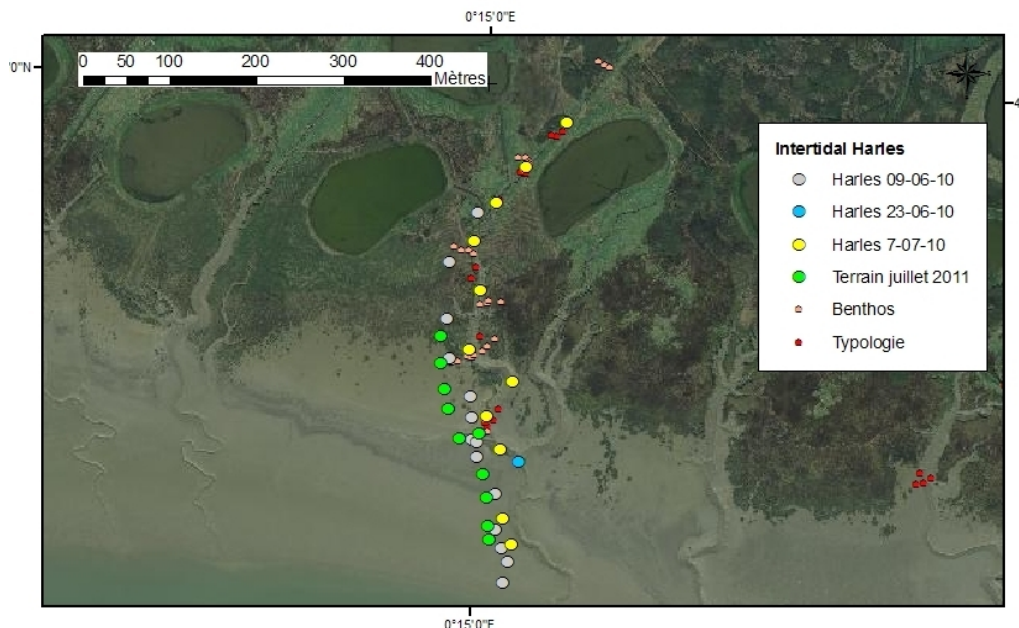


Figure IIIa-03a. Position des échantillonnages DEFHFIS réalisés lors des missions "intertidal" sur Harle. Orthophoto GPMH.

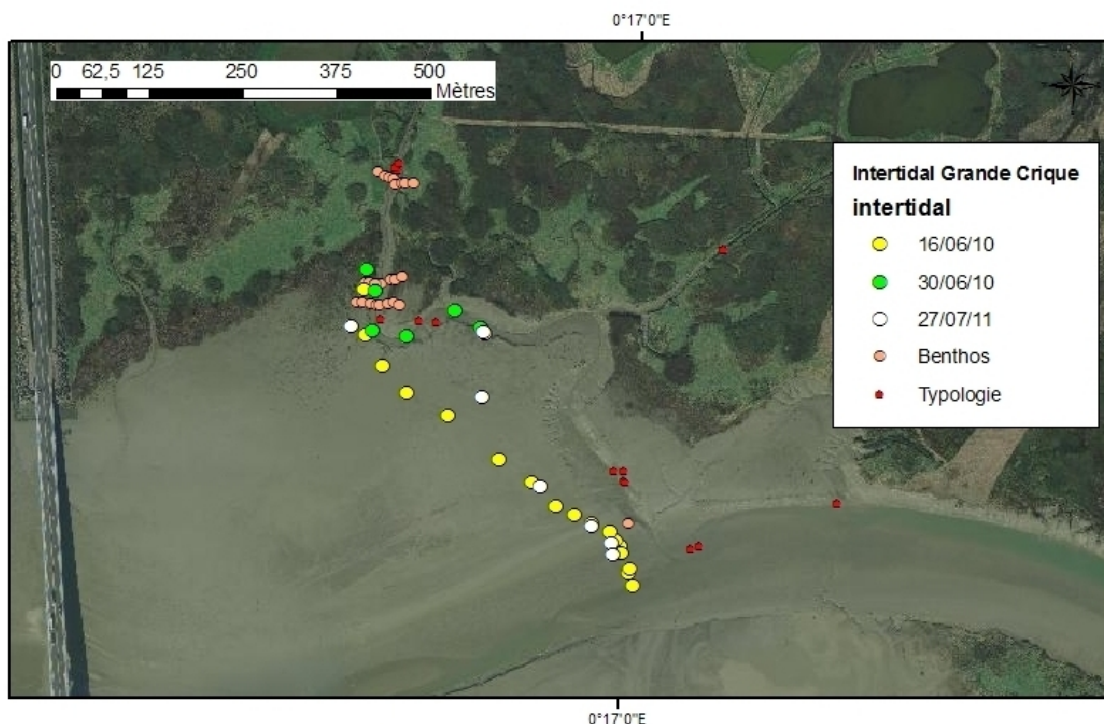


Figure IIIa-03b. Position des échantillonnages DEFHFIS réalisés lors des missions "intertidal" sur Grande Crique. Orthophoto GPMH.

Ces transects incluent prélèvement de surface (analyse faciologique comprenant une microgranulométrie et teneur en eau), ainsi que quelques carottes.

Ces données sont complétées par la série de mesures granulométriques, réalisées au LOG, à partir de prélèvements de carottes courtes pour le benthos (figure IIIa-03a et IIIa-03b). Ces derniers prélèvements sont essentiellement réalisés sur le schorre (CF protocole benthos, partie VII).

Le tableau IIIa-1 fait la synthèse des échantillons.

missions	granulométrie	teneur en eau	Carotte	rhéologie	CTD
Intertidal 09/06/10	12	12	4		
Intertidal 16/06/10	17	17	4		
Intertidal 23/06/10	1	1		1	
Intertidal 30/06/10	6	6		6	
Intertidal 07/07/10	11	11		9	
Intertidal 07/07/11	18	18	4		
Typologie juillet 2010	47	41		30	46
Typologie février 2011	51	49		28	47
Typologie juillet 2011	49	46		10	0
Typologie septembre-octobre 2011	49	45		8	51
Intertidal Benthos juillet 2010	58		58		
Total	319	246	70	92	144

Tableau IIIa-1. Ensemble des données sédimentologiques traitées par le LOG.

Les granulométries ont été réalisées au microgranulomètre Coulter LS 230 (0,4 μm à 2 mm, LOG). Les teneurs en eau ont été réalisées à 50° selon la formulation $W\% = \text{poids de l'eau} / \text{poids sec}$. La concentration est définie par $C \text{ (g.l}^{-1}\text{)} = \rho_s / ((\rho_s \times W\%) + 1)$ avec $\rho_s = 2,65 \text{ g.cm}^{-3}$. Les mesures rhéologiques sont réalisées au moyen d'un viscosimètre Fann 35SR12. La donnée rhéologique utilisée est la rigidité initiale τ_y en N.m^{-2} . Les limites de l'appareil impliquent que cette mesure n'est possible qu'avec des vases raisonnablement molles. Ceci explique que les mesures rhéologiques n'aient pu être réalisées sur les vases des filandres de la vasière Nord (Fuligule, Harle et Rousserolle). En ce qui concerne ce type de donnée, l'effort de mesure a été fait sur septembre 2010 et février 2011.

Les données granulométriques ont fait l'objet d'une classification basée sur la description de faciès et sur celle de Larssonneur (1971, tableau 2), dans l'optique d'avoir des critères de comparaison comparables avec les données antérieures.

G+Gr>50 V<5 Md>2mm	G>50	G>70	Cailloutis	C
		50<G<70	Cailloutis graveleux	CGr
	G<50	15<G<50	Gravier caillouteux	GrC
		G<15	Gravier	Gr
S+V>50 V<5 Md<2mm	15<G+Gr<50	G>Gr	Sable caillouteux	SC
		G<Gr	Sable graveleux	SGr
	G+Gr<15	Sg maj	Sable grossier	Sg
		Sm maj	Sable moyen	Sm
		Sf maj	Sable fin	Sf
V>5	V<25		Sable vaseux	SV
	25<V<75		Vase sableuse	VS
	V>75		Vase	V

Tableau IIIa-2 : Classification de Larssonneur modifiée. Chiffres exprimés en % de la fraction totale. md = médiane - maj = majoritaire - G : galet > 2cm - Gr : graviers 2 cm à 2 mm - Sg : sable grossiers 500 μm à 2 mm - Sm : sables moyens 200 à 500 μm - Sf sables fins 50 à 200 μm - V : vases < 50 μm .

L'ensemble des données est consigné dans une base de données de 859 lignes.

Des engins de mesures ont été déployés sur 15 jours dans Harle et dans la Grande Crique, en juillet 2010. Sur Harle ont été déployés un ADCP, un ADV, et un Altus, ainsi qu'une sonde STBD. Sur Grande Crique, un ADCP et une sonde Valeport (mesures des courants en un point, capteur de pression et OBS) ont été déployés. Suite à des problèmes techniques (mise à jour logiciel instable), les ADCP n'ont fonctionné que de manière ponctuelle ; il est impossible d'en tirer des données cohérentes. La sonde STBD n'a pas fonctionné. Compte tenu de la durée du projet, il a été impossible de réaliser un autre déploiement des engins.

3- Contexte hydrologique

Les missions DEFHFIS se sont déroulées dans un contexte de débit fluvial caractérisé par un étiage prolongé qui se prolonge depuis une dizaine d'année. Durant les missions DEFHFIS, le débit liquide était globalement très bas, de l'ordre de $200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (figure IIIa-04). Seule la mission de février 2011 s'est déroulée selon des débits plus forts (de l'ordre de $500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), faisant suite à un événement ponctuel de $1540 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Cet événement aura des répercussions sur la sédimentologie, mais cette période de fort débit liquide est suffisamment peu soutenue dans le temps pour occasionner des conséquences hydrosédimentaires majeures, telles une crue estuarienne (Lesourd et al, 2003, Garnaud et al., 2003).

Signalons que durant l'année 2011, le nombre de jours où le débit liquide était inférieur à $200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (fort étiage) est de 141, ce qui est proches des maximas (pour ce nombre) enregistrés depuis 1941

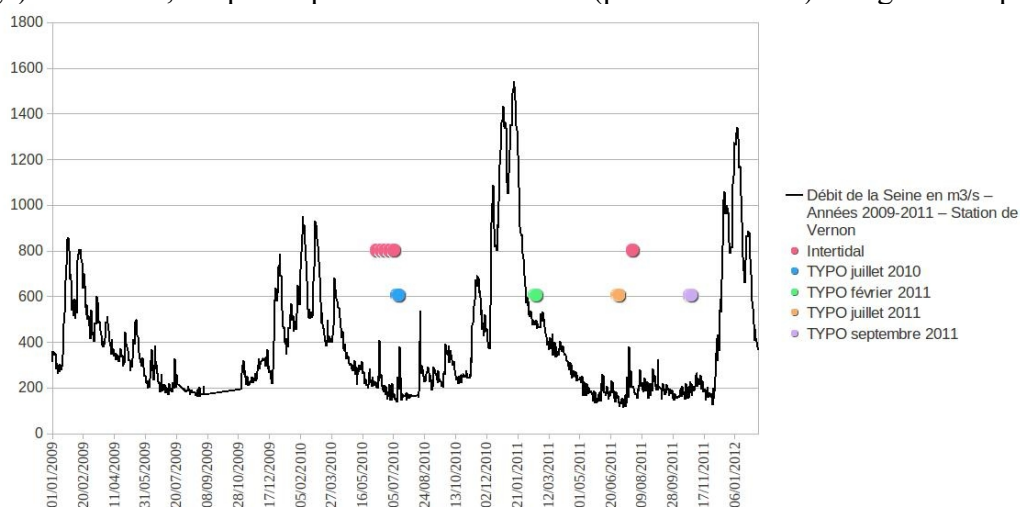


Figure IIIa-04. Débit de la Seine ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) mesuré à Vernon et dates des missions de terrain.

A noter que pour les filandres de la Rive Sud (RD2, RD3, CR) le débit de la Risle pourra avoir des conséquences sur la salinité, mais aussi sur la dynamique sédimentaire (lorsque la Seine est en bas débit fluvial, le débit de la Risle peut représenter une forte proportion des apports d'eaux douces). Pour l'heure, les données de débit de la Risle sont manquantes.

4- Caractéristiques granulométriques des échantillons DEFHFIS

4-1 Granulométrie : étude globale

Les sédiments sont, fort évidemment, majoritairement classés en Vase et Vase Sableuse (M

et sM selon la classification de folk). Les échantillons contiennent en moyenne 21 % de sable et 75 % de vase, toutes données confondues (319 échantillons "intertidal" + filandres). Les points les plus vaseux sont les points amont. Des échantillons composés uniquement de matériel de taille inférieure à 50 μm (jusque 99,4 % de fraction inférieure à 50 μm dans Harle en juillet 2011) sont situés au fond des filandres. La Risle est assez spécifique en ce domaine, puisqu'elle est composée de galets sur les points amont et intermédiaire, et de vase sableuse et sable vaseux sur ses points aval. L'amont du canal de retour était également graveleux en juillet 2010. La filandre RD3, connectée à la slikke, ne comporte que très peu de fraction sédimentaire dans sa partie amont (prairie noyée en vives-eaux).

Les prélèvements sont classés sur la figure IIIa-05 en fonction de la zone de prélèvement, en 5 groupes (figure IIIa-5): Les échantillons "slikke" sont ceux prélevés sur la vasière s.s., les échantillons "filandres" sont prélevés lors des missions typologie ou à basse mer, les échantillons "schorre" correspondent aux données benthos et à quelques échantillons des missions en intertidal. Les échantillons "sols" sont des échantillons prélevés à partir des carottes benthos ; la faciologie de dépôt les définit en tant que sol anthropomorphe, soit des anthroposols. Ils seront décrits plus loin.

La figure IIIa-5 permet de visualiser l'ensemble des mesures granulométriques selon un graphique ternaire. Les échantillons "chenal" correspondant à des points du chenal environnemental, prolongation du chenal Nord. Ils sont comparés avec les données issues de l'estuaire en subtidal et la proche baie de Seine (campagnes Colmatage).

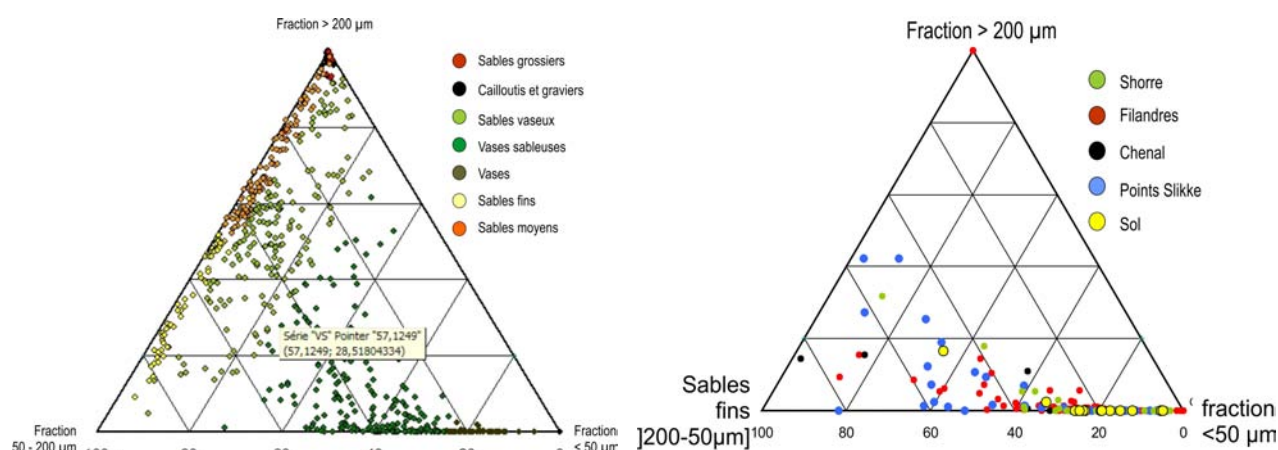


Figure IIIa-05 Répartition respective des fractions sédimentaires, classée selon 3 pôles, [200 μm , [50-200 μm], [50 μm]. A gauche graphique ternaire sur les données en domaine subtidal (zone COLMATAGE, estuaire et proche baie de Seine), à droite graphique ternaire sur les données DEFHFIS (toutes données confondues ; "slikke" : vasière s.s.; "filandres" : au sein des filandres; "schorre" : au sein du schorre ; "sols" : anthroposols du schorre ; "chenal" : chenal environnemental).

Les échantillons sont logiquement répartis près du pôle [50 μm . La comparaison avec les données COLMATAGE permet de visualiser la coupure nette et le tri granulométrique entre 2 populations d'échantillons, les sédiments intertidaux et subtidaux. Cette coupure nette est cependant modulée par des disparités significatives, certains points étant répartis vers les pôles grossiers. Il s'agit essentiellement des échantillons de la slikke, caractérisée par un ensablement important.

Si l'on considère uniquement les données " filandre " (figure IIIa-6), la disparité des points est moindre, la fraction]200 μm étant toujours en deçà de 15,6 %. Les échantillons à forte teneur en

sables se rencontrent en aval, les teneurs en vase en amont étant globalement supérieures à 70 %.

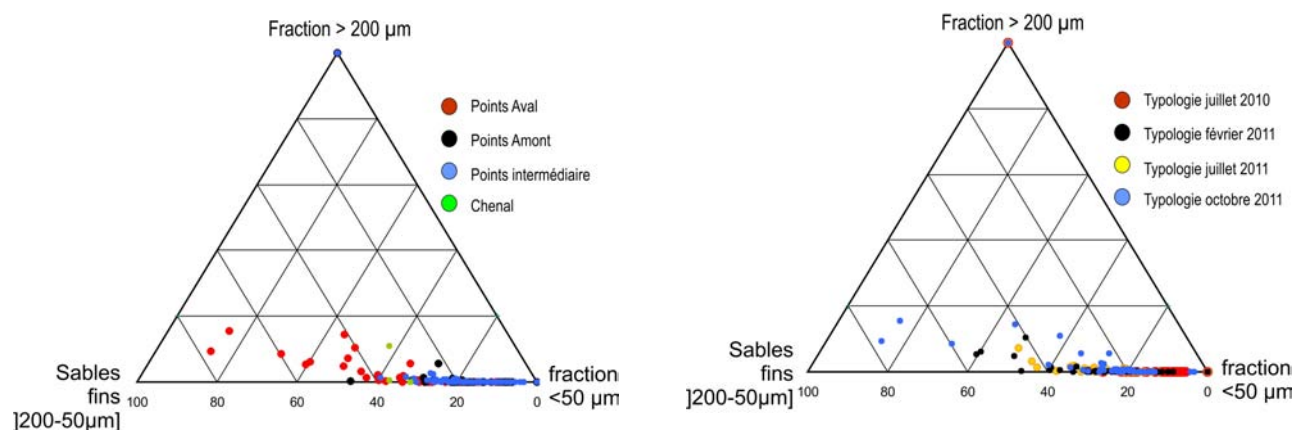


Figure IIIa-06 Répartition respective des fractions sédimentaires, classée selon 3 pôles, [200 µm, [50-200 µm],]50 µm. A gauche classification selon les positions des échantillons dans les filandres, à droite selon les dates de prélèvement. A noter que les points au pôle]200 µm sont les galets de la Risle.

Une évolution temporelle est nette. Les données de juillet 2010 sont strictement des vases et vases sableuses, à plus de 70 % de fraction inférieure à 50 µm et sans fraction supérieure à 200 µm, tandis que les missions ultérieures voient les teneurs en sables et en fraction supérieur à 200 µm augmenter progressivement, de février 2011 jusque septembre-octobre 2011 où les fractions grossières sont les plus importantes, et ceci sur les points aval des filandres. Cette modification de la texture granulométrique est expliquée par l'évènement de crue survenue entre juillet 2010 et février 2011. Curieusement, l'effet a été un ensablement (très relatif) plutôt qu'un enrichissement en sédiments fins.

4-2 Le cas des silts et argiles

La figure IIIa-7 montre la répartition des silts grossiers (]50-20 µm]), silts fins (]20-4 µm]) et argiles granulométriques (]4 µm). Il s'agit de la proportion de ces classes de tailles dans la fraction inférieure à 50 µm. Les tendances de la figure IIIa-6 ne sont plus observées, les proportions de ces classes granulométriques restant ainsi globalement constantes. Le comparatif avec les données issues des échantillons en subtidal (COLMATAGE) montre également un tri significatif des échantillons, la dispersion des points étant beaucoup moins importante. Il ne peut être tiré d'informations quant à la proportion de ces fractions respectivement à la position des échantillons, slikke, filandre, ou schorre.

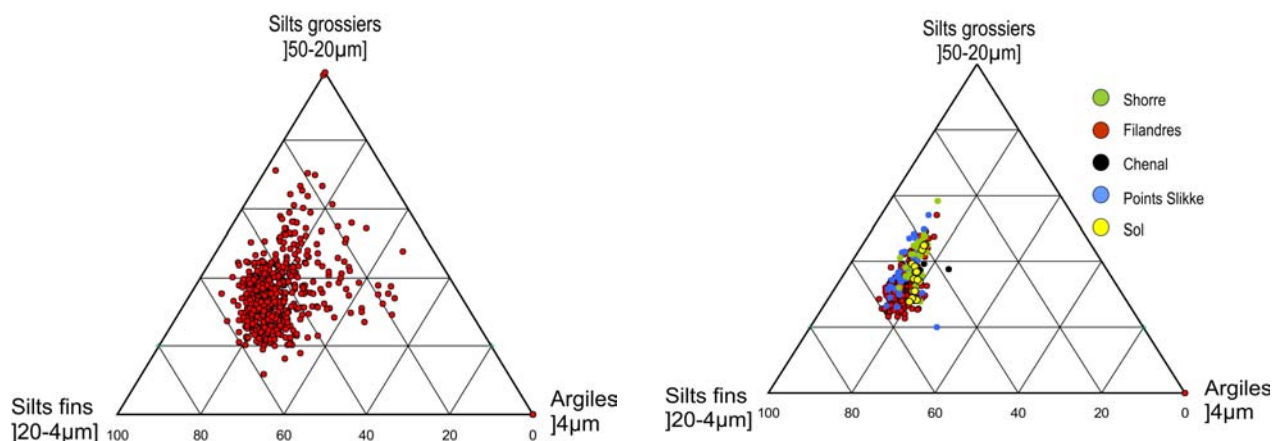


Figure IIIa-07 Répartition respective des fractions inférieures à 50 μm , classée selon 3 pôles : silts grossiers [50-20 μm], silts fins [20-4 μm], argiles granulométriques [4 μm]. A gauche graphique ternaire sur les données en domaine subtidal (zone COLMATAGE, estuaire et proche baie de Seine 530 échantillons), à droite graphique ternaire sur les données DEFHFIS (toutes données confondues ; "slikke" : vasière s.s.; "filandres" : au sein des filandres ; "schorre" : dans le schorre ; "sols" : anthroposols du schorre ; "chenal" : chenal environnemental).

Les graphes de la figure IIIa-8 permettent d'affiner ces observations. En domaine subtidal, il apparaît une constance de la teneur en silts dans les fractions fines, avec environ 50 % de silts fins, 30 % de silts grossiers et 20 % d'argiles granulométriques. Ainsi la corrélation entre la teneur en fines et la teneur en silts grossiers, silts fins et argiles granulométriques (figure IIIa-8) est très bonne, avec des coefficients de corrélation R^2 de l'ordre de 0,9.

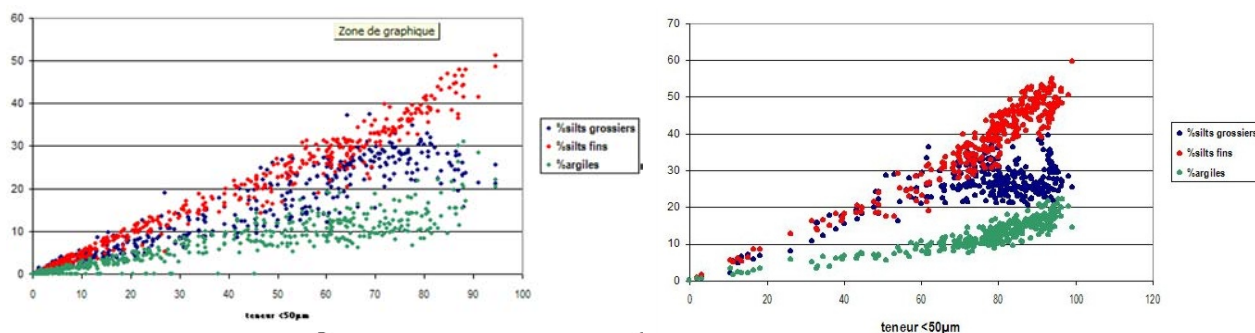


Figure IIIa-08. Proportion des silts grossiers ([50-20 μm]), des silts fins ([20-4 μm]) et des argiles granulométriques ([4 μm]) dans la fraction totale, par rapport à la fraction inférieure à 50 μm . A gauche données en domaine subtidal (zone COLMATAGE, estuaire et proche baie de Seine, 530 échantillons), à droite données DEFHFIS, toutes données confondues.

En domaine intertidal, ces relations ne sont plus évidentes que pour les silts fins (R^2 de l'ordre de 0,9), ce qui permet de dire que la proportion en silts fins reste constante pour tout l'estuaire. Il faut cependant préciser que cette campagne Colmatage a montré que les vases étaient moins représentées en estuaire que lors des années antérieures. Les proportions de silts grossiers n'augmentent plus avec la teneur en fines ; à partir des teneurs en fines supérieures à 70 %, les proportions de silts grossiers restent constantes, dans les environs de 25 %. Les variations de teneur en argiles sont beaucoup plus subtiles ; la relation teneur en fines / proportion argile granulométrique n'est pas linéaire, au contraire de celle des silts fins, et infléchi pour des teneurs

en fines supérieures à 80 %.

Ainsi, en domaine intertidal, un tri granulométrique s'opère, globalement dans le sens d'une diminution de la proportion relative de silts grossiers contre une augmentation relative de la teneur en argiles sédimentaires. En ce qui concerne la répartition géographique des silts et argiles (figure IIIa-9), il ne peut être observé de réelle tendance quant à la sédimentation préférentielle d'une population de taille (ceci est vrai également pour les échantillons schorre et slikke, non présentés sur le graphe).

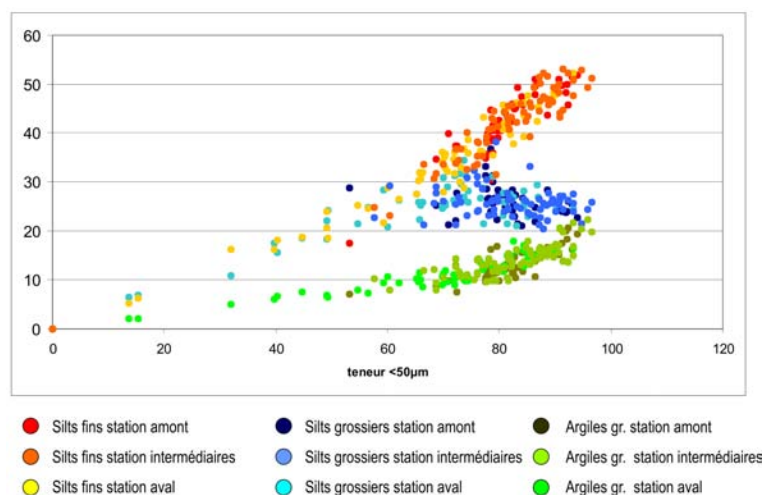


Figure IIIa-09. Proportion des silts grossiers ([50-20µm]), des silts fins ([20-4µm]) et des argiles granulométriques ([4µm]) dans la fraction totale par rapport à la fraction inférieure à 50 µm et pour chaque zone de prélèvement (amont, intermédiaire, aval) des filandres.

5- Caractéristiques sédimentologiques des filandres

5-1 Faciologie de dépôt

La granulométrie associée à la concentration ne suffit pas à elle seule pour caractériser correctement la nature du sédiment. Chaque échantillon a ainsi fait l'objet d'une description associée à une photographie (figure IIIa-10 et IIIa-11).

La filandre Rouserolle (RO) est caractérisée par des fonds de Vases (+ de 75 % de sédiments fins) compactes. Elles n'ont en effet pas pu être mesurée au viscosimètre. Ce sont des vases avec une cohésion de l'ordre du KN.m^{-2} et des concentrations de l'ordre de 800 g.l^{-1} en septembre 2011. Elles sont de couleur plutôt sombre (gris sombre et noires), sont très bioturbées et comprennent de nombreux débris (racines). Sur ce faciès "mature" (c'est-à-dire un faciès ancien puisque très largement bioturbé, avec une absence de réelle structuration) sont venus en recouvrement des sédiments plus fluides, dès février 2011.

La filandre Fuligule (FU) est tout à fait similaire au niveau faciologie de dépôt, avec toutefois des apports moindres en février.

La filandre Harle (HA) est aussi de même nature que les deux précédentes filandres, toutes inféodées à la vasière Nord. Elle est aussi formée d'un fond de vase, très "fétides" (c'est-à-dire noire, avec beaucoup de bioturbation et de débris, plutôt riche en matière organique) sur lequel sont venus se déposer des sédiments plus fluides, en épaisseur assez significative pour cette filandre.

La filandre Grande Crique (GC) est caractérisée par des faciès de vase compactes en amont, assez grumeleuse (elles se présentent en fins débris de vases compactes et non en masse), moins

bioturbées que les filandres de la vasière Nord, avec des débris de type racines. Ces vases sont de couleur gris sombre. Suite à ces faciès mature en amont de la filandre (en fait dans la partie schorre de la filandre) sont trouvées, dessus des vases plus récentes, plus massives, grise-olive, non structurées et généralement de plus en plus concentrées vers l'aval.

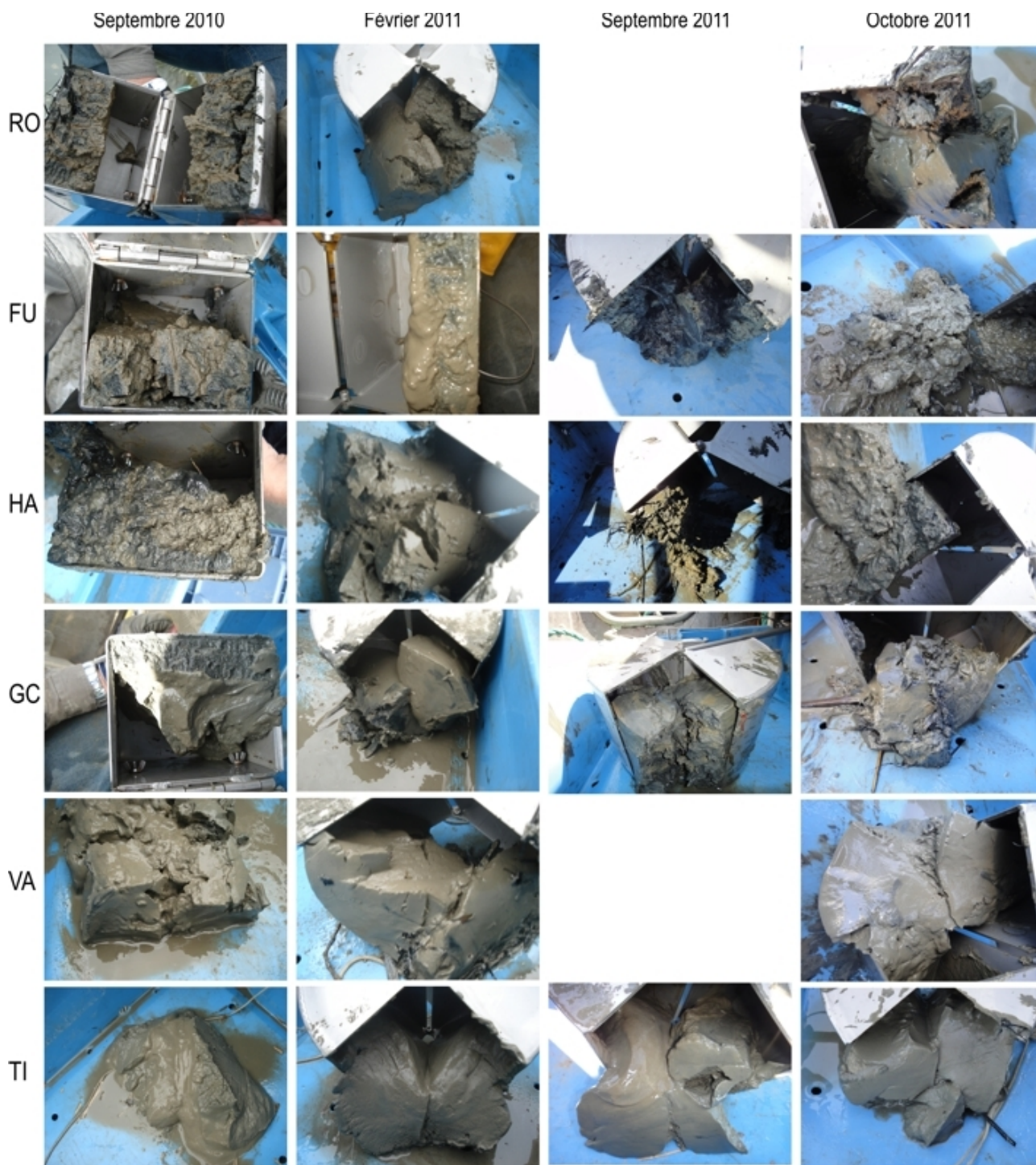


Figure IIIa-10. Photographie des faciès de Roussolle (RO), Fuligule (FU), Harle (HA), Grande Crique (GC), Tignol (TI) et Vasière Artificielle (VA). Il s'agit en général de la photo de la station intermédiaire. Voir la figure I-4 pour la localisation des filandres.

Les vases de la filandre Vasière artificielle (VA) sont des vases molles, très homogènes (pas de structuration, non bioturbées, pas de débris) de couleur grise, plutôt claire. Elles sont caractéristiques de faciès de décantation, selon une sédimentation continue sur l'ensemble de la filandre.

Les vases de la filandre Tignol (TI) sont similaires, avec une remarquable proportion en sable sur le point aval. Il en est de même pour les vases de la filandre Estacade (ES), avec cependant plus de racines en amont, en raison de l'étroitesse de cette filandre. Les vases de la filandre Hode (HO) peuvent être décrites de la même manière que celles de VA, avec plus de sable en aval.

La crique à Connard (CO) présente des faciès de vases, homogènes, sans structure ni bioturbation, de couleur gris clair. Les vases de RD2 sont formées d'un socle compact sur lequel des dépôts de vases récentes se sont déposées. Elles sont molles et homogènes, grises, claires, caractéristiques de décantation. En RD3 des vases similaires sont trouvées, mais principalement sur le point aval et le point intermédiaire, le point amont, étant de la prairies avec quelquefois un fin dépôt de vase entre les herbes. Le Canal de Retour (CR) est caractérisé par des vases homogènes grises claires, sans structure ni bioturbation, mais avec une forte proportion de sable, notamment sur le point Aval.

La Risle est composée de galets sur ses points amont et intermédiaire, et de vase sableuse et sable vaseux sur les points aval. Ses berges sont quant à elles formées de vases et vases sableuses.

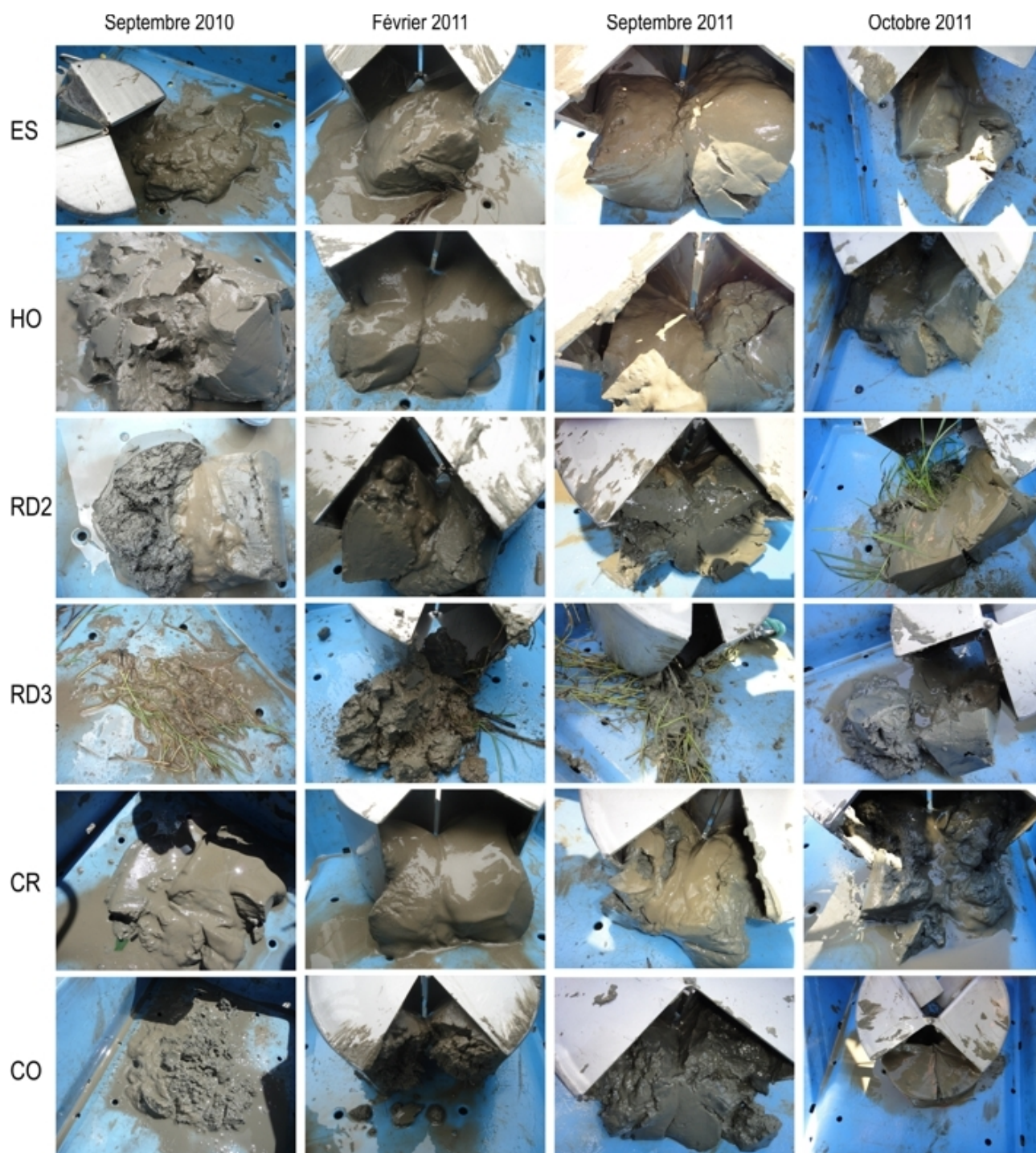


Figure IIIa-11. Photographie des faciès de Estacade (ES), Hode (HO), RD2, RD3, Canal de Retour (CR) et Crique à Connard (CO). Il s'agit en général de la photo de la station intermédiaire. Voir la figure I-4 pour la localisation des filandres.

Les filandres peuvent ainsi être classées du point de vue des faciès. Les filandres de la vasière Nord (RO, FU et HA) sont formées de vases compactes, plutôt noires, bioturbées. Les vases en amont du pont de Normandie (VA, TI, ES, HO, CO) sont grises, plus molles, homogènes, non bioturbées. La Grande Crique est un intermédiaire des deux types. Les filandres de la Risle (RD2, RD3 et CR) forment un groupe avec des vases et vases sableuses, plus litées sans bioturbation.

5-2 Caractéristiques sédimentologiques des filandres

La figure IIIa-12 propose des graphiques de répartition amont – aval de la teneur en fines (<50µm) pour chaque filandre et pour chaque date de prélèvement. Seule la teneur en fines est utilisée afin de ne pas surcharger les graphes.

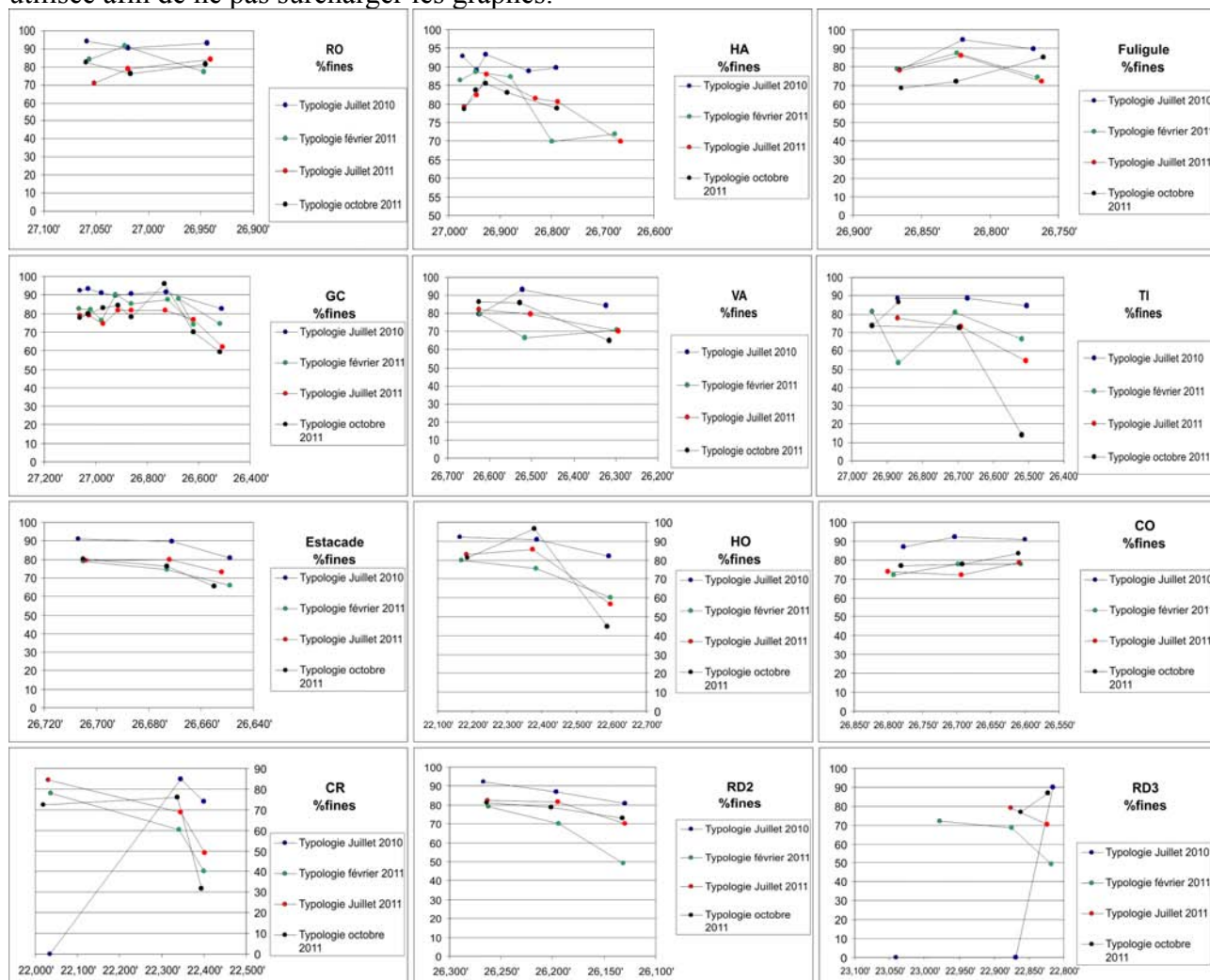


Figure IIIa-12. Répartition des fractions inférieures à 50 µm sur les transects amont aval de chaque filandre et pour chaque mission. A gauche l'amont, à droite l'aval. Les transects utilisent les latitudes (49° minutes décimale N) ou les longitudes (0° minutes décimales E).

Il apparaît une tendance nette amont-aval sur chacun des filandres. Ce fait reste à relativiser : lorsque l'on intensifie l'échantillonnage (cas de Harle de Grande Crique) des disparités apparaissent, notamment pour Grande Crique.

Les teneurs en fines sont globalement de 90 % pour juillet 2010 et 80% pour les autres dates de prélèvement. Elles ont tendances soit (1) à diminuer progressivement de l'amont vers l'aval, soit (2) à diminuer significativement du point intermédiaire au point aval. Seules Rouserolle, la Crique à Connard et Fuligule ne semblent pas correspondre à ce schéma de distribution des fines. La Crique à Connard semble montrer un gradient inverse (les valeurs ne sont pas assez distinctement variables), Rouserolle montre une globale homogénéité de la teneur en fines sur le continuum

amont-aval et Fuligule montre une augmentation de la teneur en fines en ses points intermédiaires. Beaucoup connaissent des variations saisonnières de ce schéma de distribution

Cette présence de fraction sableuse en aval est logiquement liée à la dynamique des courants : La vitesse des courants diminue à l'entrée de la filandre lors du flot, la section diminuant brutalement de celle du chenal Nord (ou du chenal environnemental) à celle de la filandre. Dans le cadre d'une perte de compétence, un dépôt de matériel grossier survient, tandis que le transport des particules plus fines se poursuit.

Il apparaît également une variation saisonnière de la teneur en fines. Cette dernière évolue de l'ordre de -10 % (en amont) à -20 % (en aval), de septembre 2010 à février 2011. Cette évolution est très évidente pour chaque filandre, dans des proportions similaires. Les filandres Estacade, Connard ou RD2 sont des bons exemples.

La présence d'une plus grande proportion de sables (sables fins) est très nette en aval de chaque point. Cela est également visible sur la figure IIIa-6.

La tendance ultérieure est plus difficile à mettre en évidence. Pour les filandres de la Vasière nord, HA, RO, FU, ainsi que pour TI, GC, voire VA la tendance se poursuit et le minimum de teneur en fines est atteint en octobre 2011. Pour les autres, HO, ES de la Rive Nord et CR, RD2 et RD3 associés à la Risle, les teneurs en fines de février 2011 sont les plus faibles, et remontent progressivement depuis cette date. Les valeurs d'octobre 2011 (dernière mission d'échantillonnage) sont ainsi plus faibles que celles de septembre 2010 mais globalement identiques à celle de juillet 2011, ce qui correspondrait à une stabilité depuis juillet 2011, stabilité imputée à l'absence d'évènements.

Ce type de tendance n'est pas forcément évident sur tout le continuum amont aval (différence de comportement entre l'aval et les autres points " internes " à la filandre), et pour certaines filandres comme Connard. Quoiqu'il en soit, c'est toujours en octobre 2011 que les valeurs de teneurs en sables sont les plus fortes (Figure IIIa-6)

La figure IIIa-13 montre la répartition amont – aval des concentrations pour chaque filandre et pour chaque date de prélèvement.

La tendance nette qui apparaît est une augmentation de la concentration vers l'aval de chaque système. De la même manière que sur la figure IIIa-12, Seules Rousserolle, et Fuligule ne semblent pas correspondre à ce schéma de distribution, du reste assez difficile à lire du point de vue de Harle. La Crique à Connard voit aussi sa concentration augmenter de l'amont vers l'aval.

Le fait qu'il y ait moins d'eau dans les sédiments en partie aval peut être relié à leur granulométrie ; les vases étant plus sableuses, l'eau est expulsée plus facilement lors du mécanisme de tassement ; le tassement ainsi facilité explique une relativement plus forte concentration. Des apports d'eau en provenance de l'amont, ainsi qu'une certaine rétention au sein de filandres, peut expliquer également une richesse en eau plus importante en amont.

Une évolution saisonnière est nettement mise en évidence. Les valeurs de juillet 2010 sont les plus fortes, sauf pour la Grande Crique (où les plus fortes sont en octobre 2011) et la Vasière Artificielle (pas de vraie tendance). Après cette date, les valeurs sont globalement inférieures, très nettement pour RD2 et CO (figure IIIa-14).

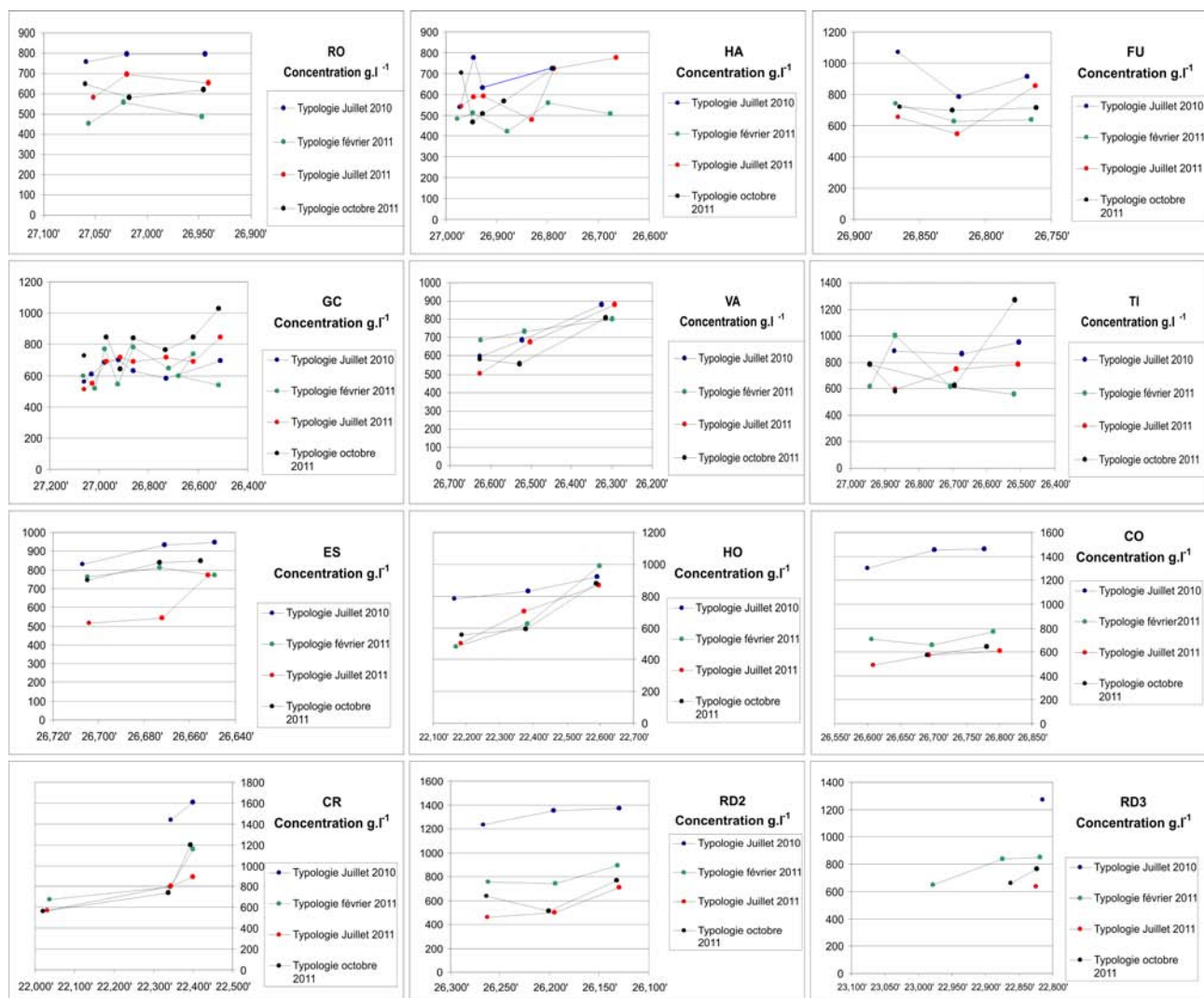


Figure IIIa-13. Répartition des valeurs de concentration (g.l^{-1}) sur les transects amont aval de chaque filandre et pour chaque mission. A gauche l'amont, à droite l'aval. Les transects utilisent les latitudes (49° minutes décimale N) ou les longitudes (0° minutes décimale E).

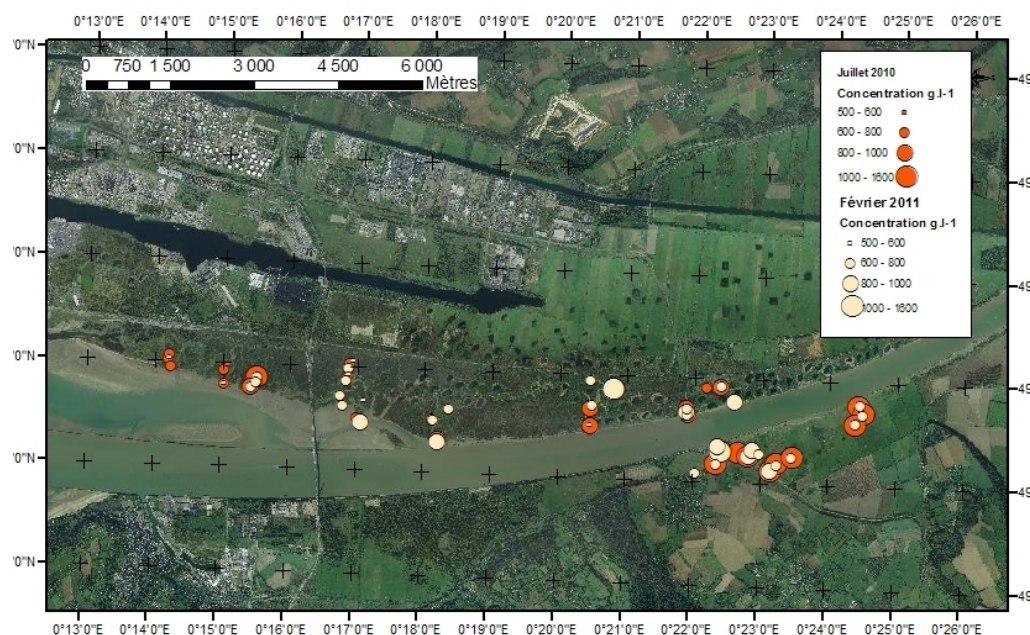


Figure IIIa-14. Concentration (g.l^{-1}) dans les filandres, situation de juillet 2010 et février 2011. Orthophoto GPMH.

Les données de teneur en fines et de concentration montrent que, suite à l'évènement de crue de janvier 2011, est survenue une sédimentation de vase récente, plus riche en eau, mais plus sableuse, comparativement au substrat de base qui constitue le fond des filandres (figure IIIa-15).

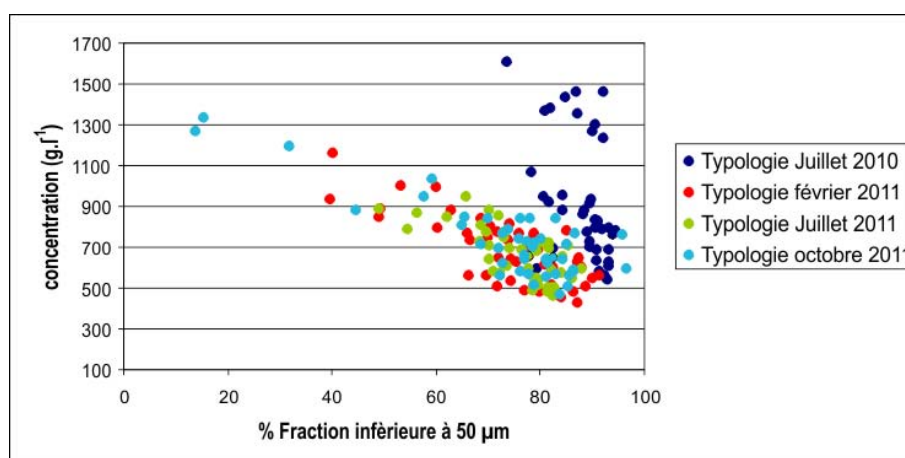


Figure IIIa-15. Diagramme concentration en g.l^{-1} / teneur en fines (fraction inférieure à $50 \mu\text{m}$), pour chaque campagne de prélèvement.

Les valeurs de rigidité initiale τ_y (N.m^{-2}) suivent logiquement la tendance amont aval des concentrations, bien que cela soit moins net, ne serait-ce que parce que l'impossibilité de mesurer l'ensemble des échantillons ne permet pas une vision globale des données. Une représentation spatiale des données rhéologiques (figure IIIa-15), plus pertinente, permet de montrer une nette différence entre les filandres amont (TI, ES, HO CO) et ceux de la Risle (CR, RD2 RD3). A noter que les vases des filandres de la vasière Nord (FU, RO, HA) sont trop compactes pour être mesurées au viscosimètre (les valeurs de τ_y sont de fait de l'ordre du kN.m^{-2}). Les valeurs de τ_y sont très fortes (une crème de vase du chenal principal à un τ_y de l'ordre de 5 à 10 N.m^{-2}).

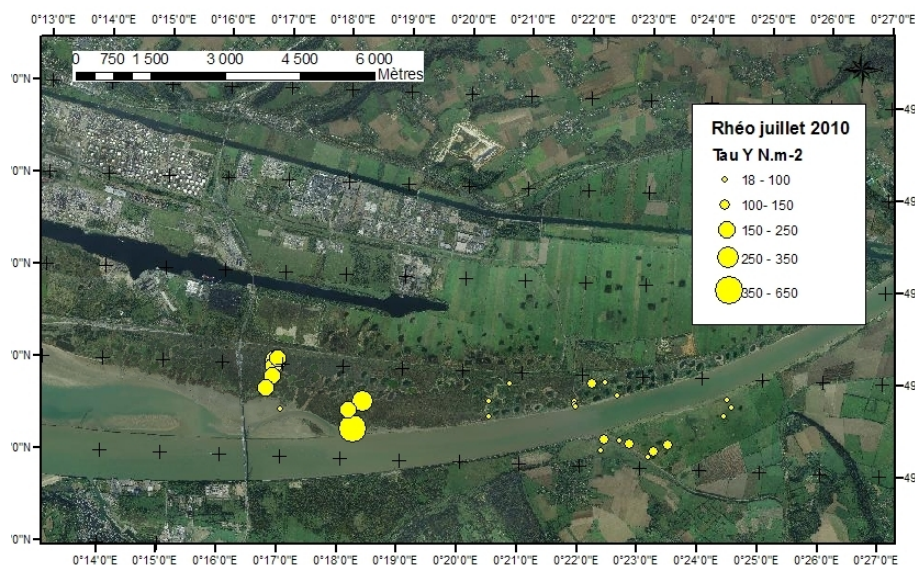


Figure IIIa-16. Valeurs de rigidité initiales τ_y ($N.m^{-2}$) en juillet 2010. Orthophoto GPMH.

Une variation saisonnière des valeurs de τ_y ($N.m^{-2}$) apparaît nettement : en février 2011 (figure IIIa-17), les valeurs sont très distinctes, et curieusement plus fortes, notamment dans la partie amont (CO, RD, HO, TI) de celles de juillet. Cela pourrait être expliqué par le fait qu'il y ait de nouveaux apports en février 2011, de matériel plus sableux, susceptible de tasser rapidement (Lesourd et al., 2005). A noter la présence de mesures dans le chenal Nord (sur Harle et Rousserolle) ce qui implique également un dépôt de vase récente, avec des cohésions nettement plus basses que celle de juillet (valeurs de l'ordre du $KN.m^{-2}$ en juillet).

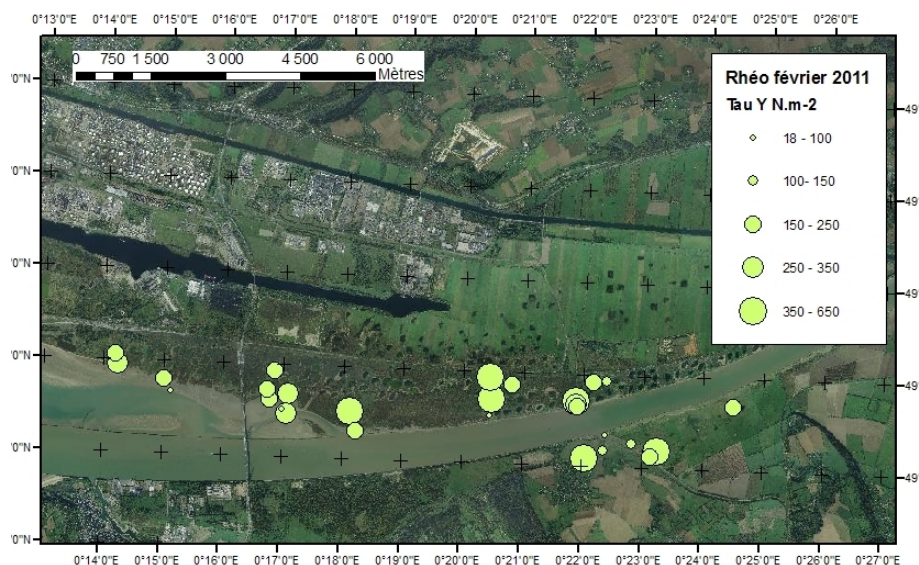


Figure IIIa-17. Valeurs de rigidité initiales τ_y ($N.m^{-2}$) en février 2011. Orthophoto GPMH.

Du point de vue de l'évolution des teneurs en fines, suite au petit événement de crue de janvier 2011, et en considérant les dates suivants cet événement, il apparaît que Hode, Estacade et Vasière Artificielle évoluent selon les mêmes modalités, dans un groupe dans lequel on peut inclure RD2, RD3 et le Canal de retour. Harle, Rousserolle, Fuligule et Grande Crique fonctionnent de la même manière. De ce même point de vue de l'évolution de la teneur en fines, Tignol et la Crique à

Connard forment un groupe un part.

Du point de vue des concentrations, Des groupes de filandres dont la concentration évolue selon les mêmes modalités peuvent aussi être créés : (1) les filandres associées au chenal environnemental (Grande Crique et Vasière Artificielle), (2) les filandres de la rive sud (Crique à Connard, Canal de retour et RD2 et RD3) (3) les filandres de la rive Nord (Tignol, Estacade et Hode) et (4) les filandres du chenal Nord (Rouserolle, Fuligule, et Harle).

5-3 Détail sur les filandres ateliers

La figure IIIa-18 représente les teneurs en fines (<50 μm) et les concentrations sur un profil amont aval, réalisé à partir des données de juin-juillet 2010 et juillet 2011, typologie et mission "intertidal" confondues, au fond de la filandre Harle. Il apparaît tout d'abord, pour juillet 2010, une très nette constance de la teneur en fines, qui évolue en juillet 2011 selon une introduction de matériel plus sableux, à partir de l'aval (70% de fines en aval remontant à 90% vers l'amont). Des disparités significatives apparaissent au niveau de la concentration, très irrégulière sur le profil de juillet 2010. Ces variations de concentration peuvent être expliquées par le prélèvement, positionné plus sur le fond de la filandre ou sur ses berges, ou plus plausiblement, par la présence de dépôts en "patches" de vase sur le fond de la filandre, ce qui laisserait apparaître un fond qui n'est pas uniforme du point de vue faciologique.

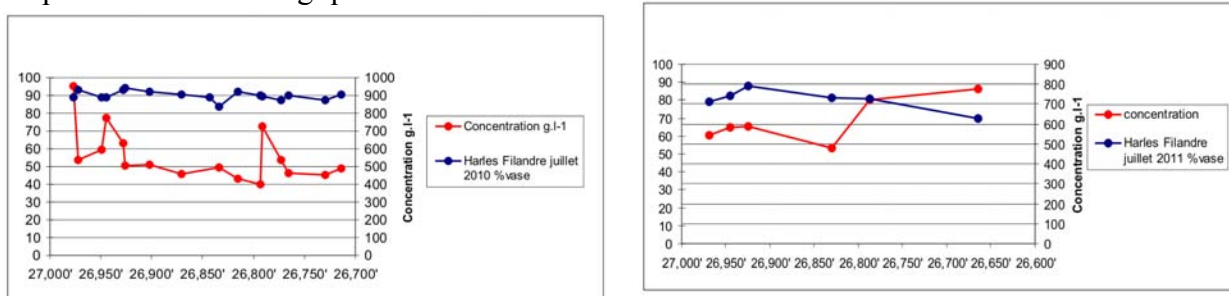


Figure IIIa-18. Teneur en fines et concentration au fond de la filandre Harle - Amont à gauche Aval à droite. Graphe de gauche juillet 2010, graphe de droite, juillet 2011. En abscisses latitudes (49° minutes décimale N).

Cela est confirmé par les mesures de rigidité initiale (figure IIIa-19), qui montre une tendance, certes, mais avec d'importante variation sur le profil amont aval.

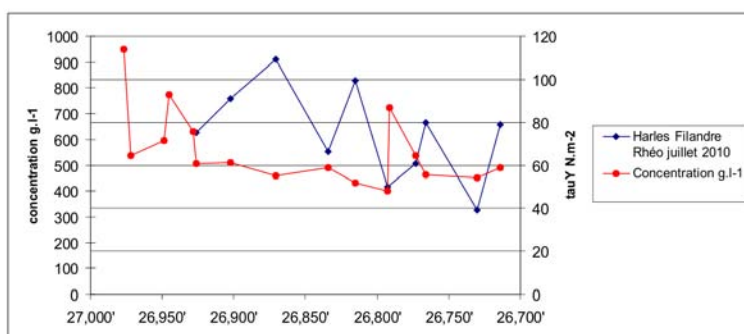


Figure IIIa-19. Mesure de la rigidité initiale τ_y (N.m^{-2}) et concentration au fond de la filandre Harle - Amont à gauche Aval à droite. Juillet 2010. En abscisses latitudes (49° minutes décimale N).

La figure IIIa-20 représente les teneurs en fines (<50 μm) et les concentrations sur un profil amont aval, réalisé à partir des données de juillet 2010 et juillet 2011, typologie et mission

"intertidal" confondues, au fond de la filandre Grande Crique. Les mêmes observations que sur Harle peuvent être faites, à savoir une relative constance de la teneur en fines en 2010 qui évolue en 2011 selon les mêmes modalités que Harle et une nette variabilité des valeurs de concentration. Sur Grande crique, cette variabilité est nette sur la partie vasière nue de la filandre (elle existe sur tout le continuum amont aval sur Harle), la Grande Crique faisant un vaste méandre dans la slikke. Là aussi cela atteste de la présence de paquets discontinus de vase plus ou moins compacte au fond de la filandre

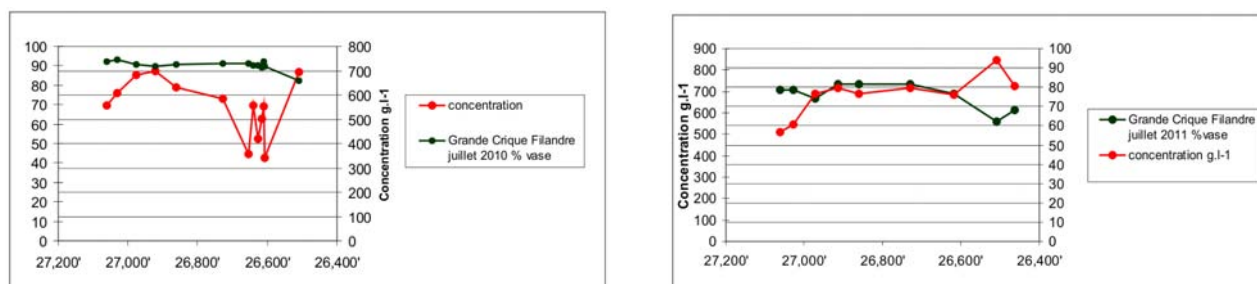


Figure IIIa-20. Teneur en fines et concentration au fond de la filandre Grande Crique - Amont à gauche Aval à droite. Graphe de gauche juillet 2010, graphe de droite, juillet 2011. En abscisses latitudes (49° minutes décimale N).

Au contraire de Harle, la corrélation entre rigidité initiale τ_y et concentration est très bonne (Figure IIIa-20b).

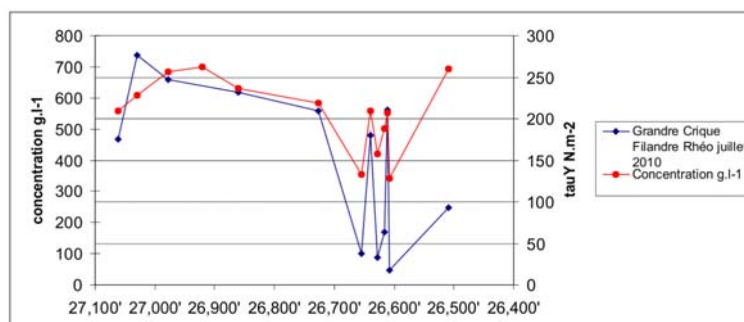


Figure IIIa-20b. Mesure de la rigidité initiale τ_y ($N.m^{-2}$) et concentration au fond de la filandre Grande Crique - Amont à gauche Aval à droite. Juillet 2010. En abscisses latitudes (49° minutes décimale N).

6- Caractéristiques de la zone intertidale sur les sites ateliers

6-1 Faciologie de dépôt sur la zone intertidale autour de Harle

Les faciès sédimentaires sur la zone intertidale aux environs de Harle en juin 2010 présentent tout d'abord en basse slikke une forte proportion de vase molle qui laisse rapidement place à des sables (figure IIIa-21). Les teneurs en vase évoluent ainsi de 80 / 88 % jusque 3 % en milieu de slikke. Aux abords proches du schorre, la teneur en fines est de nouveau de l'ordre de 80 %. En juillet 2011, ces valeurs ont évolué dans le sens d'un ensablement de la basse slikke (les teneurs en fines passent progressivement de 61 % en basse slikke jusqu'à un maxima de 84 %), en relation avec l'évènement de crue de janvier 2011.

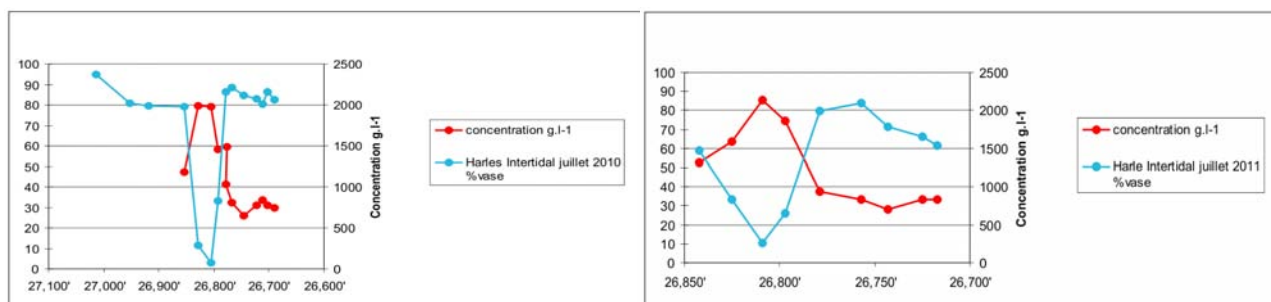


Figure IIIa-21. Teneur en fines et concentration sur un transect schorre-slikke - Filandre Harle – Amont à gauche Aval à droite. Graphe de gauche juillet 2010, graphe de droite, juillet 2011. En abscisses latitudes (49° minutes décimale N). En ordonnées gauche teneur en particules < 50 μ m.

En juin 2010, en aval du transect slikke schorre, la vase se présente sous forme d'un faciès rugueux (non lisse), très bioturbé, et uniforme (figure IIIa-22, DEF01 et DEF05). Ce faciès correspond à des vases stabilisées en cours de tassement. Le caractère érosif de la surface est attesté par la présence de coquilles ouvertes de *Scrobicularia* en surface. La carotte DEF01 montre nettement des litages, particulièrement visibles vers la base de la carotte, montrant donc une sédimentation régulière par apport successif de matériel sédimentaire.

Cette vase devient progressivement plus compacte et laisse apparaître des encoches d'érosion vers l'amont (DEF07). Ces encoches d'érosion sont probablement associées à une vase plus ancienne sous-jacente. La carotte DEF09 montre quant à elle une apparition très nette de lits sableux d'épaisseur conséquente (3-4 cm épaisseur) venant s'intercaler dans des dépôts vaseux.

La surface de la vasière est ensuite recouverte par un banc de sable d'une dizaine de centimètre d'épaisseur, formé de sables fins (mode autour de 200 μ m) bien triés qui pourrait avoir des origines éoliennes. Ce sable est structuré en surface par des rides s'apparentant par endroit à des rides symétriques de houle (clapot) et à proximité de la filandre, des rides de courant en croissant.

Ce faciès sableux laisse place à de la vase (80% de sédiments fins) à proximité immédiate du schorre. Cette vase lisse est caractérisée par de fines fente de dessiccation (DEF11 et 12).

La situation de juillet 2011 est peu différente de celle de juillet 2010 en termes de répartition des faciès. La vase est plus sableuse en aval (figure IIIa-21 et IIIa-23). Les apports de janvier 2011 sont limités à la partie basse de la slikke, puisque les faciès de milieu de slikke (DEF204 correspondant à DEF07 et DEF09) montre des faciès de démantèlement, avec des blocs de vase compacts ayant pour limite les fentes de dessiccation et en profondeur les lits sableux.

Le banc sableux est toujours aussi bien développé et toujours structuré en surface, avec toutefois une teneur en vase plus importante qu'en 2010 caractérisant quelques apports par décantation (figure IIIa-23). Les faciès sont inchangés en amont (vase sableuse lisse, DEF208), si ce n'est que des fentes de dessiccation apparaissent en limite slikke-schorre.



Figure IIIa-22. Quelques faciès sédimentaires en zone intertidale, environs de Harle. A gauche situation en juin juillet 2010, à droite en juillet 2011. Les photos de chaque date sont positionnées sur des latitudes similaires.

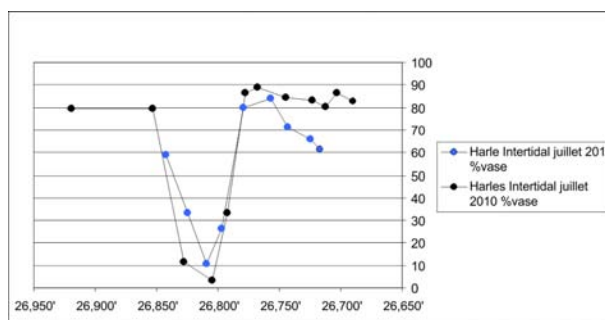


Figure IIIa-23. Comparaison de la teneur en fines (<50 µm) sur la zone intertidale de Harle, en juin-juillet 2010 et juillet 2011.

6-2. Faciologie de dépôt sur la zone intertidale autour de Grande Crique

La particularité de la zone intertidale de la Grande Crique est qu'elle se termine par le chenal Environnemental (figure IIIa-24). Le contact entre ces deux domaines sédimentaires est assez net à cet endroit. Si le chenal est sableux en été 2010, il pourra comporter des fractions vaseuses plus significatives lors des dates ultérieures. De fait, le chenal Environnemental pourrait bien être considéré comme la prolongation de la filandre Grande Crique.



Figure IIIa-24. Une photographie montrant une vue intéressante vers le Nord à partir du chenal environnemental. A noter la présence de rides irrégulières au fond du chenal (ripples marks orientés vers l'W), et la pente vaseuse caractérisant le début de la zone intertidale.

La figure IIIa-25 (gauche) présente ainsi les teneurs en fines et les concentrations sur Grande Crique, du chenal environnemental jusqu'à l'intérieur du schorre. De l'aval vers l'amont, la teneur en

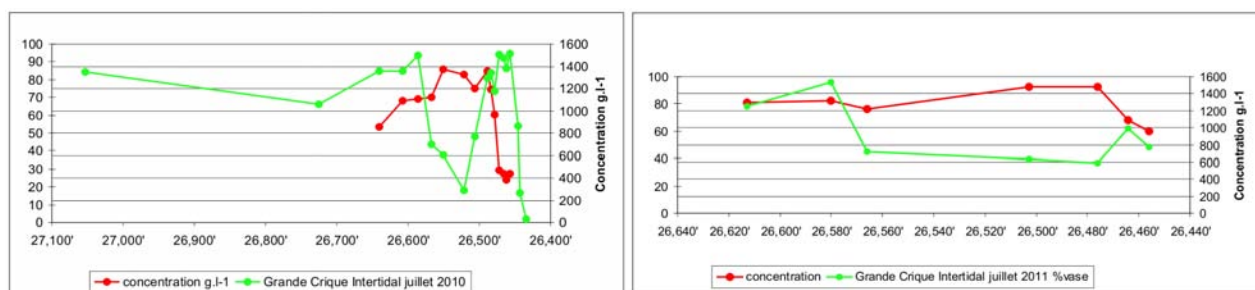


Figure IIIa-25. Teneur en fines et concentration sur un transect Schorre-Slikke - Filandre Grande Crique – Amont à gauche Aval à droite. Graphe de gauche juillet 2010, graphe de droite, juillet 2011. En abscisses latitudes (49° minutes décimale N). En ordonnées gauche teneur en particules <50 µm.

finer évolue ainsi de 2 % à 94 % en 80 m. Les teneurs en fines sont ensuite très fortes sur une faible distance (une centaine de m) et laisse rapidement place à un estran sablo-vaseux (entre 30 et 40 % de sédiments fins), au maximum sablo-vaseux (18 % de fines).

De même que sur Harle, la teneur en fines augmente à proximité du schorre où elle atteint des valeurs de l'ordre de 80%.

Entre juillet 2010 et juillet 2011, la tendance est à un net ensablement en basse slikke, les valeurs de teneur en fines ne dépassant pas les 60 % (figure IIIa-25 droite et IIIa-26).

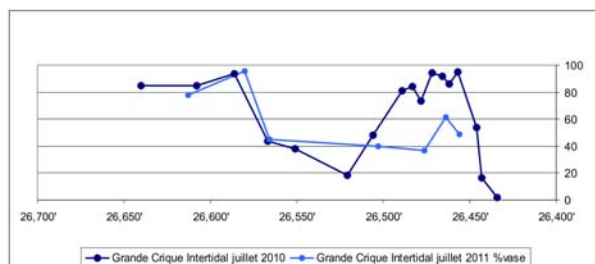


Figure IIIa-26. Comparaison de la teneur en fines (<50 µm) sur la zone intertidale de Grande Crique, en juin-juillet 2010 et juillet 2011. En abscisses latitudes (49° minutes décimale N).

Du point de vue des faciès, en juin-juillet 2011, les faciès sédimentaires sur la zone intertidale aux environs de Grande Crique présentent ainsi tout d'abord, au fond du chenal environnemental un faciès sableux à rides (multiples formes, mais globalement des structures ripples marks orientées, comme le courant, vers l'W) évoluant selon un fort gradient sur la zone intertidale s.s. en un faciès de vase molle (figure IIIa-26). Ces faciès de vase montrent des surfaces lisses (DEF20, figure IIIa-26), non bioturbées, relativement fluides dans la partie superficielle ; ces vases sont donc des apports récents. Cela est très net sur la carotte DEF20 (figure IIIa-26) qui montre 4 à 5 cm de vase molle fraîche sur une vase plus compacte finement litée.

L'estran vaso-sableux est ensuite structuré en ripple marks orientés N, peu marqués (DEF 24 et DEF25).

Vers l'amont, cet estran vaso-sableux présente des marques érosives, sous formes de légères dépressions (DEF27) et de boulettes de vase compacte (très petits galets mous de taille infra-centimétrique positionnés au creux des rides). Là aussi sont trouvés des coquilles de *Scrobicularia*. La carotte DEF27 montre une structure massive, c'est-à-dire sans réel litage, de sédiment vaso-sableux. Il s'agit bien, au contraire de Harle (DEF07) d'un mélange sablo vaseux observé sur cette partie de slikke.

Vers l'amont les structures disparaissent, le sédiment, plus vaseux, devient lisse (DEF30).

La différence entre juin-juillet 2010 et juillet 2011 est très nette. Les vases sont plus compactes (DEF193), et l'ensemble est plus sableux. Les faciès de démantèlement dominant nettement, notamment sur l'estran sablo-vaseux (DEF195 et DEF194) où les fentes de dessiccation sont importantes, de même que les encoches d'érosion caractérisant un démantèlement sous forme de galets mous (DEF 195). Ces encoches sont très nettes sur la partie amont de la slikke (DEF196), tandis que des galets mous de plus petite taille se forment au contact du schorre.



Figure IIIa-27. Quelques faciès sédimentaires en zone intertidale, environs de Grande Crique. A gauche situation en juin juillet 2010, à droite en juillet 2011. Les photos de chaque date sont positionnées sur des latitudes similaires.

6-3. Faciologie de dépôt du schorre

Les faciès du schorre sont très particuliers. Au sens géologique du terme, il s'agit d'anthroposols.

Lorsque qu'il est peu évolué, le matériel sédimentaire du schorre est très compact, sans réelle structuration ; les structures disparaissent, en général par bioturbation et par les mécanismes d'hydratation-dessiccation (figure IIIa-28 haut). Les racines sont nombreuses et participent au remaniement. Bien souvent les sédiments fins forment des agglomérats (ce mécanisme est connu par exemple, sous l'effet de la matière organique) qui rendent nécessaire une attaque aux ultra-sons pour une analyse microgranulométrique.

Lorsqu'ils sont évolués (figure IIIa-28 bas), ils forment des sols *s.s.*; les sédiments perdent leur cohérence par dessiccation, et ils sont profondément remaniés (activités humaines, sangliers, bioturbation et racines). Défloculés, ils ont la même signature granulométrique qu'un échantillon de la slikke (Figure IIIa-5).



Figure IIIa-28. Deux exemples de carottes prélevées dans le schorre (campagne Benthos). En haut, dans le ceinture de Scirpe, en bas dans la ceinture de chiendent.

6-4. Comparaison avec la filandre.

La comparaison de profil de teneur en vase (taille $<50 \mu\text{m}$) montre une réelle différence entre slikke et filandre. Sur Harle, la teneur en fines en juin-juillet 2010 dans la filandre est relativement constante, alors que sur la slikke elle laisse nettement voir le banc de sable sur la partie médiane et des teneurs en fines inférieures sur les parties basse slikke et haute slikke. La même différence est notée en juillet 2011 : si la teneur en fines diminuent de juillet 2010 à juillet 2011, elle reste nettement supérieure à celle du schorre (Figure IIIa-29).

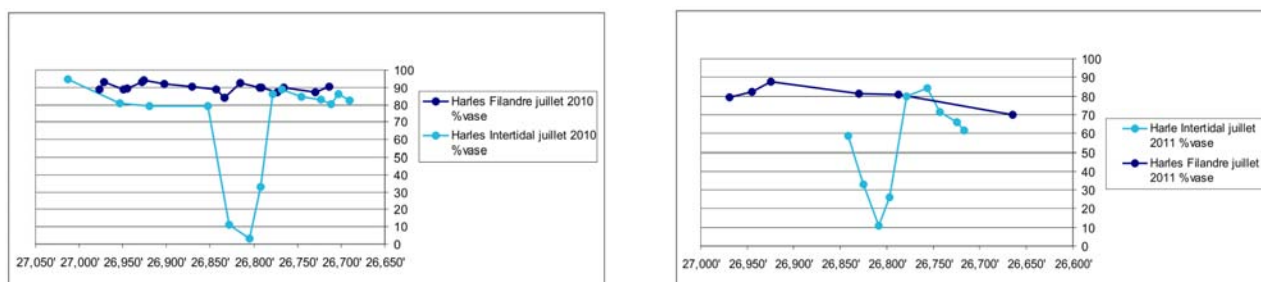


Figure IIIa-29. Comparaison de la teneur en fines ($<50 \mu\text{m}$) entre la zone intertidale (bleu clair) et la filandre (bleu foncé) sur le site atelier de Harle. Juin-juillet 2010 à gauche, juillet 2011 à droite. En abscisses latitudes (49° minutes décimale N).

Les mêmes constatations sont faites sur Grande Crique (figure IIIa-30).

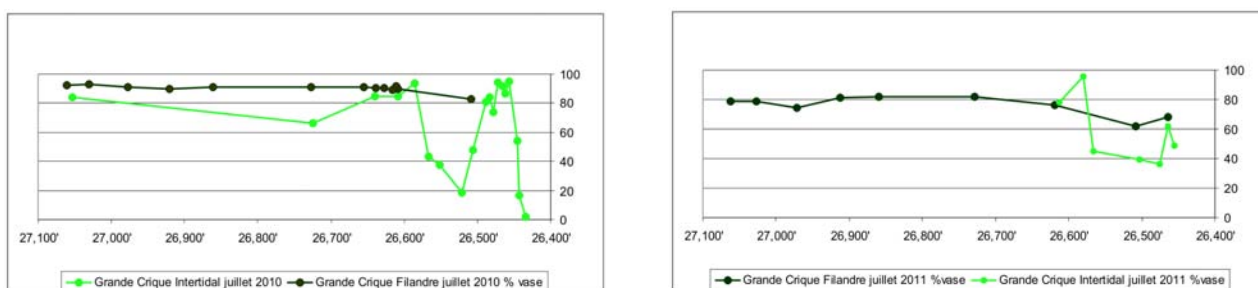


Figure IIIa-30. Comparaison de la teneur en fines ($<50 \mu\text{m}$) entre la zone intertidale (vert clair) et la filandre (vert foncé) sur le site atelier de Grande Crique. Juin-juillet 2010 à gauche, juillet 2011 à droite. En abscisses latitudes (49° minutes décimale N).

Il y a ainsi une réelle déconnexion entre les teneurs en fines sur la slikke et dans la filandre. Les filandres ne sont pas en effet pas atteintes par l'ensablement relatif observé sur la slikke. Cela implique une différenciation dans les processus sédimentaires sur la slikke et dans les filandres. Cela s'explique par l'effet chenalisation : durant la phase de jusant, la chenalisation est un facteur permettant de garder une vitesse de jusant supérieure à celle du jusant sur la vasière *s.s.*. Les jusants sont aidés en cela par des apports d'eau en provenance du continent. Ce qui peut expliquer pourquoi les filandres ne se comblent pas forcément si vite et pourquoi ils sont, en quelque sorte, "entretenus". De fait, les apports sableux, qu'ils soient d'origine marine ou éolienne, sont transportés lors du flot, et dispersés sur la slikke par débordement de filandre (on trouve par ailleurs des sables en bordure immédiat de filandre, sur les sites ateliers ; les dépôts sur la slikke, en amont de la filandre ont été observés sur la filandre Nette en 1998, Lesourd, 2000). Le jusant est susceptible de remporter vers l'aval les particules plus grossières, aidé en cela par la chenalisation. De fait, les apports de sédiment dans les filandres se font essentiellement par apports de paquets de vase fluide, sur le fond.

Les sédiments de la slikke sont aussi plus compacts que ceux des filandres. Cela s'explique logiquement par le fait qu'ils soient soumis plus souvent à la dessiccation que dans les filandres, qui sont les premières en eau et les dernières asséchées à basse mer. De plus, le drainage sur la slikke est facilité par l'altitude et la teneur en sable plus importante.

7- Dynamique sédimentaire

7-1. Vitesses de courants sur Harle (mesure ADV)

Un altimètre Ultra Son (ALTUS), un ADV et un ADCP ont été implantés dans la filandre Harle le 23 juin 2010 (figure IIIa-31). L'Altus enregistre la distance entre l'émetteur (qui vise donc vers le bas) et l'interface eau-sédiment (Deloffre et al., 2006) ; il comporte également un capteur de pression. L'appareil a été implanté dans l'axe du chenal, mais décalé vers la berge afin de laisser le passage à l'Eclat lors de la mission typologie de juillet 2010. Le capteur de pression est positionné 10 cm au-dessus de la surface de la vase.

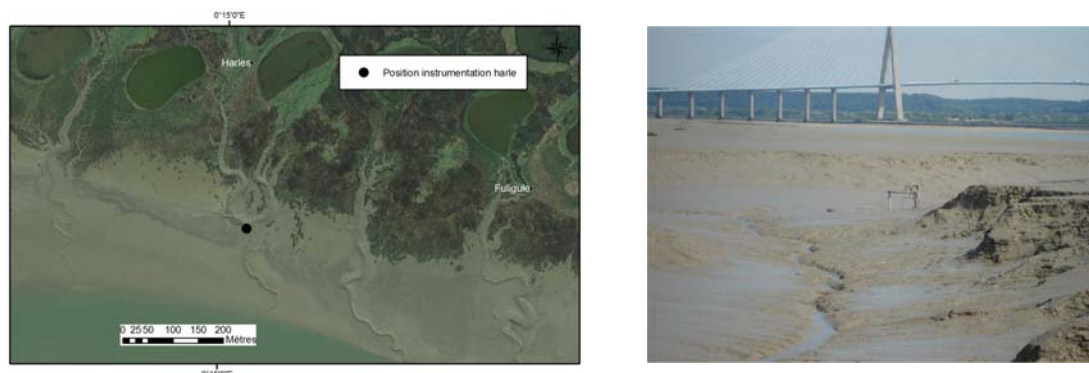


Figure IIIa-31 Position des appareillages sur Harle et photographie du dispositif. Orthophoto GPMH.

L'ADV a enregistré 5 marées et une partie de la 6^{ème}, à 2 Hz, avec des burst de 3mn toutes les 15mn. La figure IIIa-32 présente l'ensemble des vitesses et directions sur l'ensemble des marées. Les vitesses maximales sont de 22 cm.s^{-1} , en flot, pour des coefficients de marée évoluant de 63 à 76 (le maximum pour cette série de mesure). Les vitesses de jusant sont au maximum de 15 cm.s^{-1} . Les directions sont clairement Nord pour le flot, et elles le restent, même en étale, jusqu'au jusant. Pour les marées 1, 2 et 3, les vitesses des courants réagissent toutes à un schéma classique : vitesse rapidement très forte en flot (coup de flot), décroissant assez rapidement jusque l'étales où les vitesses ne sont pas tout à fait nulles. Elles remontent ensuite rapidement au jusant, avec des vitesses qui cependant ne sont pas négligeables. L'effet de chenalisation permet en effet d'entretenir des vitesses de l'ordre de 75 % des vitesses de jusant. Lorsque le coefficient de marée est supérieur à 70, la double tenue du plein se fait ressentir, avec des variations dans les directions significatives (marée 4 et 5). Il apparaît en outre une particularité à chaque début de marée (cf marée 3, figure IIIa-33).

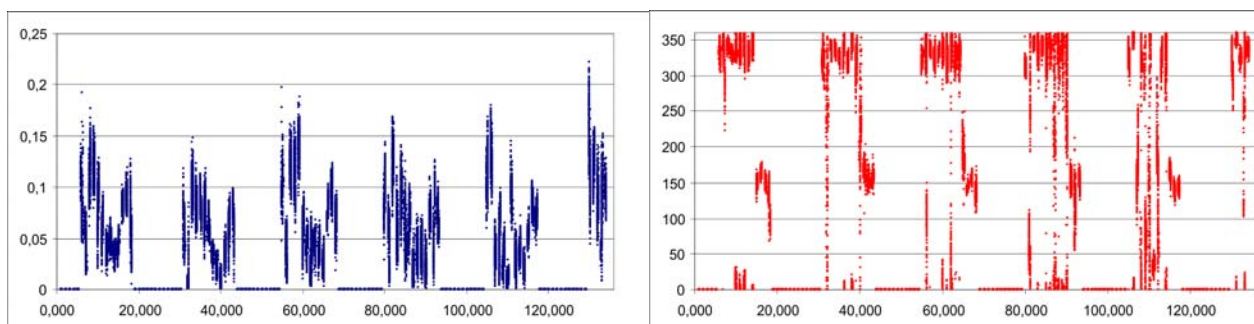


Figure IIIa-32. Vitesses en m.s^{-1} et direction en $^{\circ}$ des courants dans la filandre Harle. L'échelle de temps en abscisse est déterminée à partir du nombre de burst.

La figure IIIa-33 montre un détail de la figure IIIa-32 (marée 3). Différentes caractéristiques peuvent être notées. Au cours du flot les vitesses évoluent de 10 jusqu'à 16 cm.s^{-1} . Durant cette phase de flot, il existe une courte période durant laquelle les vitesses deviennent très faibles, mais avec une direction opposée, vers l'aval. Ce phénomène inexpliqué arrive 15 minutes après le début de l'enregistrement et ne peut donc pas être imputé à la double tenue du plein. Dès l'étale de PM, les vitesses diminuent très rapidement, restent inférieures à 5 cm.s^{-1} , mais toujours dirigées vers l'amont. Le jusant arrive très rapidement, avec des vitesses de l'ordre de 11 cm.s^{-1} sur cet exemple, et ceci après une courte période transitoire (direction à 200°, vitesses très faibles).

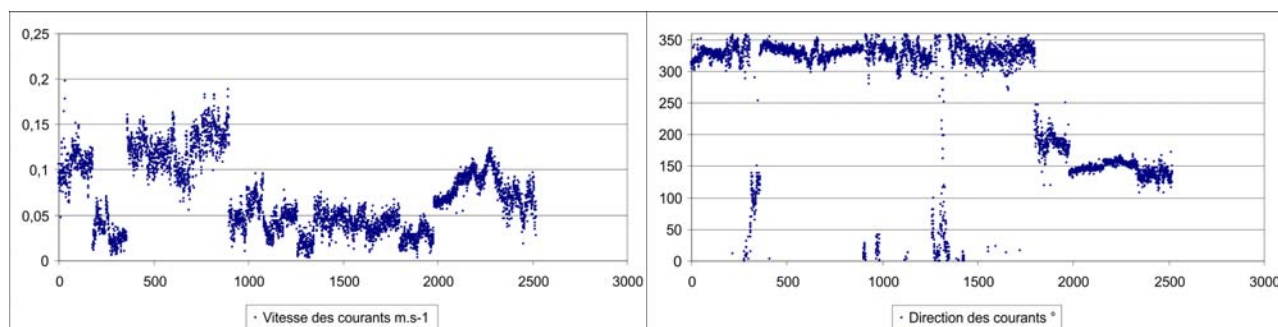


Figure IIIa-33. Vitesses en m.s^{-1} et direction en $^{\circ}$ des courants dans la filandre Harle, marée 3. L'échelle de temps en abscisse est le nombre de seconde. Les gaps entre les burst ne sont ainsi pas représentés pour faciliter la lecture.

La figure IIIa-34 montre un détail de la figure IIIa-32 sur la marée 5, là où les effets de la double tenue du plein se font ressentir. Si les vitesses et directions de flot et jusant sont très nettes, l'étale est caractérisée par des variations de vitesses (nette reprise de la vitesse au milieu de l'étale) et surtout de direction. Ces dernières montrent des changements significatifs, très rapides dans les renverses (changements de direction N vers direction S presque instantanées) ou progressives dans les reprises de courant, de direction Sud vers direction Nord.

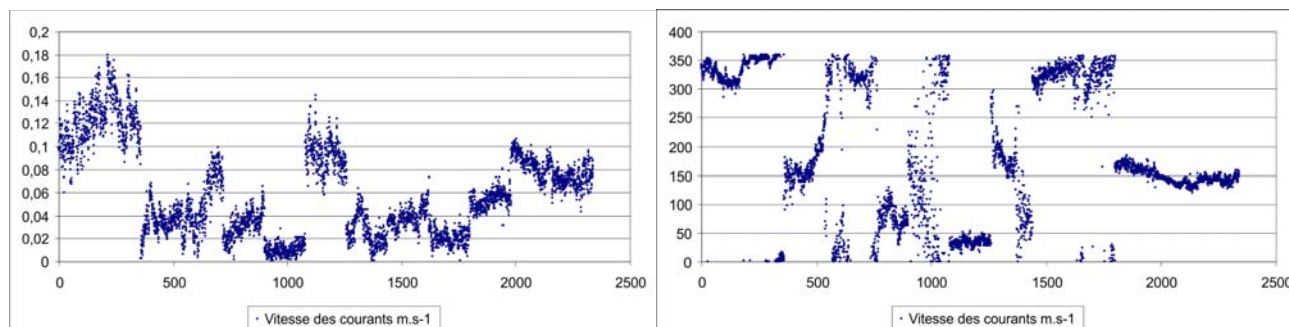


Figure IIIa-34. Vitesses en m.s^{-1} et direction en $^{\circ}$ des courants dans la filandre Harle, marée 5. L'échelle de temps en abscisse est le nombre de seconde. Les gaps entre les burst ne sont ainsi pas représentés pour faciliter la lecture.

7-2. Topographie relative (mesure ALTUS) dans la filandre Harle

Le figure IIIa-35 présente l'ensemble des mesures réalisées. L'appareil a enregistré du 23/06 au 16/07, soit 45 marées. Les coefficients ont été respectivement 79 (premier maxima), 41 et 102 (deuxième maxima). Le phénomène de double tenue du plein est net ; il apparaît dès que le coefficient dépasse 70. Les hauteurs d'eau sont, à pleine mer, de 4 m en vives-eaux (102) et 2 m en mortes-eaux (41). Les hauteurs à basse mer sont de 30 cm (appareil compris) en mortes-eaux, la filandre étant exondées à partir de coefficients de marée proche de 80.

Il est intéressant de noter l'extrême variabilité des niveaux d'eau à basse mer. Si le niveau à basse mer reste constant lors de petits coefficients, les filandres se vident, uniquement en fin de jusant et rapidement, lors des grands coefficients (voir les 10 premières marées de la figure IIIa-35).

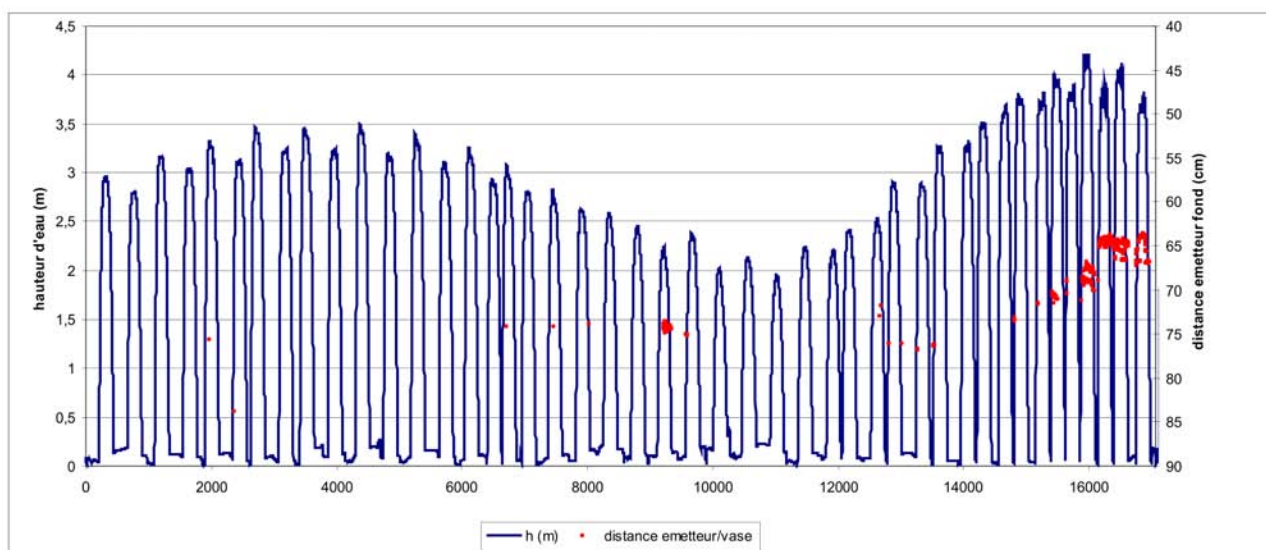


Figure IIIa-35. Hauteur d'eau et variation relative de la topographie sur Harle. Mesures ALTUS, juillet 2010. En abscisse le temps en seconde.

Du point de vue des variations relatives de la topographie, l'appareil ne semble avoir fonctionné correctement que lors des dernières marées de vives-eaux. Au terme des enregistrements, il apparaît un engraissement relatif d'environ +10 cm de vase. Ceci est confirmé par les observations de terrain (recouvrement de l'ADCP). A noter que Grande Crique n'a pas été soumise à de telles variations sur les mêmes périodes.

La figure IIIa-36 fait un zoom sur les quelques marées où la densité de points Altus permet de juger de la dynamique sédimentaire du milieu, c'est-à-dire les 4 dernières marées, nommées A, B, C et D par la suite.

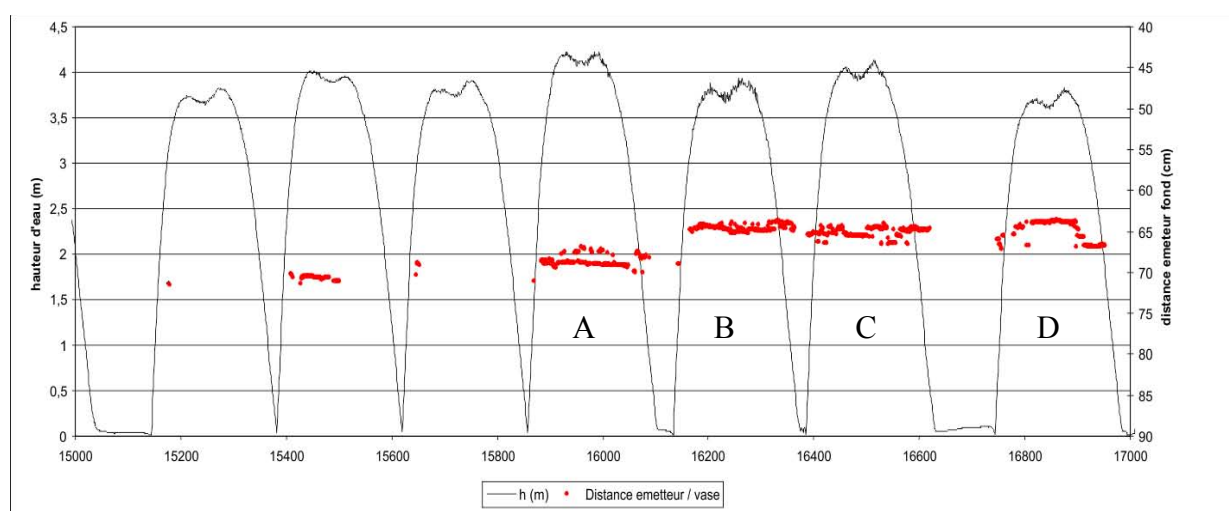


Figure IIIa-36. Hauteur d'eau et variation relative de la topographie sur Harle (détail) Mesures ALTUS, juillet 2010. En abscisse le temps en seconde.

Lors de ces périodes de vives-eaux, la vasière est totalement exondée à BM. Entre les marées A et B, il est possible d'observer le mécanisme de vidange des filandres, d'abord très rapide, cette évolution étant liée au jusant, puis lent et régulier, ce qui correspond à la vidange des eaux retenues dans les parties amont de la slikke et du schorre.

La figure de IIIa-37 montre l'évolution de la topographie relative sur les marées A et B. Il apparaît tout d'abord une évolution topographique brutale, caractérisé par une différence nette de + 5 cm de dépôt entre les 2 marées. L'évolution relative de la topographie ne montre ainsi pas de décantation du matériel particulaire de la masse d'eau, ce qui caractériserait ainsi une évolution progressive de la topographie (c'est ce qui se passe sur la slikke s.s., Deloffre, 2005).

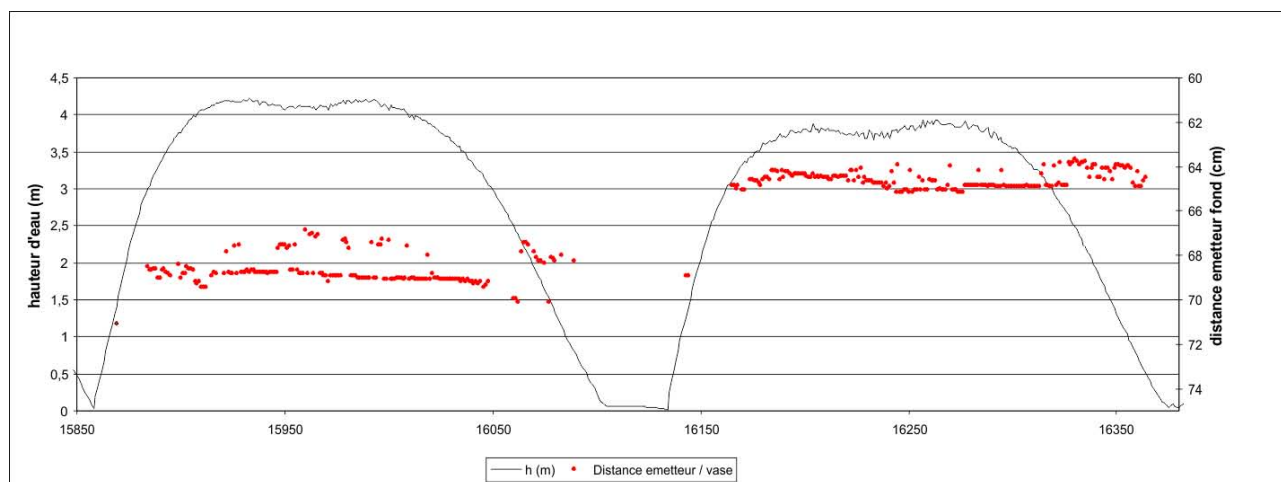


Figure IIIa-37. Hauteur d'eau et variation relative de la topographie sur Harle. Mesures ALTUS, marées A et B (cf figure IIIa-33), juillet 2010. En abscisse le temps en seconde.

Ainsi, la sédimentation, telle qu'observée sur ces enregistrements, serait supportée par des dépôts de vase fluide, en paquets, déplacés au gré des courants dans les chenaux. Par ailleurs, un niveau de "base" est visible sur les enregistrements, avec des points d'altitude plus élevées, par moment (jusqu'à 2 cm au-dessus de cette "ligne de base"). Cela pourrait être interprétés comme des paquets de vase en mouvement sur un fond sédimentaire, lui-même en érosion (chaque ligne "de base" comporte une tendance à l'érosion, -5 mm, progressivement, pour la marée A et -1cm, plus brutalement, pour la marée B. Cela est particulièrement net au moment du jusant. Durant l'étale de HM, ces hauteurs de paquets de vase sont maximales au moment du creux entre les deux hautes mers de la double tenue du plein. Il faut préciser qu'il s'agit de la même voie d'enregistrement, et que donc la fréquence d'impulsion des ultra-sons est la même. Cela implique que le matériel sédimentaire soit le même (vase fluide à molle, facilement remobilisable).

Cette tendance est confirmée par la marée C (figure IIIa-38) qui montre que ces fonds sont très nettement instables, avec des variations significatives de 1 à 2 cm, au cours de la marée, sans réelle relation avec les périodes de flot, jusant, ou étales. Entre la marée B et C la tendance globale est à l'érosion, ce qu'il faudrait plutôt qualifier de remobilisation des vases déposées entre les marées A et B.

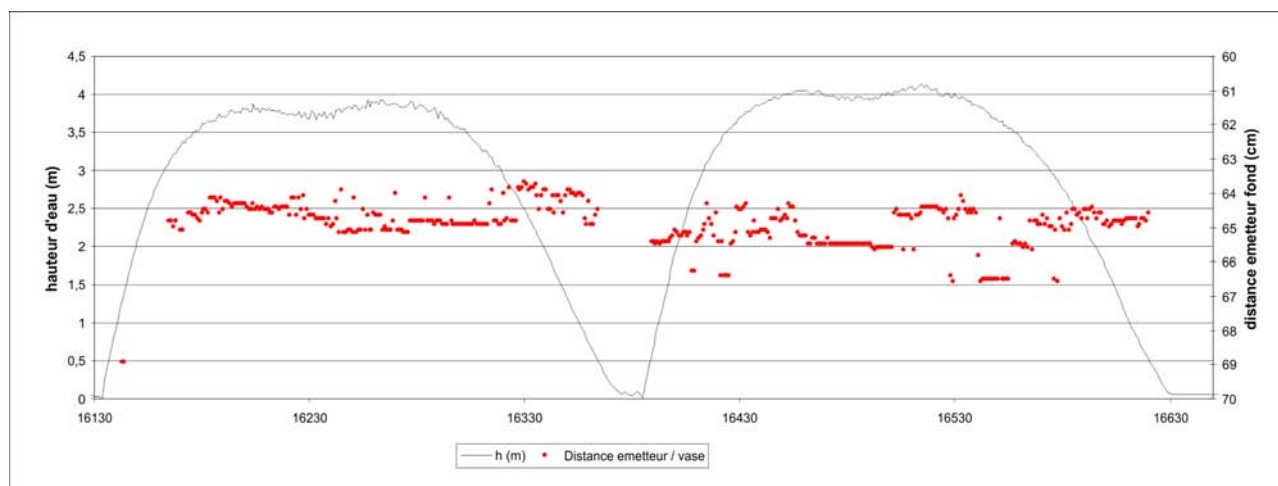


Figure IIIa-38. Hauteur d'eau et variation relative de la topographie sur Harle. Mesures ALTUS, marées B et C (cf figure IIIa-33), juillet 2010. En abscisse le temps en seconde.

La marée D (figure IIIa-39) montre quant à elle un cycle de marée dans lequel les variations relatives de la topographies sont très nettes. Entre la C et la marée D, il y a déjà -2 cm d'érosion ; cette érosion est sans doute liée à la fin du jusant, non enregistré par l'appareil. Le jusant, contrairement à ce qui peut être observé sur la slikke, conserve ainsi une vitesse de courant suffisante (Figure IIIa-32) du fait de la chenalisement, pour mobiliser des dépôts sédimentaires.

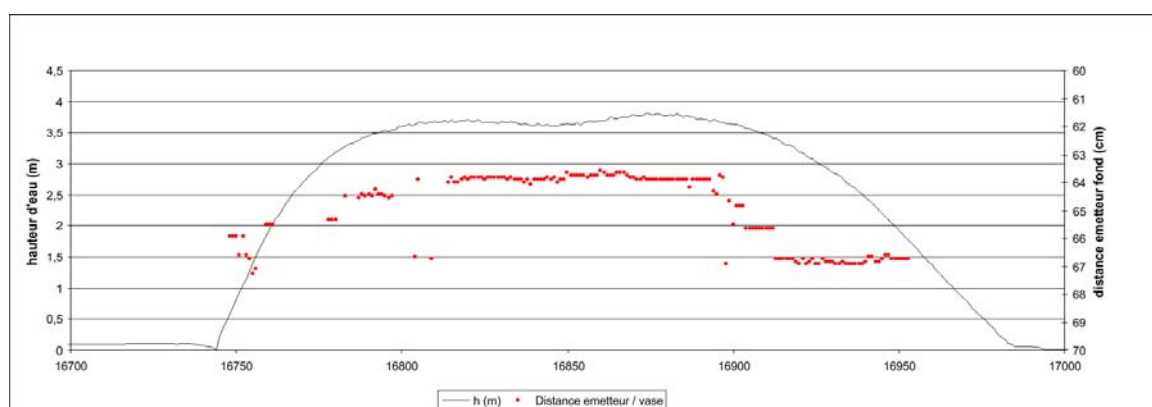


Figure IIIa-39. Hauteur d'eau et variation relative de la topographie sur Harle. Mesures ALTUS, marées D (cf figure IIIa-33), juillet 2010. En abscisse le temps en seconde.

Durant le cycle de marée D, il est observé une sédimentation importante au flot (+2,7 cm), probablement lié à des paquets de vase fluide en mouvement. A l'étale de PM, il n'y a pas de mouvement sédimentaire, en tout cas pas d'évolution topographie relative progressive, telle que la décantation peut impliquer. Ensuite, le jusant induit une érosion significative, d'environ 2,7 cm également. Il est intéressant de noter que sur l'ensemble de cette marée, le bilan topographique est nul : ni érosion, ni dépôts. Là aussi cela atteste du principe d'une sédimentation liée à des mouvements de vase fluides, apportées par le flot, en provenance du chenal Nord, et transitant sur le fond.

Les marées de vives-eaux sont celles qui apportent le plus de matériel particulaire et crème de vase, pour peu que ces dernières soient disponibles dans l'ensemble de l'estuaire. Le matériel sédimentaire correspondrait à des paquets de vases molles, qui sont sans cesse remobilisés dans le continuum amont aval des filandres, au gré des flots et jusants, les vitesses des courants de jusant étant tout

aussi significatives que celle du flot (figure IIIa-33). C'est en période de mortes-eaux, suite à des périodes de vives-eaux où les apports ont été conséquents, que les paquets de vase finissent par perdre leur mobilité, suite à une augmentation de cohésion (moins de remobilisation facilitant un tassement).

7-3. Données hydrosédimentaires sur Grande Crique (mesure Valeport)

Un ADCP et un Valeport ont été implantés dans la filandre Grande Crique le 30 juin 2010. (figure IIIa-40). Le Valeport enregistre la vitesse et direction des courants en un point, la hauteur d'eau et il comporte un OBS. l'appareil a été implanté dans l'axe du chenal, mais décalé vers la berge afin de laisser le passage à l'Eclat. Le capteur de pression est positionné 10 cm au-dessus de la surface de la vase.



Figure IIIa-40 Position des appareillages sur Grande Crique et photographie du dispositif. Orthophoto GPMH.

Le Valeport a enregistré 29 marées, à 2 Hz, avec des burst de 9 mn toutes les 15 mn. Il n'a pas été observé de dépôt de vase sur les engins suite à cette série de mesure (contre une dizaine de cm pour Harle). Les coefficients de marée pour cette période évolue de 74 (première marée), descendent à 40 et remonte à 102 (dernière marée). Ce coefficient est le maximum avant le passage en déchet. La figure IIIa-41 présente l'ensemble des vitesses et des hauteurs d'eau sur l'ensemble des marées. Comme sur Harle, le phénomène de double tenue du plein est observé dès que les coefficients dépassent 70.

Les vitesses maximales sont de 91 cm.s^{-1} , en flot, pour des coefficients de marée de 100, et de 14 cm.s^{-1} à coefficient 40. Les vitesses maximales de jusant sont de 52 cm.s^{-1} (coefficient 100) et 6 cm.s^{-1} (coef. 40). Les hauteurs d'eau sont de 3 m en vives-eaux et de 1 m en mortes-eaux.

Les vitesses mesurées évoluent selon des modalités similaires pour chaque marée (l'exemple est celui de la première marée, coefficient 74, figure IIIa-42). Les vitesses sont tout de suite très rapides, puis chutent rapidement. La vidange de jusant est quant à elle très progressive, après une courte étaie de PM. Il est à noter des variations dans les composantes V_e et V_n : ce sont des effets de la morphologie du méandre (courants transversaux). Les courants sont ainsi orientés 300 au flot et 100 au jusant. La courbe de turbidité relative suit strictement la courbe de vitesse ; il n'y a ainsi pas de diminution relative de la turbidité suite à la remise en suspension lors du flot. Cela implique une charge turbide tout près du fond, associée à une décantation immédiate lors de la fin du flot.

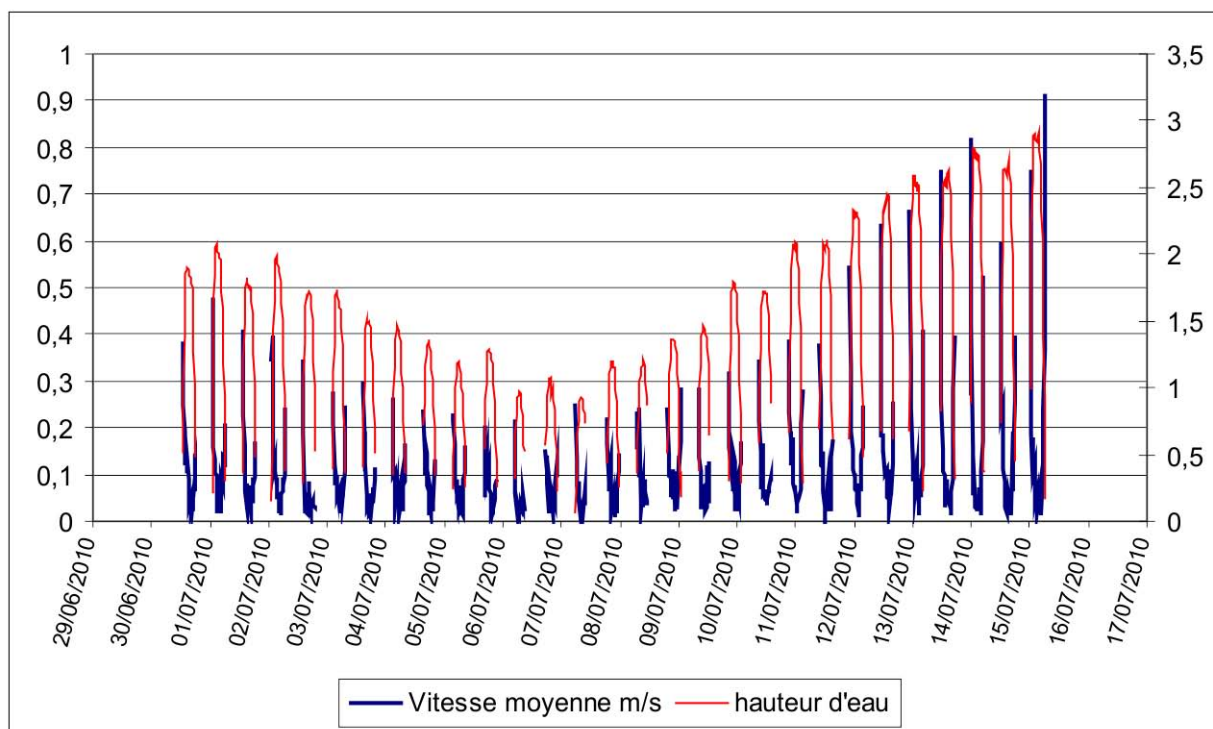
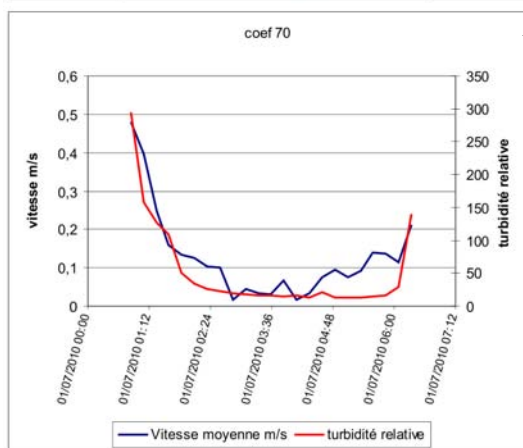
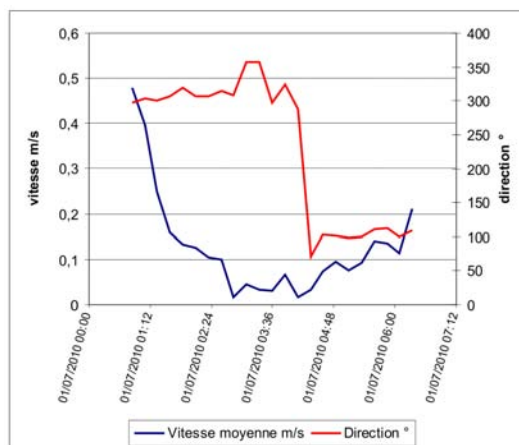
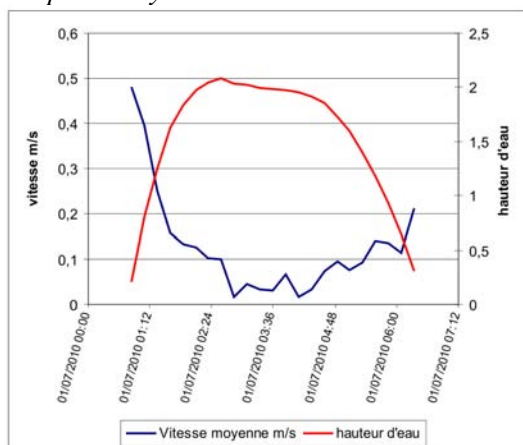


Figure IIIa-41. Vitesse des courants (m.s^{-1}) et hauteur d'eau sur l'ensemble des marées enregistrées par le Valeport. Moyenne des burst.



A

B

C

Figure IIIa-42. Un exemple de courbe de marée. Première marée, coefficient 74.

A : Vitesse et hauteur d'eau (m.s^{-1}). B : Vitesse (m.s^{-1}) et direction. C : Vitesse (m.s^{-1}) et turbidité relative (NTU Valeport). Moyenne de chaque burst.

En mortes-eaux (Coef 40, figure IIIa-43) les vitesses de courant sont de 25 cm.s^{-1} en flot et de 6 cm.s^{-1} en jusant. Elles connaissent de fortes variations (de même que les directions), liées au fait qu'elles soient très faibles (et donc influencées par le moindre souffle de vent). Les turbidités relatives (figure IIIa-44) sont faibles (comparées à celles de vives-eaux) et sont intimement liées à la vitesse des courants, hormis pour la 2^{ème} marée qui montre une turbidité résiduelle lors de l'étalement.

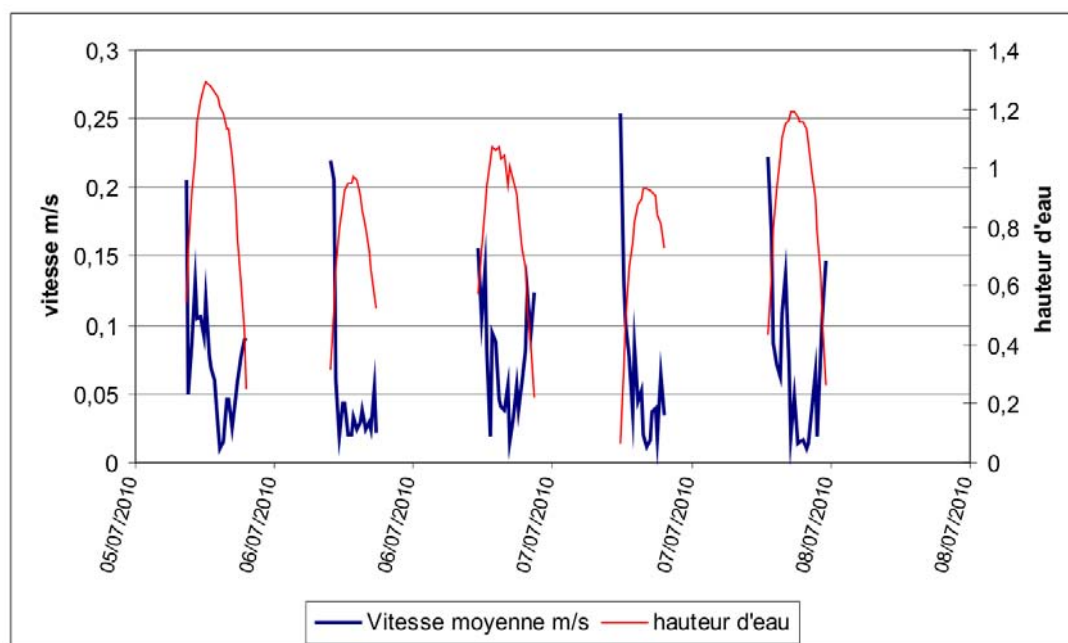


Figure IIIa-43. Vitesse des courants (m.s^{-1}) et hauteur d'eau sur 5 marées enregistrées par le Valeport. Les coefficients de marées évoluent de 43 (première marée) à 43 (dernière marée) en passant par un minimum de 40. Moyenne des burst.

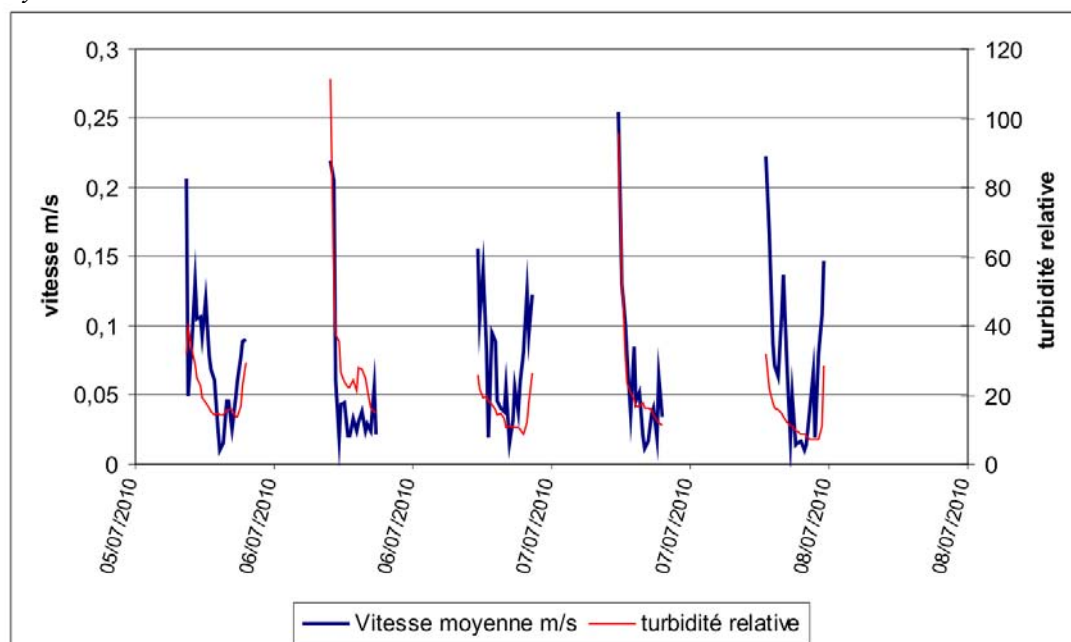


Figure IIIa-44. Vitesse des courants (m.s^{-1}) et turbidité relative (NTU Valeport) sur 5 marées enregistrées par le Valeport. Les coefficients de marées évoluent de 43 (première marée) à 43 (dernière marée) en passant par un minimum de 40. Moyenne des burst.

En vives-eaux (Coef 100, figure IIIa-45) les vitesses de courant sont de 82 cm.s^{-1} en flot et de 50 cm.s^{-1} en jusant. Elles peuvent cependant atteindre 91 cm.s^{-1} au moment du jusant (dernière marée), aidées en cela par des écoulements en provenance du continent ou issue de la vidange des eaux de la slikke et du schorre, les quantités d'eau étant plus importantes en vives-eaux. Les turbidités relatives (figure IIIa-46) sont fortes (maximum de 450 contre 100 en mortes-eaux) et sont intimement liées à la vitesse des courants, mais avec cependant des périodes de turbidité plus importante en étales (jusqu'à 200, coef 102).

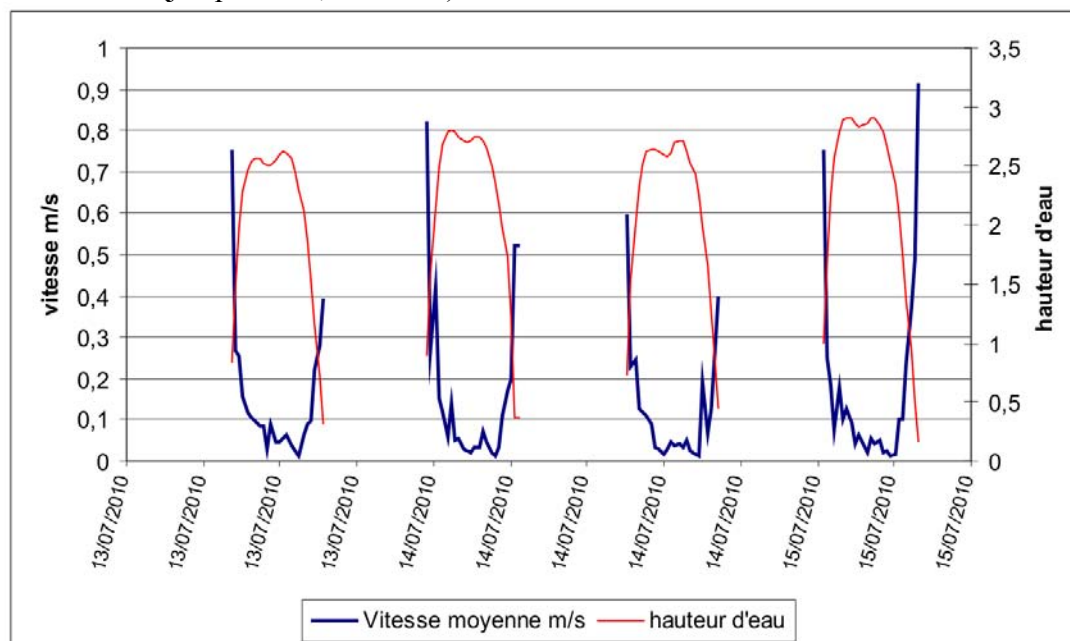


Figure IIIa-45. Vitesse des courants (m.s^{-1}) et hauteur d'eau sur 4 marées enregistrées par le Valeport. Les coefficients de marées sont de 98 (première marée), 101, 102 et 102 (dernière marée). Moyenne des burst.

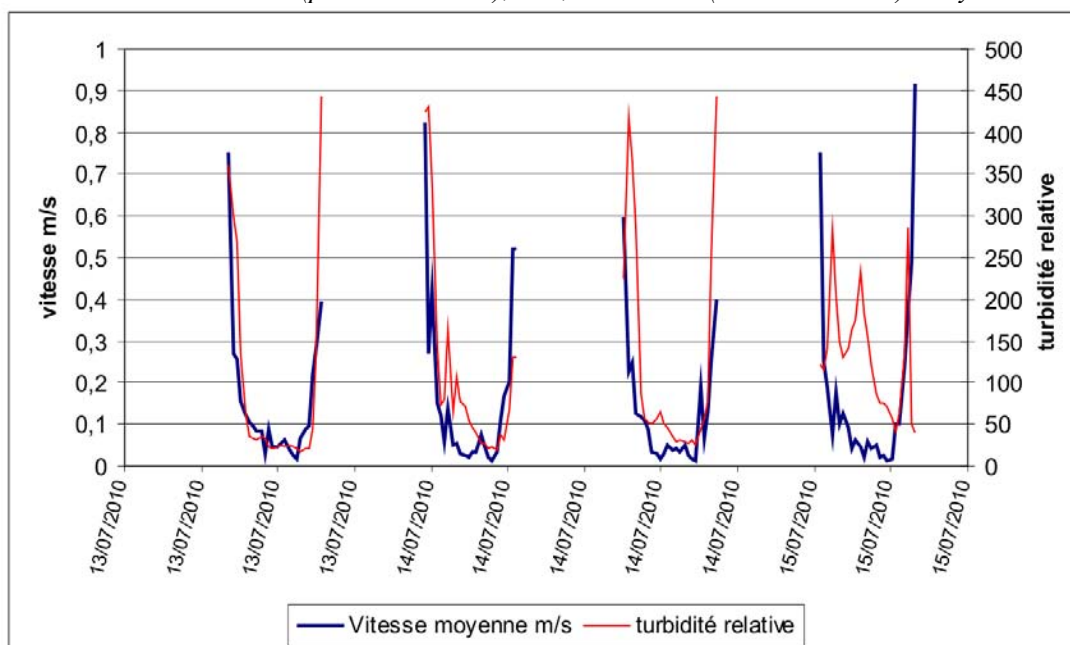


Figure IIIa-45b. Vitesse des courants (m.s^{-1}) et turbidité relative (NTU Valeport) sur 4 marées enregistrées par le Valeport. Les coefficients de marées 98 (première marée), 101, 102 et 102 (dernière marée). Moyenne des burst.

8- Conclusions partielles

Du point de vue de la granulométrie, les échantillons contiennent en moyenne 21 % de sable et 75 % de vase, toutes données confondues (319 échantillons "intertidal" + filandres). Il existe pour chaque filandre un net gradient amont aval de la teneur en fines, sur toutes les filandres. En amont les sédiments sont plus fins ; sur les points aval, les échantillons comportent en général une plus grande proportion de sables, aidés en cela par la proximité du chenal (Nord, Environnemental, de Seine, ou même la Risle dans sa partie aval) qui sont essentiellement sableux. Il existe également un gradient amont aval de la concentration, les vases les plus compactes étant situées sur les points aval.

Il est observé une évolution saisonnière de la sédimentation, même si cette dernière ne peut être jugée que par un événement de crue limité (janvier 2011). Cette évolution est caractérisée par un ensablement relatif des sédiments : il est observé une évolution de la teneur en fines de l'ordre de -10 % (en amont) à -20 % (en aval), de septembre 2010 à février 2011. Cette évolution est très évidente pour chaque filandre, dans des proportions similaires. L'ensemble des filandres prospectés ont ainsi été simultanément impactées par cette crue relative. De fait l'impact d'une crue significative (forts débits fluviaux soutenus dans le temps) aura un impact sans doute plus significatif, tel qu'observé dans les années 90.

Il existe une réelle déconnexion entre les caractéristiques sédimentaires des filandres comparativement à celle de la slikke *s.s.*. Si la slikke connaît un net ensablement significatif, en surface et en épaisseur, les filandres continuent à rester majoritairement vaseux (+ 75% de sédiments fins), rarement vaso-sableux en aval des systèmes filandre.

Le cycle des sédiments dans ces filandres commence par une phase d'apport, en général en relation avec une position moyenne du bouchon vaseux proche de la zone, et donc avec du matériel (vases fluides) stockés en chenal Nord (et chenal Environnemental). A ces flux advectifs de matériel particulaire (MES et crème de vase), associés à une remise en suspension lors du flot, succède une phase de dépôt, significative dans un contexte de marée où l'étale de pleine mer est longue. Lors de cette étude, seuls des paquets de vase fluide semblent avoir transité dans les filandres, les dépôts de MES par décantation étant assez peu significatifs pour ne pas apparaître sur l'enregistrement de la topographie relative (Harle), tandis que dans la Grande Crique aucun dépôt résiduel n'est enregistré. Les vitesses des courants, selon des coefficients identiques, sont de 22 cm.s⁻¹ sur Harle (Coef 76) et de 48 cm.s⁻¹ (coef 74) sur Grande Crique.

Le jusant remporte une partie du matériel apporté en flot. C'est durant cette phase que la chenalisation est un facteur important permettant de garder une vitesse de jusant supérieure à celle du jusant sur la vasière *sensus stricto*. Les vitesses de jusant sur Harle sont ainsi de 75 % celle du flot. Sur Grande Crique cette valeur tombe à 50% en vives eaux et 24 % en mortes-eaux, mais avec des événements où les vitesses de jusant sont supérieures à celle de crue, en vives-eaux (figure IIIa-45). Ceci peut expliquer pourquoi les filandres ne se comblent pas forcément si vite et pourquoi ils sont, en quelque sorte, " entretenus ". Les jusants sont aidés en cela par des apports d'eau en provenance du continent ainsi que par la vidange des eaux de la slikke et du schorre. La période de mortes-eaux est propice à une phase de tassement des vases qui, si elle est estimée à 40 % de la hauteur initiale en domaine subtidal, doit être encore plus importante du fait du drainage de la vasière.

En termes de dynamique sédimentaire, il existe une déconnexion entre la dynamique sédimentaire des systèmes filandres par apport à celle de la vasière. Dans les filandres, la forte énergie des courants de marée (proche de 1 m.s^{-1} pour Grande Crique) implique un apport de matériel vaseux sous forme de vase fluide, sur tout le continuum des filandres, alors que la sédimentation sur la slikke (en partie haute) est plus caractérisée par des dépôts de décantation.

Les filandres fonctionnent ainsi en cellules sédimentaires indépendantes. Il est à noter que cette étude se déroule dans des conditions hydrologiques particulières (étiage prolongé) qui n'est pas forcément caractéristique du fonctionnement sédimentaire habituel d'une filandre.

Concernant la typologie, en considérant des paramètres simples (évolution de la teneur en fines, concentration, faciès) les filandres peuvent être associés dans des groupes :

Du point de vue des faciès (figure IIIa-46) :

- Les filandres de la vasière Nord (RO, FU et HA) : vases compactes, noires, bioturbées.
- Amont du pont de Normandie (VA, TI, ES, HO, CO) : vases grises, molles, homogènes non bioturbées. La Grande Crique est un intermédiaire des deux types.
- Filandres de la Risle (RD2, RD3 et CR) : vases et vases sableuses, plus litées, sans bioturbation.

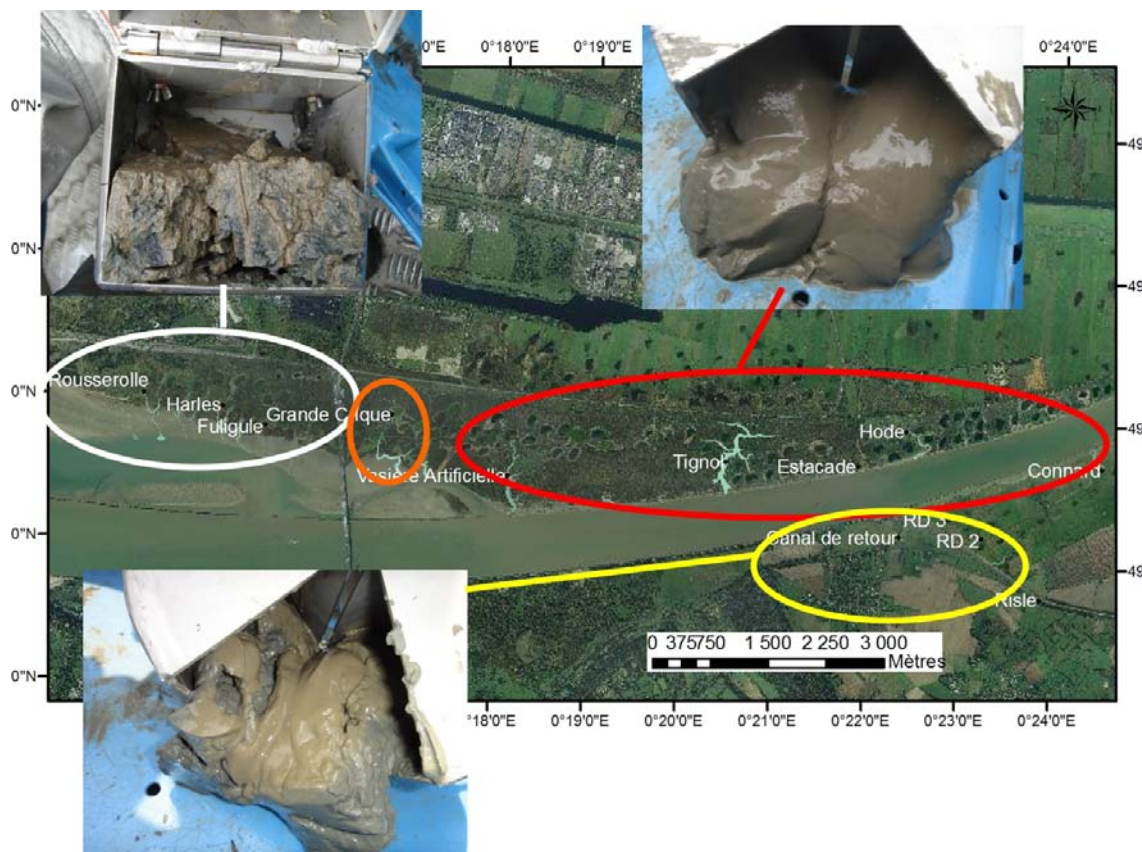


Figure IIIa-46. Regroupement des filandres selon les caractéristiques faciologiques. Orthophoto GPMH.

Du point de vue de l'évolution des teneurs en fines, suite au petit événement de crue de janvier 2011 (Figure IIIa-47) :

- Hode, Estacade et Vasière Artificielle évoluent selon les mêmes modalités, dans un groupe dans lequel on peut inclure RD2, RD3 et le Canal de retour.

- Harle, Rouserolle, Fuligule et Grande Crique fonctionnent de la même manière.
- Tignol et la Crique à Connard forment un groupe à part.

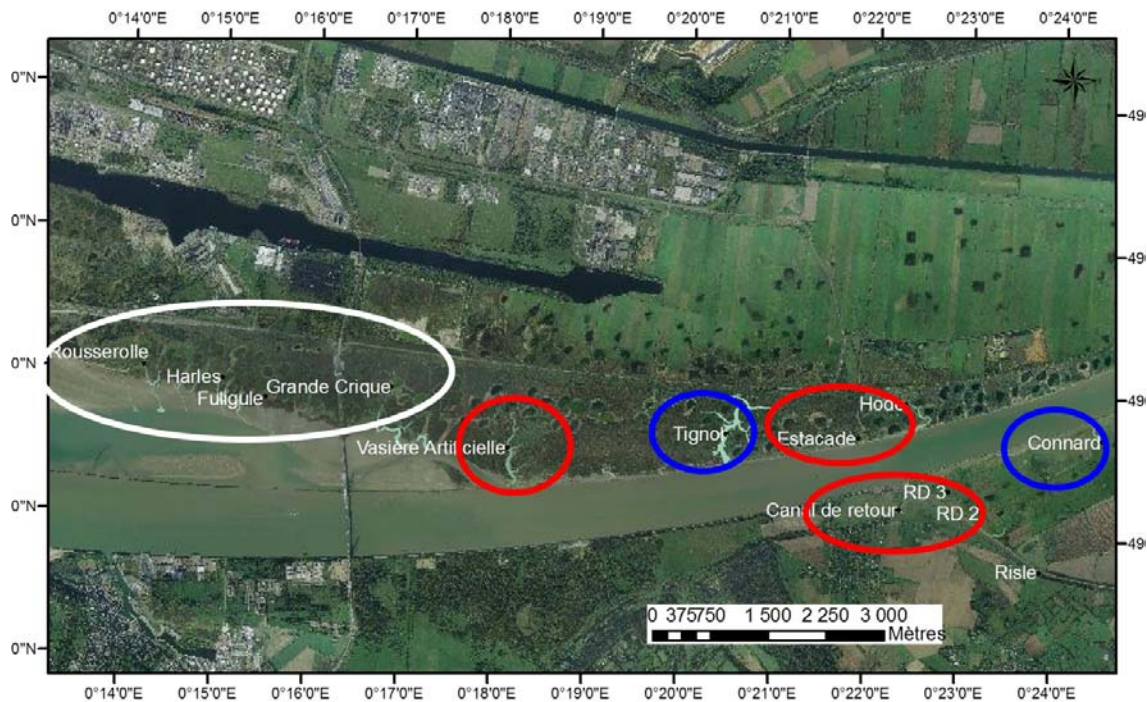


Figure IIIa-47. Regroupement des filandres selon l'évolution de la teneur en fines au cours des campagnes DEFHFIS. Orthophoto GPMH.

Du point de l'évolution des concentrations selon les mêmes modalités (figure IIIa-48), les filandres sont regroupées selon les modalités suivantes :

- Filandres associés au chenal environnemental (Grande Crique et Vasière Artificielle),
- Filandres de la rive sud (Crique à Connard, Canal de retour et RD2 et RD3)
- Filandres de la rive Nord (Tignol, Estacade et Hode)
- Filandres du chenal Nord (Rouserolle, Fuligule, et Harle).

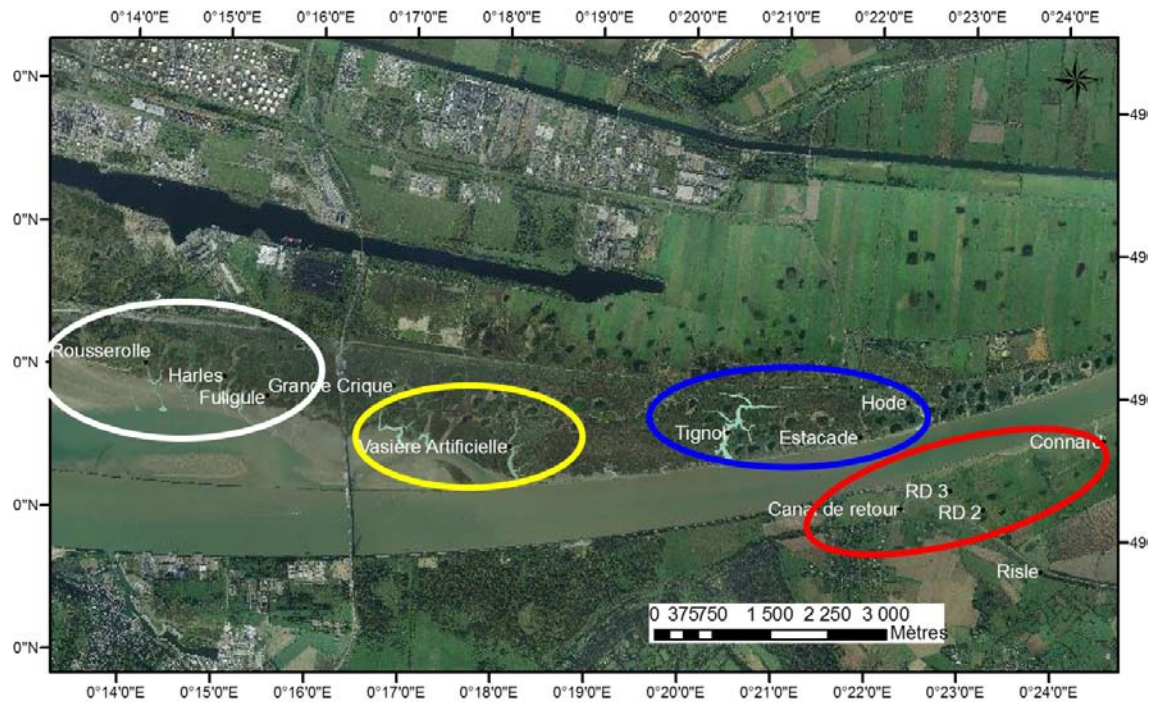


Figure IIIa-48. Regroupement des filandres selon l'évolution de la concentration au cours des campagnes DEFHFIS. Orthophoto GPMH.

Bibliographie

- CUVILLIEZ, A., 2008. Dynamiques morphologique et sédimentaire d'une slikke et d'un schorre dans un estuaire macrotidal anthropisé (Seine- France). Thèse de Doctorat, Université de Rouen, 270 pages.
- DELOFFRE J., 2005, la sédimentation fine sur les vasières intertidales en estuaires macrotidaux . Processus, quantification et modélisation de l'échelle semi-diurne à l'échelle annuelle. Thèse de Doctorat, Université de Rouen, 227 p.
- GARNAUD S., LESUEUR P., CLET M., LESOURD S., GARLAN T., LAFITE R., BRUN-COTTAN J.C., 2003. Holocene to modern fine-grained sedimentation on a macrotidal shoreface-to-inner-shelf setting (eastern Bay of the Seine, France). *Marine Geology*, 20(1-2)2, 33-54.
- HOYEZ, B., CUVILLIEZ, A., 1998. Plage, dune et vasière de l'estuaire Nord de la Seine. *Annales de la Société Géologique du Nord*, tome 6, 2ème série, p 113 – 126.
- J. DELOFFRE, R. LAFITE, P. LESUEUR, R. VERNEY, S. LESOURD, A. CUVILLIEZ AND J. TAYLOR, 2006. Controlling factors of rhythmic sedimentation processes on an intertidal estuarine mudflat — Role of the turbidity maximum in the macrotidal Seine estuary, France. *Marine Geology*, Volume 235, Issues 1-4, 20 December 2006, Pages 151-164.
- LARSONNEUR C., 1971. Manche centrale et Baie de Seine : géologie du substratum et des dépôts meubles. Thèse d'Etat, Univ. Caen, 394 pp.
- LESOURD S., 2000. Processus d'envasement d'un estuaire macrotidal : zoom temporel du siècle à l'heure ; application à l'estuaire de la Seine. Thèse, Université de Caen, 280 pp.
- LESOURD S., LESUEUR P., BRUN-COTTAN J.C., GARNAUD S., POUPINET N., 2003. Seasonal variations of the superficial sediments in a macrotidal estuary : the Seine inlet, France. *Estuarine Coastal and Shelf Sciences*, 58(1), pp.3-16.
- LESOURD S., BRUN-COTTAN J.C., LESUEUR P., DELOFFRE J., LAFITE R., CAILLAUD J., PHILIPPE S., 2005. Etude expérimentale du tassement des vases de l'estuaire de la Seine. Rapport annuel du programme Scientifique Seine Aval, Action Physique et sédimentologie I-2004-06, 45pp.
- VERNEY R., 2006. Processus de contrôle de la dynamique des sédiments cohésifs. Mesures in-situ, mesures expérimentales et modélisation application à l'estuaire de la Seine. Thèse, université de Rouen, 323 p.

liste des figures

Figure IIIa-01. Position des échantillonnages DEFHFIS réalisés lors des missions typologie.....	3
Figure IIIa-02. Position des échantillonnages DEFHFIS réalisés lors des missions typologie. Détail sur la partie E.....	4
Figure IIIa-03a. Position des échantillonnages DEFHFIS réalisés lors des missions "intertidal" sur Harle.....	5
Figure IIIa-03b. Position des échantillonnages DEFHFIS réalisés lors des missions "intertidal" sur Grande Crique.....	5
Figure IIIa-04. Débit de la Seine (m ³ .s ⁻¹) mesuré à Vernon et dates des missions de terrain.....	7
Figure IIIa-05 Répartition respective des fractions sédimentaires, classée selon 3 pôles, [200 µm, [50-200 µm],]50 µm.....	8
Figure IIIa-06 Répartition respective des fractions sédimentaires, classée selon 3 pôles, [200 µm, [50-200 µm],]50 µm.....	9
Figure IIIa-07 Répartition respective des fractions inférieures à 50 µm, classée selon 3 pôles : silts grossiers]50-20µm], silts fins]20-4µm], argiles granulométriques]4µm.....	10
Figure IIIa-08. Proportion des silts grossiers (]50-20µm]), des silts fins (]20-4µm]) et des argiles granulométriques (]4µm) dans la fraction totale, par rapport à la fraction inférieure à 50 µm.....	10
Figure IIIa-09. Proportion des silts grossiers (]50-20µm]), des silts fins (]20-4µm]) et des argiles granulométriques (]4µm) dans la fraction totale par rapport à la fraction inférieure à 50 µm et pour chaque zone de prélèvement.....	11
Figure IIIa-10. Photographie des faciès de Rouserolle (RO), Fuligule (FU), Harle (HA), Grande Crique (GC), Tignol (TI) et Vasière Artificielle (VA).....	12
Figure IIIa-11. Photographie des faciès de Estacade (ES), Hode (HO), RD2, RD3, Canal de Retour (CR) et Crique à Connard (CO).....	14
Figure IIIa-12. Répartition des fractions inférieures à 50 µm sur les transects amont aval de chaque filandre et pour chaque mission.....	15
Figure IIIa-13. Répartition des valeurs de concentration (g.l ⁻¹) sur les transects amont aval de chaque filandre et pour chaque mission.....	17
Figure IIIa-14. Concentration (g.l ⁻¹) dans les filandres, situation de juillet 2010 et février 2011.....	18
Figure IIIa-15. Diagramme concentration en g.l ⁻¹ / teneur en fines (fraction inférieure à 50 µm), pour chaque campagne de prélèvement.....	18
Figure IIIa-16. Valeurs de rigidité initiales τ_y (N.m ⁻²) en juillet 2010.....	19
Figure IIIa-17. Valeurs de rigidité initiales τ_y (N.m ⁻²) en février 2011.....	19
Figure IIIa-18. Teneur en fines et concentration au fond de la filandre Harle.....	20
Figure IIIa-19. Mesure de la rigidité initiale τ_y (N.m ⁻²) et concentration au fond de la filandre Harle.....	20
Figure IIIa-20. Teneur en fines et concentration au fond de la filandre Grande Crique	21
Figure IIIa-20b. Mesure de la rigidité initiale τ_y (N.m ⁻²) et concentration au fond de la filandre Grande Crique.....	21
Figure IIIa-21. Teneur en fines et concentration sur un transect schorre-slikke - Filandre Harle.....	22
Figure IIIa-22. Quelques faciès sédimentaires en zone intertidale, environs de Harle.....	23
Figure IIIa-23. Comparaison de la teneur en fines (<50 µm) sur la zone intertidale de Harle, en juin-juillet 2010 et juillet 2011.....	24
Figure IIIa-24. Une photographie montrant une vue intéressante vers le Nord à partir du chenal environnemental.....	24
Figure IIIa-25. Teneur en fines et concentration sur un transect Schorre-Slikke - Filandre Grande Crique.....	24

Figure IIIa-26. Comparaison de la teneur en fines (<50 µm) sur la zone intertidale de Grande Crique, en juin-juillet 2010 et juillet 2011.....	25
Figure IIIa-27. Quelques faciès sédimentaires en zone intertidale, environs de Grande Crique.....	26
Figure IIIa-28. Deux exemples de carottes prélevées dans le schorre (campagne Benthos).....	27
Figure IIIa-29. Comparaison de la teneur en fines (<50 µm) entre la zone intertidale (bleu clair) et la filandre (bleu foncé).....	28
Figure IIIa-30. Comparaison de la teneur en fines (<50 µm) entre la zone intertidale (vert clair) et la filandre (vert foncé).....	28
Figure IIIa-31 Position des appareillages sur Harle et photographie du dispositif.....	29
Figure IIIa-32. Vitesses en m.s-1 et direction en ° des courants dans la filandre Harle.....	29
Figure IIIa-33. Vitesses en m.s-1 et direction en ° des courants dans la filandre Harle, marée 3.....	30
Figure IIIa-34. Vitesses en m.s-1 et direction en ° des courants dans la filandre Harle, marée 5.....	30
Figure IIIa-35. Hauteur d'eau et variation relative de la topographie sur Harle.....	31
Figure IIIa-36. Hauteur d'eau et variation relative de la topographie sur Harle (détail).....	31
Figure IIIa-37. Hauteur d'eau et variation relative de la topographie sur Harle. Mesures ALTUS, marées A et B.....	32
Figure IIIa-38. Hauteur d'eau et variation relative de la topographie sur Harle. Mesures ALTUS, marées B et C.....	33
Figure IIIa-39. Hauteur d'eau et variation relative de la topographie sur Harle. Mesures ALTUS, marées D.....	33
Figure IIIa-40 Position des appareillages sur Grande Crique et photographie du dispositif.....	34
Figure IIIa-41. Vitesse des courants (m.s-1) et hauteur d'eau sur l'ensemble des marées enregistrées par le Valeport.....	35
Figure IIIa-42. Un exemple de courbe de marée. Première marée, coefficient 74.....	35
Figure IIIa-43. Vitesse des courants (m.s-1) et hauteur d'eau sur 5 marées enregistrées par le Valeport.....	36
Figure IIIa-44. Vitesse des courants (m.s-1) et turbidité relative (NTU Valeport) sur 5 marées enregistrées par le Valeport.....	36
Figure IIIa-45. Vitesse des courants (m.s-1) et hauteur d'eau sur 4 marées enregistrées par le Valeport.....	37
Figure IIIa-45b. Vitesse des courants (m.s-1) et turbidité relative (NTU Valeport) sur 4 marées enregistrées par le Valeport.....	37
Figure IIIa-46. Regroupement des filandres selon les caractéristiques faciologiques.....	39
Figure IIIa-47. Regroupement des filandres selon l'évolution de la teneur en fines au cours des campagnes DEFHFIS.....	40
Figure IIIa-48. Regroupement des filandres selon l'évolution de la concentration au cours des campagnes DEFHFIS.....	41

Liste des tableaux

Tableau IIIa-1. Ensemble des données sédimentologiques traitées par le LOG.....	6
Tableau IIIa-2 : Classification de Larsson modifiée. Chiffres exprimés en % de la fraction totale	6