

***DEFHFIS***  
***RAPPORT FINAL***

**PARTIE IVa**

**Hydrologie-Morphologie**  
**Occupation du sol - Activités humaines**

**Christophe Bessineton**

## Sommaire

1) Rappel des objectifs de l'équipe 2.....	3
2) Méthodologie et caractérisation des paramètres.....	3
2-1) Les paramètres morphologiques.....	4
2-1-1) Localisations et limites des bassins versants.....	4
2-1-3) Les caractéristiques des filandres.....	8
2-2) L'alimentation en eau.....	12
2-2-1) Les débits, les volumes.....	12
2-2-2) La qualité de l'eau, salinité, O2 dissous.....	13
2-3) L'occupation du sol.....	15
2-3-1) Cartographie de l'occupation du sol.....	15
2-3-2) Etude diachronique, évolution de l'Occupation du Sol.....	16
2-4) Les activités humaines.....	16
3) Eléments de typologie.....	20
3-1) Paramètres hydro-morphologiques des bassins et des chenaux.....	20
3-1-1) Typologie des filandres.....	20
3-1-2) Corrélations entre paramètres morphologiques des bassins et des chenaux.....	22
3-2) Morphologie, occupation du sol et activités humaines.....	23
3-2-1) Croisements entre les paramètres morphologiques et l'occupation du sol.....	23
3-2-2) Relations entre les activités humaines, l'occupation du sol et la morphologie.....	25
4) Quelques exemples d'évolution.....	28
4-1) Etude diachronique.....	28
4-2) Mesures d'accompagnement de Port 2000.....	31
5) Services et usages.....	32
6) Vers un modèle conceptuel prédictif ? Limites de l'exercice.....	33
6-1) Potentiel de restauration, exemple de la Grande Crique.....	33
6-2) Transferts de débit de Connard sur les filandres de la Risle.....	34
7) Conclusions partielles.....	35
Bibliographie.....	40
Liste des tableaux et des figures.....	42
Figures.....	42
Tableaux.....	43
Photos.....	43

## 1) Rappel des objectifs de l'équipe 2

Le projet vise à étudier le fonctionnement des filandres de l'aval de l'estuaire, d'un point de vue morphologique et écologique. Il porte sur la typologie des filandres, leur fonctionnement hydrodynamique, leur évolution, les interactions entre les aspects morphologiques, biologiques (types d'habitats, zoobenthos, poissons, oiseaux), et les activités humaines. Il vise enfin à mieux appréhender les fonctions que ces systèmes assurent dans l'estuaire.

L'implication de l'équipe 2 dans le projet global est la suivante :

- Recueil de données sur la qualité de l'eau (salinité), les volumes d'eau concernés, les habitats écologiques et les interventions humaines (gestion des milieux, travaux, usages). Une grande partie de ces données provient des suivis effectués par la Maison de l'Estuaire dans la Réserve Naturelle Nationale de l'Estuaire de la Seine, ainsi que du GIP Seine Aval, et des ports du Havre et de Rouen (restauration des digues, mesures d'accompagnement de Port 2000).
- Elaboration d'indicateurs hydro-morphologiques permettant une typologie des filandres de la partie aval de l'estuaire de la Seine.
- Interactions entre les aspects hydro-morphologiques, écologiques et humains dans le système filandre
- Etude de l'évolution de ces systèmes, étude synchronique (amont /aval) et diachronique pour certaines de ces filandres.
- Approche des fonctions écologiques des filandres dans l'estuaire et ébauche d'un modèle conceptuel du système comme outil prospectif et de restauration des habitats estuariens.

Afin de valoriser au mieux les suivis scientifiques effectués dans la Réserve Naturelle Nationale de l'Estuaire de la Seine, une convention de mise à disposition de données a été signée avec la Maison de l'Estuaire, gestionnaire de la RNNES, et une collaboration étroite s'est instaurée pour exploiter les données.

Une collaboration active a également pris place avec le GIP SA pour exploiter les données des campagnes topographiques LIDAR et mettre au point des procédures pouvant être appliquées à d'autres secteurs de l'estuaire.

## 2) Méthodologie et caractérisation des paramètres.

L'approche consiste à identifier une filandre à un système d'interactions hydro-morphologiques, écologiques et anthropiques. Ce système inclut un chenal, un bassin versant, un amont et un exutoire aval. Une série de paramètres permet de caractériser ces différents aspects. Ils ont été choisis en fonction de leur rôle *a priori* dans le système, mais également en fonction des données accessibles, existantes, ou mesurables sur la durée du programme.

## 2-1) Les paramètres morphologiques

### 2-1-1) Localisations et limites des bassins versants.

La limite des bassins versants de chaque crique a été faite suivant les lignes de partage des eaux tracées à partir des relevés topographiques Lidar de 2004, de 2010 et de 2011 accompagnés ponctuellement de mesures de terrain. Dans certains cas, les sens d'écoulement ont été vérifiés sur place, ainsi que les cotes topographiques des seuils (buses, chemins, diguettes...). Les résultats sont retranscrits sous forme de tables Map Info, compatibles avec les données des SIG de la Maison de l'Estuaire et du GIP Seine Aval (figure IVa-1 et IVa-2). Ce logiciel permet aussi d'homogénéiser projections cartographiques des données d'origines différentes (WGS84, Lat/G Mercator, Lambert 1N Greenwich, L2 carto Paris...).

Certaines filandres ont vu les limites de leurs bassins versants évoluer notamment à la suite des mesures d'accompagnement de Port 2000 dans la Fosse Nord, épi du Banc de la Passe, Méandre Amont (2005). Ces mesures d'accompagnement sont intéressantes parce qu'elles ont plus ou moins impacté les systèmes. Ces limites ont donc été déterminées pour les années 2004 et 2010 (ou 2011 pour les filandres de la rive sud).

### 2-1-2) Les caractéristiques des Bassins Versants.

Les bassins versants sont caractérisés par les paramètres suivants : Leur Surface, leur Volume, leur Volume Oscillant, leur altitude moyenne (Tableau IVa-1).

**La surface ( $S^2$ )** du bassin versant exprimée en ha, est calculée sur Map Info

**Le volume (V)** est le volume d'eau pouvant être stocké sur un bassin versant en dessous de 8,3 m Cote Marine du Havre (CMH). Il est calculé à partir des cotes topographiques LIDAR des campagnes 2004, 2010 et 2011. Le GIP SA a effectué les calculs sur les extensions Surfer et Vertical Mapper de Map Info.

L'une des difficultés tient à ce qu'en 2004 la mesure laser porte sur le sommet de la végétation, et non sur le sol, ce qui, dans le cas d'un secteur couvert de roselières, peut entraîner un biais variable suivant le stade de croissance du roseau ou la fauche de la végétation. Ce biais est théoriquement corrigé lors des campagnes ultérieures par le choix de fréquences laser différentes.

**Le Volume Oscillant (VO)** est le volume d'eau qui va et vient sur le bassin versant lors de la marée. C'est un croisement entre la topographie des terrains et les variations de hauteurs d'eau lors de la marée. Pour intégrer les sous-cotes ou les sur-cotes marégraphiques, ce sont les hauteurs d'eau journalières mesurées sur l'année 2010 au marégraphe de Honfleur qui ont été utilisées. A notre demande, le GIP SA a calculé des fréquences d'immersion par tranches topographiques de 20 cm sur l'ensemble de l'année 2010.

Pour chaque bassin versant, les surfaces planes entre isobathes distantes de 20 cm ont également été calculées. Il en résulte pour chaque bassin versant un volume oscillant exprimé en millions de  $m^3$  par an ( $10^6 m^3 an^{-1}$ ).

**Le Volume Oscillant par unité de Surface (VO/S)** rend compte en fait de l'altitude moyenne des bassins versants et permet de les comparer entre eux. C'est le rapport du Volume Oscillant sur la Surface du Bassin Versant.

*FIGURE IVa-1 Localisation des filandres et des bassins versants*

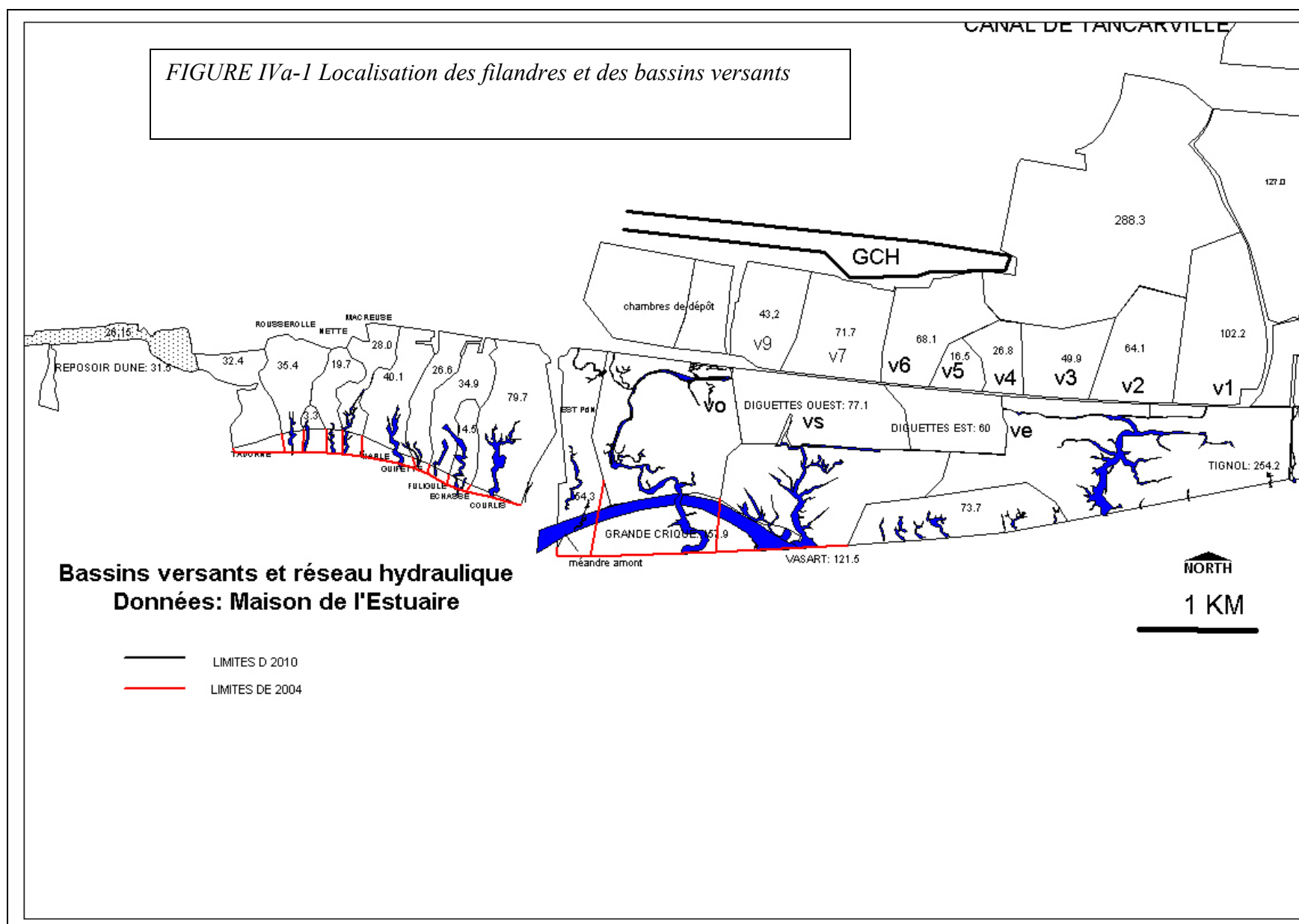




Figure IVa-2 localisation des filandres amont et des bassins versants

CODE	X Lambert 2G	Y Lambert 2G	SURFACE BASSIN ha	volume 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	volume oscillant 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	VO/S 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
HA10	448666,7	496135,0	40,00	0,28	86,91	2,17
GC10	451015,7	495170,3	158,00	0,36	112,69	0,71
VA10	452449,7	495252,1	125,00	0,33	96,93	0,78
TI10	455141,1	495579,4	254,00	1,26	175,94	0,69
HO04	457623,6	496036,0	50,60	0,75	127,53	2,52
CO11	459889,7	496142,6	66,90	0,12	22,02	0,33
RDx	458391,8	494920,5	81,10	0,63	5,23	0,06
RD1-11	458689,7	494717,8	19,60	0,63	0,95	0,05
RD2-11	458435,8	494890,3	56,20	0,37	3,43	0,06
RD3-11	458049,8	495153,3	14,30	0,09	0,85	0,06
CEL11	460544,4	496433,2	69,60	0,43	3,48	0,05
FU10	49024,4	495991,2	34,90	0,27	77,98	2,23
RO10	447726,0	496305,6	35,50	0,18	45,56	1,28
MEA11	452169,9	495233,3				
RI11	457858,7	495258,7				
MAC10	448214,0	496311,9	28,00		28,33	1,01
NE10	448084,9	496330,8	19,60		42,43	2,16
GU10	448886,8	496054,0	26,60	0,20	61,52	2,31
COU10	449550,3	495749,0	36,00	0,68	220,80	6,13

Tableau IVa-1 : Caractéristiques des bassins versants des filandres étudiées

### 2-1-3) Les caractéristiques des filandres

Les filandres, qui constituent la partie chenalisée du système, sont caractérisées par leur longueur, leurs sections transversales, une loi de décroissance logarithmique des sections, la pente des droites de régression des lois de décroissance logarithmiques, la section aval, le profil longitudinal, pente longitudinale, et la cote du fond de la section aval, et la teneur en vase des sédiments.

**La longueur (L) :** Elle est comptée en mètres à partir de l'embouchure jusqu'à la tête de la filandre. Lorsqu'une filandre comporte des embranchements, la branche la plus longue est retenue comme axe principal. La longueur des autres branches est mesurée à partir de la branche principale, qui en constitue le récepteur.

Hormis la Risle, qui est un cas particulier, les longueurs s'échelonnent entre 2256 m (TIGNOL) et 95 m (NETTE) (Tableau IVa-2).

**Le profil en long :** cote du fond de chenal relevée sur le lidar, la pente moyenne de la filandre est un bon indicateur de sa maturité.

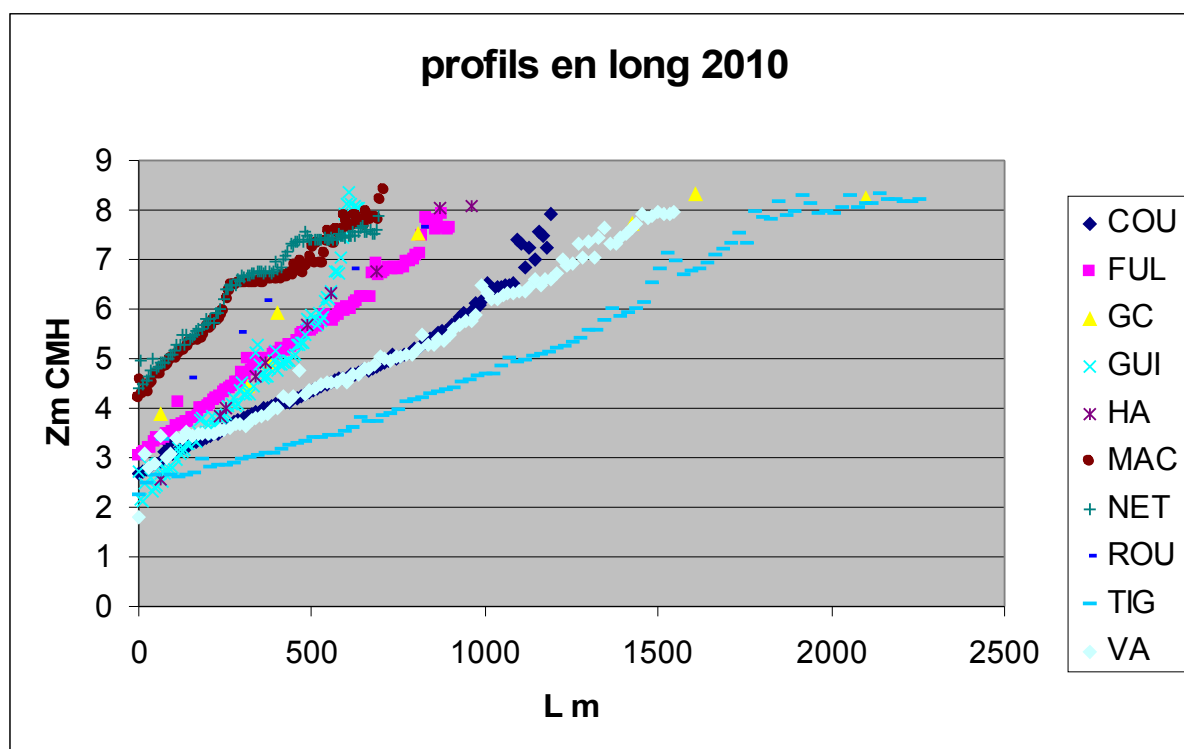


Figure IVa-3 : profils en long des filandres étudiées

On observe que les criques les plus jeunes, en aval du Pont de Normandie, ont des pentes beaucoup plus importantes que les criques en amont du Pont (Figure IVa-3).

Les criques dont la pente (PL) est supérieure à 3,5 (Tableau IVa-2) sont généralement en érosion régressive dans leur partie amont, alors que les criques dont la pente est inférieure sont généralement en sédimentation (photos 1, 2 et 3).

	REGRESSIONS DES PROFILS EN LONG 2004 2010		
FILANDRE	REGRESSION	R <sup>2</sup>	LONGUEUR
ROUSSEROLLE	$y=0.0037X+4.5836$	0,9286	818
NETTE	$y=0.0047X+4.8477$	0,9325	95
MACREUSE	$y=0.0052X+4.5408$	0,9648	707
HARLE	$y=0.0063X+2.4625$	0,9842	963
GUIFETTE	$y=0.0081X+2.0127$	0,9286	633
FULIGULE	$y=0.0052X+3.0394$	0,9904	901
COURLIS	$y=0.0037X+2.6007$	0,9631	1190
GRANDE CRIQUE	$y=0.0022X+4.4068$	0,8267	2099
VASIERE ARTIFICIELLE	$y=0.0034X+2.6919$	0,9842	1546
TIGNOL	$y=0.0029X+2.0062$	0,9753	2256
HODE 2004	$y = 0,0032x + 3,9485$	0,9705	1004
CON 2011	$y = 0,0017x + 5,7816$	0,954	1740
RD1 2004	$y = 0,0053x + 4,4708$	0,9567	430
RD1 2011	$y = 0,0053x + 4,4803$	0,9426	
RD2 2004	$y = 0,0031x + 5,2149$	0,9233	700
RD2 2011	$y = 0,003x + 5,1144$	0,9634	
RD3 2004	$y = 0,0058x + 5,253$	0,9987	450
RD3 2011	$y = 0,0081x + 4,9674$	1	

*Tableau IVa-2 : régression des profils en long des chenaux et longueur. La pente de la droite de régression est un bon indicateur de l'état de maturité de la filandre. La constante de la régression linéaire donne la cote aval de la filandre.*



*Photo IVa-1 : Amont de la crique Harle, en érosion dans le schorre, PL :6,3*



← *Photo IVa- 3 : Grande Crique amont, PL : 2,2*





Photo IVa- 2 : Amont de la crique à connard en sédimentation, PL : 1,7

**Sections transversales (S) :** Ce sont les surfaces des sections transversales en dessous de la cote de 8 m CMH, exprimées en m<sup>2</sup>. Le GIP SA nous a fourni à partir des campagnes LIDAR des profils transversaux, localisés d'un commun accord.

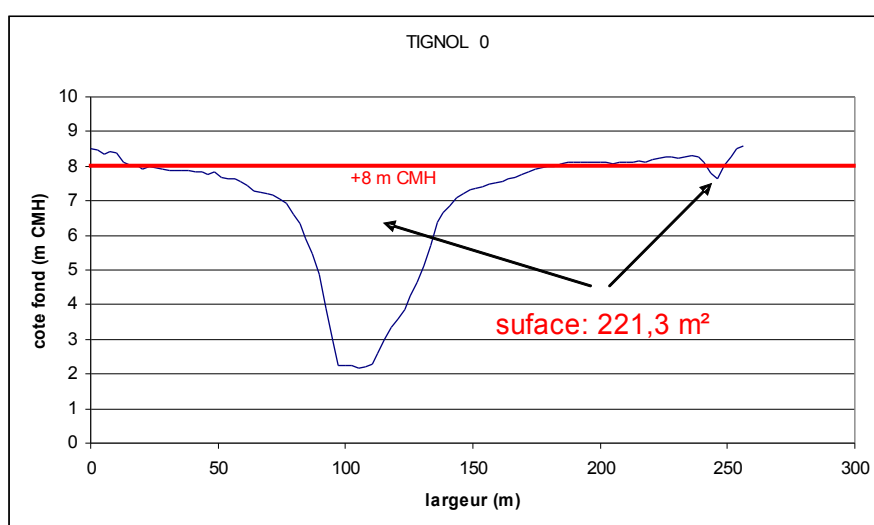


Figure IVa- 4 : Méthode de calcul des sections transversales : Exemple de Tignol.

**Loi de décroissance logarithmique des sections (LogS) :** En fonction de leur distance à l'embouchure (D), les sections transversales obéissent à une loi de décroissance semi-logarithmique linéaire ( $\log_{10}(S)$  en fonction de D). La littérature fait état de lois de décroissance exprimées par des fonctions exponentielles (Tableau IVa-3).

	DECROISSANCE DES SECTIONS ( $\log_{10}(S) = PD + b$ )	
HARLE 2010	$y = -0,0034x + 3,3979$	$R^2 = 0,9249$
G CRIQUE 2010	$y = -0,0019x + 2,4135$	$R^2 = 0,9135$
FULIGULE 2010	$y = -0,0031x + 3,0593$	$R^2 = 0,8583$
COURLIS2010	$y = -0,0022x + 2,998$	$R^2 = 0,9997$
GUIFETTE2010	$y = -0,0039x + 3,6012$	$R^2 = 0,7858$
VA2010	$y = -0,001x + 2,5032$	$R^2 = 0,9837$
TIG2010	$y = -0,0009x + 2,7408$	$R^2 = 0,7791$
ROU2010	$y = -0,0032x + 2,6058$	$R^2 = 0,8393$
NET2010	$y = -0,0048x + 3,1116$	$R^2 = 0,9381$
MAC2010	$y = -0,0055x + 3,2757$	$R^2 = 0,9579$
HODE 2004	$y = -0,0016x + 2,3015$	$R^2 = 0,9172$
CON2011	$R^2 = 0,5948$	
RD1 2004	$y = -0,0024x + 2,0003$	$R^2 = 0,9834$

	DECROISSANCE DES SECTIONS ( $\log_{10}(S)= PD+b$ )	
RD1 2011	$y = -0,0021x + 1,9589$	$R^2 = 0,9946$
RD2 2004	$y = -0,0016x + 1,7666$	$R^2 = 0,9723$
RD2 2011	$y = -0,0014x + 1,7594$	$R^2 = 0,9382$
RD3 2004	$y = -0,0027x + 1,613$	$R^2 = 0,9985$
RD3 2011	$y = -0,0032x + 1,6447$	$R^2 = 1$

Tableau IVa- 3 : Lois de décroissance des sections. Log en base 10 des sections exprimé en fonction de la distance  $x$

Nous avons choisi une loi logarithmique du type  
 $\log_{10}(S)= PD+b$   
 avec  $S$  = Section et  $D$ , la distance à l'embouchure.

Ce qui permet d'accéder plus simplement à la section aval, qu'il n'est pas toujours simple de déterminer. En effet, cette section est souvent constituée d'une brèche renforcée d'enrochements donc de matériaux très différents de ceux de l'amont. Dans le cas de filandres débouchant sur la slikke, il n'est pas toujours facile de déterminer les limites latérales de la section.

Cette section aval peut donc être calculée à posteriori par la relation  
 $S_0=\log_{10}(b)$

Par ailleurs, la pente  $P$  de cette droite (**PLogS**) est un bon indicateur de l'évasement du profil transversal ou de son encaissement. Plus cette pente est faible en valeur absolue, plus la filandre est encaissée.

En effet, les sections n'ont pas la même forme selon les filandres. C'est par exemple le cas des filandres Harle et Tignol (figures IVa-5a et IVa-5b) dont les pentes des lois de décroissance des sections sont respectivement de 3,4 et de 0,9.

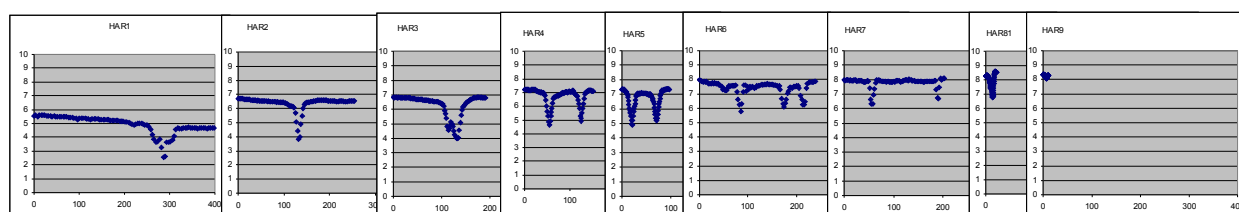


Figure IVa-5a : Sections transversales dans la filandre Harle . PlogS: 3,4

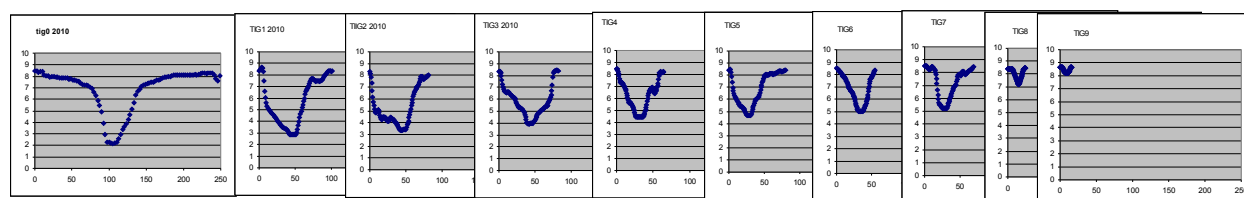


Figure IVa-5b : Sections transversales dans la filandre Tignol. PlogS :0,9

Pour certaines analyses, (qualité de l'eau et des sédiments, hydrologie) la Risle a été assimilée à une filandre, bien qu'elle s'en distingue à la fois par la taille, par un débit amont non négligeable et par le fait qu'elle ne soit pas asséchée à Basse mer.

	L longueur (m)	PL :pente longitudinal e (0/00)	S0 section embouchure (m <sup>2</sup> )	cote cmh embouchure (m )	Plog S (0/00)
HA10	963,00	6,30	2 499,77	2,46	-3,40
GC10	2 099,00	2,20	259,12	4,41	-1,90
VA10	1 546,00	3,40	318,57	2,69	-1,00
TH10	2 256,00	2,60	550,55	2,01	-0,90
HO04	1 004,00	3,20	200,22	3,94	-1,60
CO11	1 740,00	1,70	64,74	5,78	-1,50
RDx	2 205,00	4,70	192,56	4,90	-2,23
RD1-11	687,00	5,30	90,97	4,50	-2,10
RD2-11	1 038,00	3,00	57,46	5,20	-1,40
RD3-11	480,00	5,80	44,13	5,00	-3,20
CEL11	661,00				
FU10	901,00	5,20	1 146,30	3,04	-3,10
RO10	818,00	3,70	403,46	4,56	-3,20
MEA11	1 346,00	1,05	2 120,00	3,00	
RI11	13 650,00			1,70	
MAC10	707,00	5,20	1 886,69	4,50	-5,50
NE10	95,00	4,70	1 293,00	4,80	-4,80
GU10	633,00	8,10	3 992,09	8,10	-3,90
COU10	1 190,00	3,70	995,41	2,60	-1,70

Tableau IVa-4 synthèse des données sur les chenaux. Pour la commodité de lecture, les pentes PL et PLogS sont exprimées en pour mille (‰).

## 2-2) L'alimentation en eau

### 2-2-1) Les débits, les volumes

**Les débits de la Seine** se caractérisent par une absence de crues en 2010 et des débits particulièrement faibles en 2011 malgré deux épisodes de crue en janvier (Figure IVa-6).

**Alimentation amont** : Certaines filandres sont alimentées dans leur partie amont par des apports de la plaine alluviale et des nappes phréatiques des sables fins et de sub-surface. C'est le cas de « Grande Crique », « Vasière Artificielle », « Tignol », dont les têtes sont en contact par des vannes et des clapets, avec les prairies subhalophiles du nord de la route de l'estuaire.

A ce niveau, la circulation de l'eau est commandée par des manœuvres de vannes. La Maison de l'Estuaire est chargée de la régulation des niveaux d'eau dans les prairies subhalophiles suivant un cahier des charges et les décisions du comité des usages de l'eau (voir section sur la gestion hydraulique).

Les volumes engendrés par la gestion des niveaux d'eau sont faibles en regard des volumes d'eau apportés par la marée (de l'ordre de 100 à 1000 fois moins suivant les cas), et n'ont que peu d'influence sur la morphologie des filandres et la qualité des eaux qui y transitent.

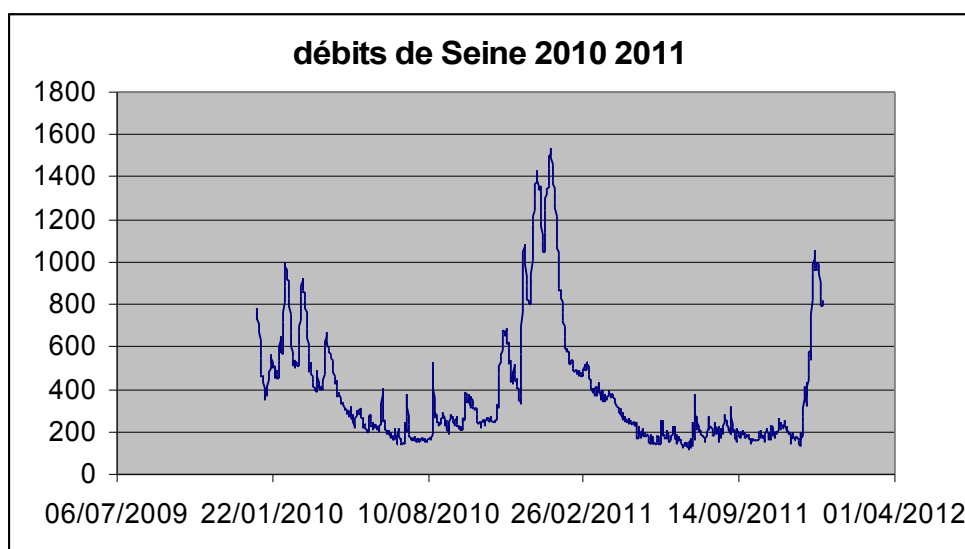


Figure IVa- 6 : Débits moyens journaliers de la Seine mesurés à Vernon en 2010 et 2011

Cependant, cette gestion de l'eau ne peut se faire que si ces criques sont fonctionnelles. Dans un climat toujours très conflictuel, une forte demande émane des usagers (chasseurs, agriculteurs, coupeurs de roseaux) pour que des travaux de curage soient effectués régulièrement. De sorte que la morphologie des parties amont de ces filandres soit complètement artificielle.

Volume Oscillant (VO) et le Volume Oscillant par unité de Surface (VO/S) qui constituent l'apport de la marée, ont été traités dans la section § 2-1-2 ci-dessus.

### 2-2-2) La qualité de l'eau, salinité, O2 dissous

Ces mesures proviennent des laboratoires ULCO et CNAM-intechmer à l'issue de quatre campagnes de prélèvement effectuées pendant le programme DEFHFIS (cf Tableau I-1).

- Juillet 2010
- Février 2011
- Juillet 2011
- Octobre 2011

La salinité est le paramètre le plus structurant pour les espèces animales, benthos, poissons, et végétales, occupation du sol, groupements phyto-sociologiques. C'est le seul paramètre de qualité de l'eau pris en compte dans cette partie de l'étude typologique des filandres.

Notons que les campagnes DEFHFIS ci-dessus ont été menées en pleine mer de vives eaux. Les années 2010 et 2011 sont caractérisées par des débits faibles (figure IVa-6) et une absence de crue significative en 2010. La campagne de mesures de février 2011 s'est déroulée un mois après la crue (très modérée) de janvier 2011. Ces campagnes se sont donc faites dans des conditions hydrologiques particulières.

Les suivis de la qualité de l'eau effectués par la Maison de l'Estuaire portent sur des secteurs situés au nord de la route de l'estuaire, et ne concernent pas les parties marnantes des criques. Cependant, on s'y réfèrera pour replacer dans leur contexte spatio-temporel les résultats de nos campagnes.

codefil	% vases	S%° MOY	O2	T°
HA11	85,974	26,438		16,031
GC11	82,572	23,924	3,294	16,335
VA11	78,44	15,102	2,743	16,78
TI11	74,145	6,326	2,343	14,270
HO11	78,305	5,809	2,327	17,12
CO11	66,851	8,123		17,318
RDx	74,39	3,740	2,063	20,19
RD2-11	76,910	3,179	1,990	
RD3-11	71,869	4,302	2,137	
CEL11		1,87		
CR11	64,376	4,831	2,400	20,327
FU11	83,820	25,061		14,810
ES11	79,221	10,601		15,870
RO11	83,281	25,670		14,818
EC11		20		
MEA11	65,589	21,202	3,590	14,728
RI11	55,617	3,516		18,057

Tableau IVa-5 : Teneur en vases des sédiments (% pondéral de la fraction inférieure à 50µm) et qualité de l'eau moyenne dans les différentes filandres.

### Le temps d'inondation .

Ce temps est donné en ombre d'heures d'inondation effective observées en 2010 au marégraphe de Honfleur par tranches de 20 cm de hauteur d'eau. Ce calcul a été fait par le GIP Seine Aval.

Pour rendre compte des surfaces inondées, ce temps a été multiplié sur chaque bassin versant par les surfaces planes comprises entre les isobathes par pas de 20 cm (donnée fournie par le GIP SA) pour constituer le Temps d'Inondation Surfacingue (**TiS**).

CODEFIL	HA10	GC10	VA10	TI10	HO04	CO11	RDx	CEL11	FU11	RO11	EC11	MAC10	DIGW-10	DIGE-10
TiS	1,957	1,573	4,447	4,441	0,354	0,109	0,212	0,017	1,647	0,776	3,540	0,490	0,036	0,014

Tableau IVa-5b : temps d'inondation surfacingue (**TiS**) des bassins versants : c'est le temps d'immersion entre deux cotes bathymétriques multiplié par la surface plane occupée par ces cotes sur chaque bassin versant.

Ce paramètre varie en fonction de l'altitude des terrains et de la marée. C'est un facteur *a priori* important pour les organismes vivants, végétaux ou animaux. Il est représentatif du temps pendant lequel un poisson pourra exploiter une filandre, ou encore du temps pendant lequel la végétation sera submergée. Bien que ce temps moyen ne soit pas représentatif de conditions stationnelles particulières, il permet de comparer des filandres entre elles et constitue une caractéristique générale du bassin versant un peu différente mais analogue au volume oscillant.

## 2-3) L'occupation du sol

### 2-3-1) Cartographie de l'occupation du sol

La Maison de l'Estuaire a réalisé une cartographie de l'occupation du sol en 2008 sur la Réserve Naturelle de l'Estuaire de la Seine. La situation a peu changé en 2010 et ces données ont été utilisées pour être croisées avec les autres jeux de données.

Les sept classes utilisées sont les suivants : Slikke, filandre, schorre, phragmitaie, mégaphorbaie, prairies, plans d'eau.

Le croisement de la cartographie des habitats avec les limites des bassins versants a permis de calculer pour chacun d'eux des pourcentages d'occupation du sol (tableau IVa-6).

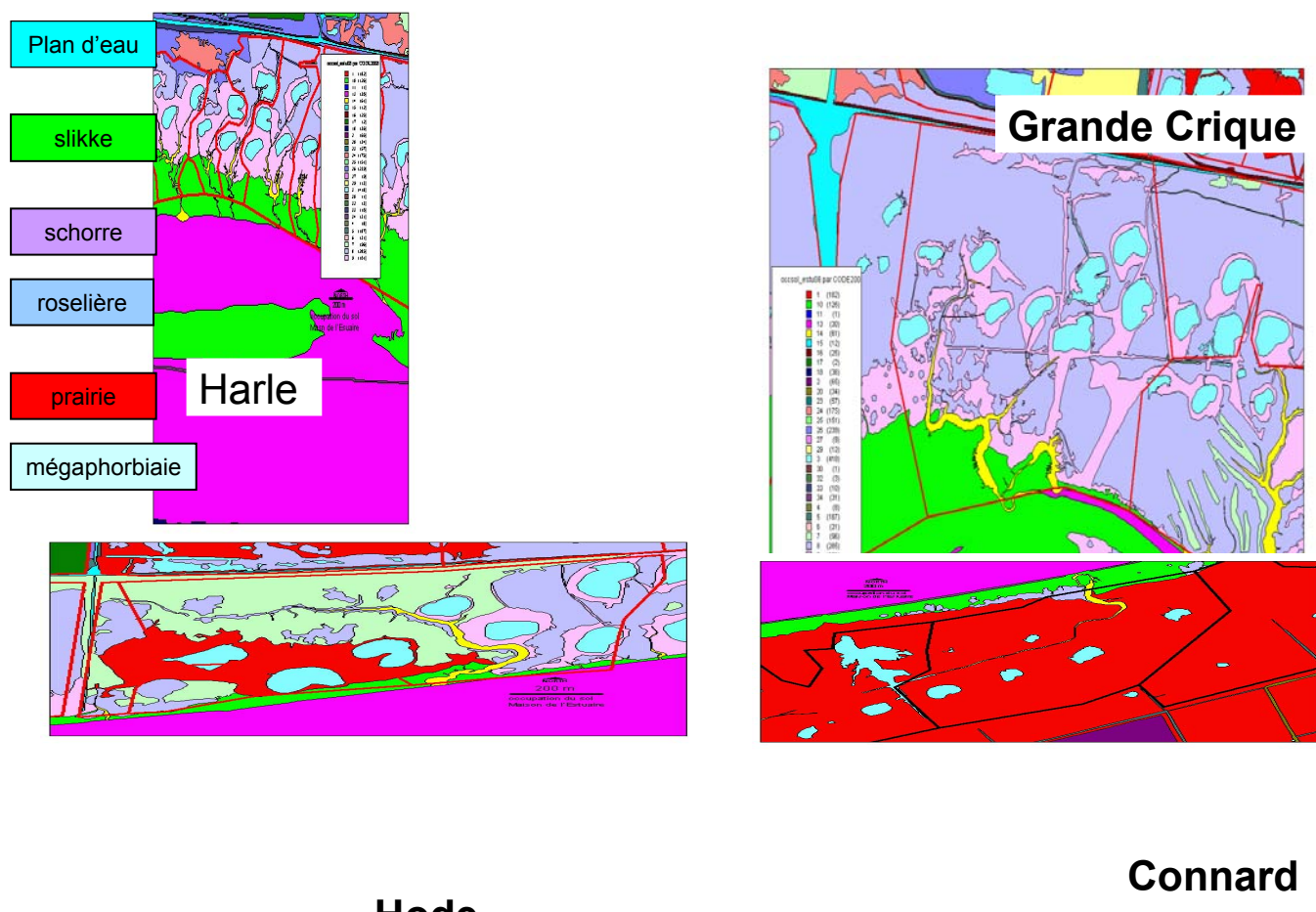


Figure IVa-7 : Comparaison de l'occupation du sol sur les bassins versants des criques Harle, Grande Crique, Hode et Connard en 2008.

Ces classes ne représentent pas des habitats stricto sensu, mais reflètent à la fois une structure de végétation, une sensibilité à l'hygromorphie des sols, à l'inondation, à la salinité, et répondent à des modes de gestion anthropique identifiables.

Les bassins versants de l'aval, comme Harle, sont dominés par le schorre, et comportent un pourcentage de vasières (slikke et filandre) relativement important. Grande Crique, Vasière Artificielle et Tignol sont caractérisées par la roselière. Hode est surtout concernée par la mégaphorbaie, alors que les filandres de la rive sud (Connard, criques de la Risle) sont majoritairement occupées par de la prairie (Tableau IVa-6).

code	HA10	GC10	VA10	TI10	HO10	CO10	RDx
%plan_d'eau	13	7	4	7	12	4	10
%prairie	0	0	0	0	11	<b>92</b>	<b>89</b>
%megaphorbiaie	0	0	4	13	<b>40</b>	0	0
%phragmitaie	31	<b>55</b>	<b>58</b>	<b>59</b>	21	1	0
%schorre	<b>37</b>	25	25	15	10	0	0
%slikke	16	9	5	2	3	1	0
%filandre	3	3	4	4	3	1	0

Tableau IVa- 6 : Pourcentage d'occupation du sol sur les principaux bassins versants

Ces différents modes d'occupation du sol peuvent avoir une incidence sur les fonctions écologiques qui s'exprimeront au niveau de ces bassins versants, mais également sur les fonctions hydro-morphologiques (circulation de l'eau, stabilité des berges, stockage/destockage des vases...) et biochimiques (nitrification/dénitrification, source/puits de carbone, piégeage des métaux...).

### 2-3-2) Etude diachronique, évolution de l'Occupation du Sol

Une étude a été faite par la Maison de l'Estuaire à partir de l'interprétation de photos aériennes de 1966 à 2008 sur la partie nord de l'estuaire. Elle permet de visualiser la formation et l'évolution des filandres, sur plus de 45 ans, et l'occupation du sol correspondante (voir § 4-1 ci-dessous).

### 2-4) Les activités humaines

Le SIG de la Maison de l'Estuaire permet de cartographier différentes activités humaines et de les rapporter aux différents bassins versants (figures IVa-8 et IVa-9). Ces activités sont les suivantes :

- La chasse : cartographie des mares et des fossés d'alimentation en eau, cartographie des fauches autour des installations, des travaux d'entretien en 2010 et des travaux de défense contre l'érosion des filandres.
- L'exploitation des roseaux : cartographie des secteurs exploités pendant la saison 2009.
- L'agriculture : cartographie des secteurs de fauche, de pâturage et de regain, cartographie des secteurs de gestion de la roselière par le pâturage en 2010.
- Cahier des charges des niveaux d'eau en amont de chaque bassin versant, mesures des niveaux d'eau, date des manœuvres des vannes (voir section sur la gestion hydraulique).
- Travaux hydrauliques sur les différents bassins versants, entretien des fossés et des diguettes, installation de vannes et de buses entre 2001 et 2010.
- Travaux de réfection des digues par le GPMR, notamment à l'embouchure des filandres entre 2003 et 2005.
- Travaux liés à Port 2000 et ses mesures d'accompagnement dans la Fosse Nord.



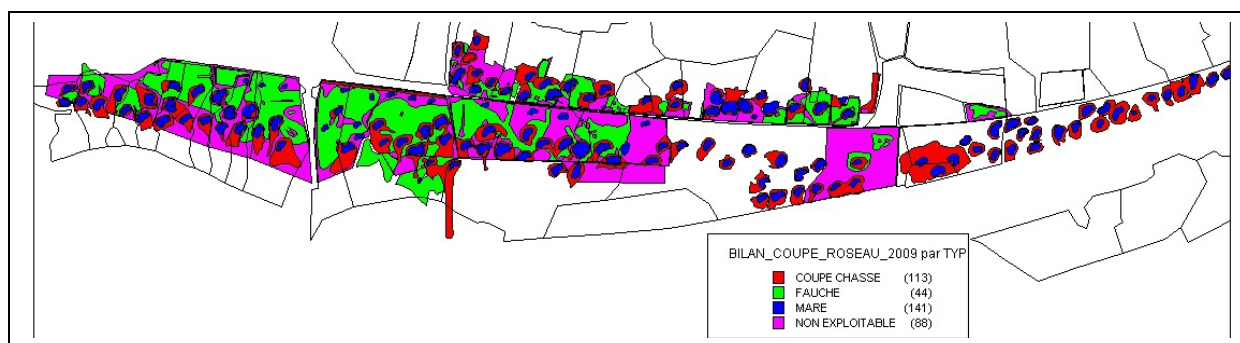


Figure IVa-8 : Fauche de la roselière par les exploitants de roseau et les chasseurs, localisation des mares de chasse sur les bassins versants des filandres (saison 2009-2010).

codefil	%surf coupée	%surf_paturé	%surf fauchée
HA10	46	0	0
GC10	61	0	0
VA10	8	31	0
TI10	13	7	0
HO04	31	57	0
CO11	0	50	39
RDx	0	63	33
FU10	34	0	0
RO10	38	0	0
MAC10	58	0	0
NE10	42	0	0
GU10	44	0	0
COU10	45	0	0

Tableau IVa-7 : pourcentage de la surface de chaque bassin versant concerné par les fauches de roseau, le pâturage et la coupe autour des mares de chasse.

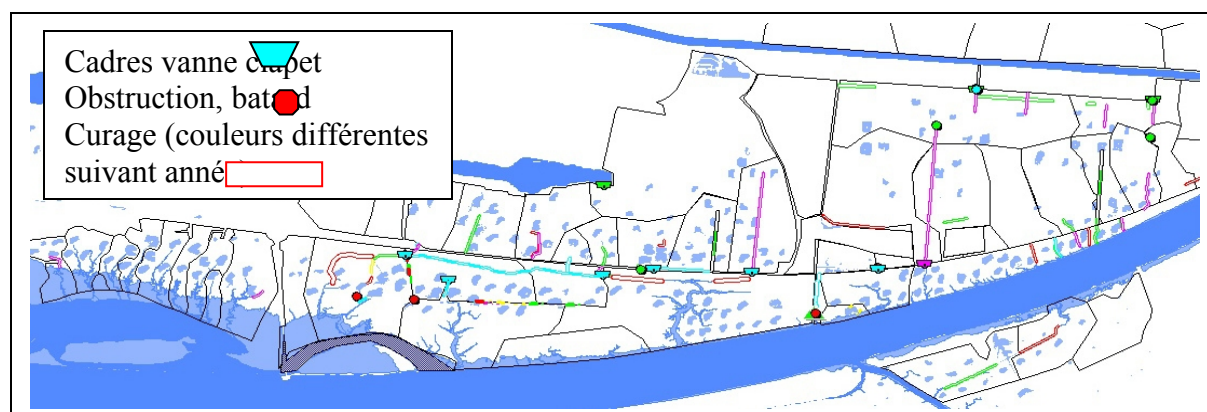


Figure IVa-9 : localisation des travaux hydrauliques sur les différentes criques entre 2003 et 2010

La restauration des digues de calibrage de la Seine a fait l'objet d'une concertation entre le Port Autonome de Rouen, la DIREN, le Parc Naturel Régional des Boucles de la Seine Normande, la Cellule de Suivi du Littoral et la Réserve Naturelle de l'Estuaire de la Seine pour aménager des brèches au droit des filandres (Tableau IVa-8 et figures IVa-10 à 12).



NOMS	Profondeur Z actuelle CMH	Largeur de l'ouverture Côté +6 CMH	PROJET		Phase travaux		Phase exploitation
			Profondeur Zp de l'ouverture (CMH)	Ouverture	Année	Franchissement	
Crique à Tignol	2m	40m à +5 CMH	Sans seuil	Agrandissement de 20m - Augmentation de 30% de la section hydraulique Ouverture secondaire de 10m de largeur	2004	Franchissement non recommandé	Absence de seuil. Largeur étendue à 60m à la cote +5 m
F1	5,3m	10m	5 m	Maintenue en l'état	2004	Franchissement	Franchissement ; seuil à +5m
F2	4,9m	15m	5 m	Maintenue en l'état	2004	Franchissement	Franchissement ; seuil à 5m
C1	4,4m	20m	4,5m	Agrandissement 5m - Augmentation de 20% de la section hydraulique	2004	Franchissement avec ou sans buse	Enlèvement des buses et franchissement possible à +4,5m .
C2	4,4m	20m	4,5m	Maintenue en l'état	2004	Franchissement avec ou sans buse	Franchissement ; seuil à +4,5m .
F3-F4	5,3m	10m à +5,5CMH	5,5 m	Radier commun	2004	Franchissement	Franchissement - seuil à + 5,5m .
Crique du Hode	3,6m	60m à +6CMH	Sans seuil	Agrandissement de 5m - Augmentation de 40% de la section hydraulique Ouverture secondaire de 10m de largeur	2004 (coté Ouest) 2005 (coté Est)	Franchissement non recommandé	Absence de seuil. Largeur étendue à 60m à la cote 6m
F5	5,1m	15m à +5,5CMH	5 m	Maintenue en l'état	2005	Franchissement	Franchissement ; seuil à + 5m
F6	5,2m	15m à +5,5CMH	5 m	Maintenue en l'état	2005	Franchissement	Franchissement ; seuil à + 5m
F7	5,1m	15m	5 m	Maintenue en l'état	2005	Franchissement	Franchissement possible ; seuil à + 5m
C3	4,5m	20m	4,5m	Agrandissement 10m à +6 CMH . Augmentation de 50% de la section hydraulique	2005	Franchissement avec ou sans buse	Butée de pied rendant la crique infranchissable. - Possibilité d'intervention avec F5
F8	5,2m	15m à +5,5CMH	5m	Maintenue en l'état	2005	Franchissement	Franchissement du filandre en arrière de 10m ; seuil à +5m .
F9	5,4m	12m à +5,5CMH	5,5m	Maintenue en l'état	2005	Franchissement	Franchissement du filandre en arrière de 10m ; seuil à +5,5m ..
C4	4,7m	18m à +5,5CMH	4,5m	Agrandissement 5m Augmentation de 20% de la section hydraulique	2005	Franchissement avec ou sans buse	Enlèvement de la buse Franchissement de la crique en arrière de 10m ; seuil à +4,5m .

Tableau IVa-8 : Restauration des digues du PAR : Franchissement des filandres et incidence des travaux.

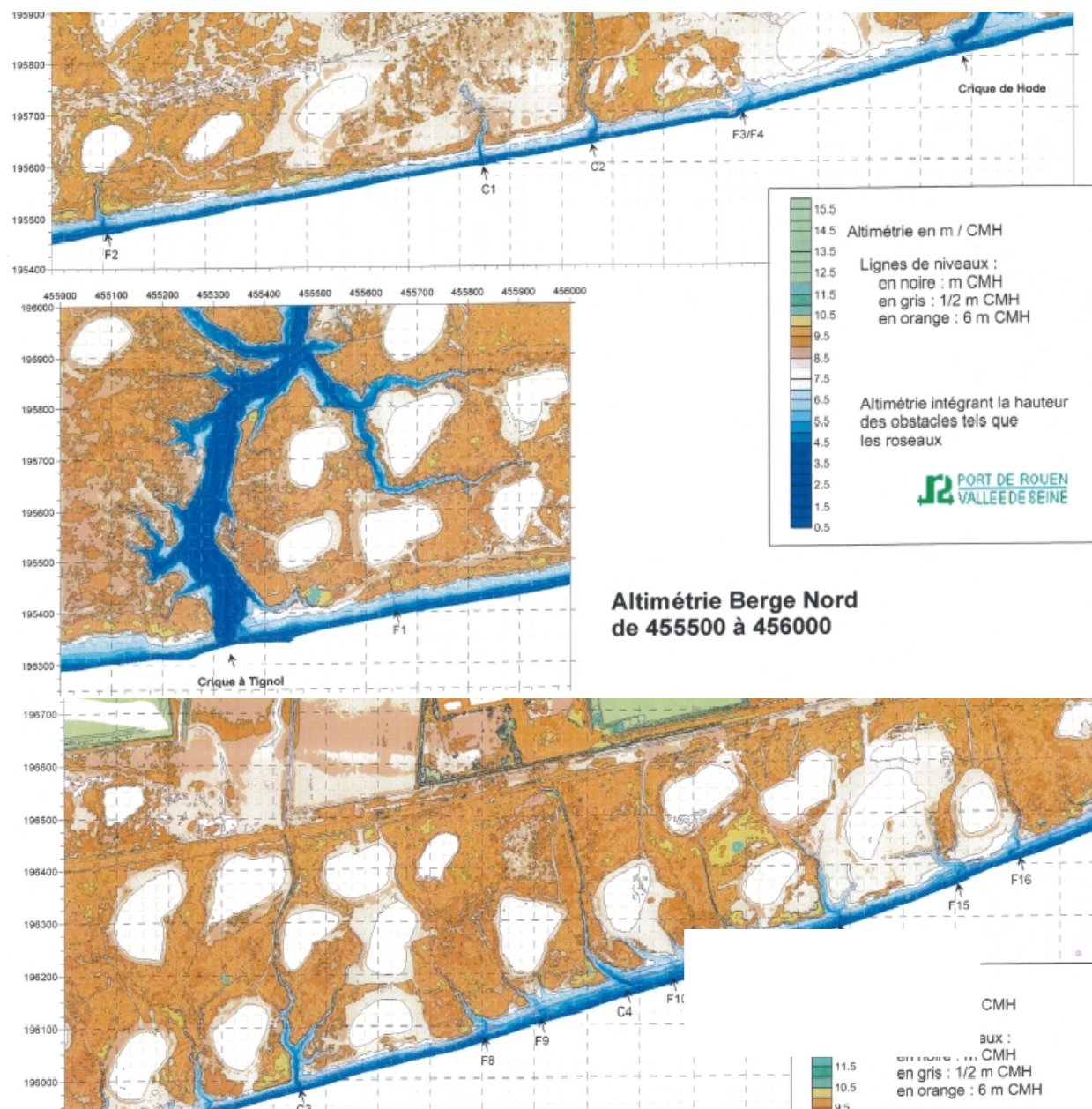


Figure IVa-10 Réfection des digues du PAR, localisation des travaux de franchissement des filandres sur la rive nord.

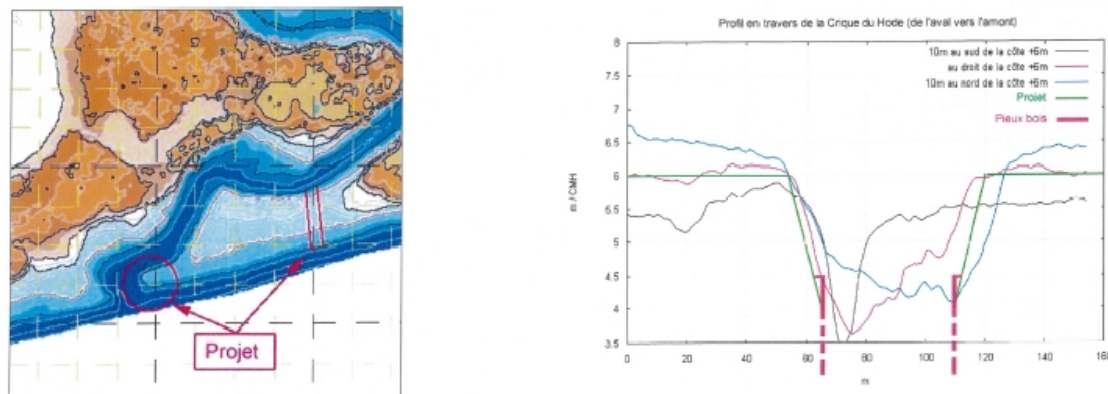


Figure IVa-11 Réfection des digues du PAR, franchissement de la filandre du Hode.

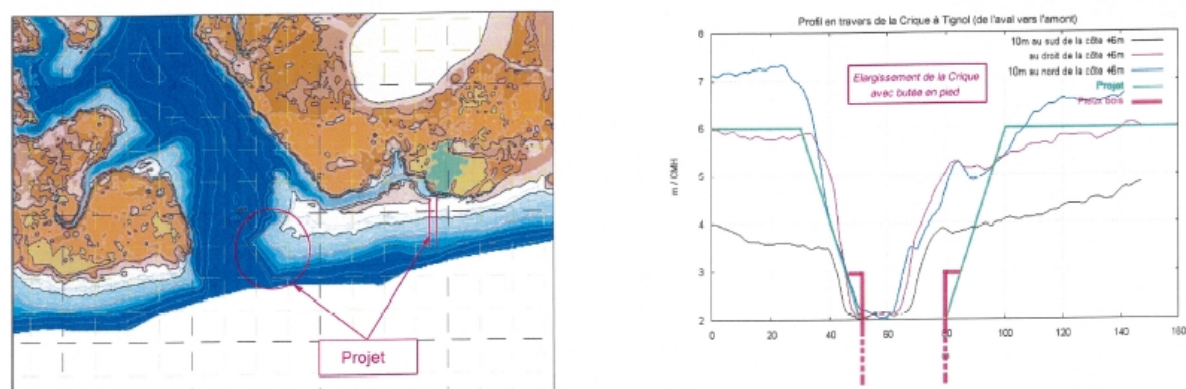


Figure IVa-12 : Réfection des digues du PAR, franchissement de la crique à Tignol.

La répartition de ces activités humaines est assez différente suivant les bassins versants. Certaines de ces activités impactent directement la morphologie des filandres (curages de creux, création de mares, protection contre les érosions), d'autres interviennent indirectement à travers un effet sur la couverture végétale (pâturage, fauche) qui a elle-même un impact sur la circulation de l'eau sur le bassin versant, la structuration des berges (consolidation par les racines, fragilisation par le piétinement...) et le piégeage des MES.

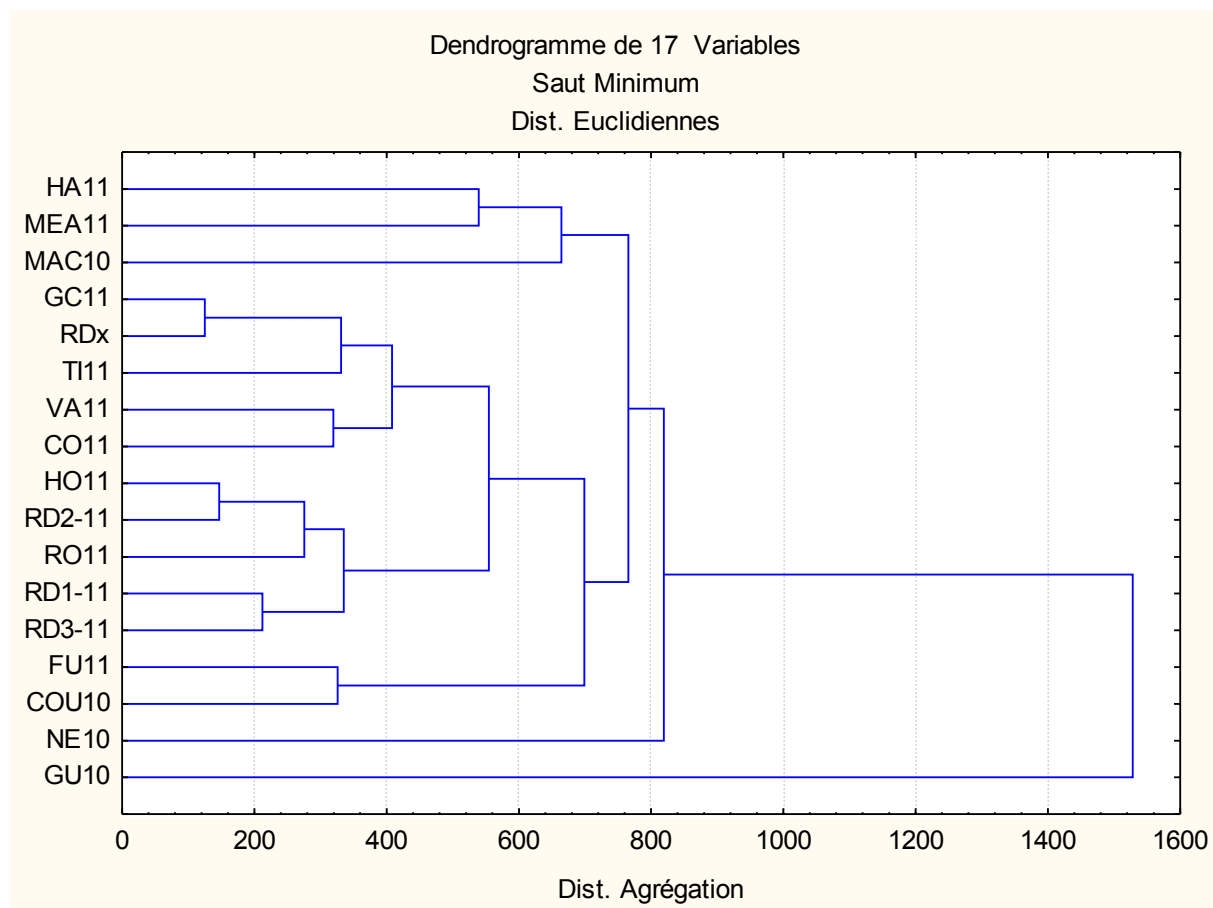
Il n'est pas possible d'identifier individuellement l'incidence de ces paramètres, mais il est possible de dégager des interactions et des covariances.

### 3) Eléments de typologie

#### 3-1) Paramètres hydro-morphologiques des bassins et des chenaux

##### 3-1-1) Typologie des filandres

Les variables hydro morphologiques décrites ci-dessus permettent de faire une première typologie des filandres. Une Classification Hiérarchique Ascendante a été faite en utilisant les paramètres suivants : la longueur (L), la pente longitudinale (PL), la section à l'embouchure (S0), et la cote topographique à l'embouchure (Zm0), la pente de la loi log des sections (PLogS), le volume (V), le volume oscillant (VO), et le rapport VO/S, le pourcentage en vase des sédiments ( $\leq 50\mu$ ), la salinité (S ‰) et le temps d'immersion (TiS).



*Figure IVa-13 : Classification Ascendante Hiérarchique sur les indicateurs hydro morphologiques*

Ces paramètres permettent une première classification des filandres.

### 3-1-2) Corrélations entre paramètres morphologiques des bassins et des chenaux

Le croisement entre paramètres hydro-morphologiques des bassins et des chenaux permet d'établir des relations fonctionnelles entre différents éléments du système « filandre ».

		chenal				bassin versant			
		G	L	PL	PlogS	S	V	VO	VO/S
G			0,1	0,3	0,6	0,0	0,1	0,1	0,2
L(m)				0,4	0,7	0,7	0,5	0,4	0,0
PL					0,5	0,2	0,4	0,3	0,4
PlogS						0,6	0,6	0,6	0,0
S							0,3	0,2	0,1
V								0,5	0,1
VO									0,4
VO/S									

Figure IVa-14 : corrélation entre les paramètres morphologiques étudiés

Dans le chenal, PlogS est bien corrélé à la longueur et à la pente (Figure IVa-14). Plus le chenal est court, plus sa pente est importante et plus PlogS augmente. Par ailleurs, ce paramètre est corrélé à la longitude (Figure IVa-15).

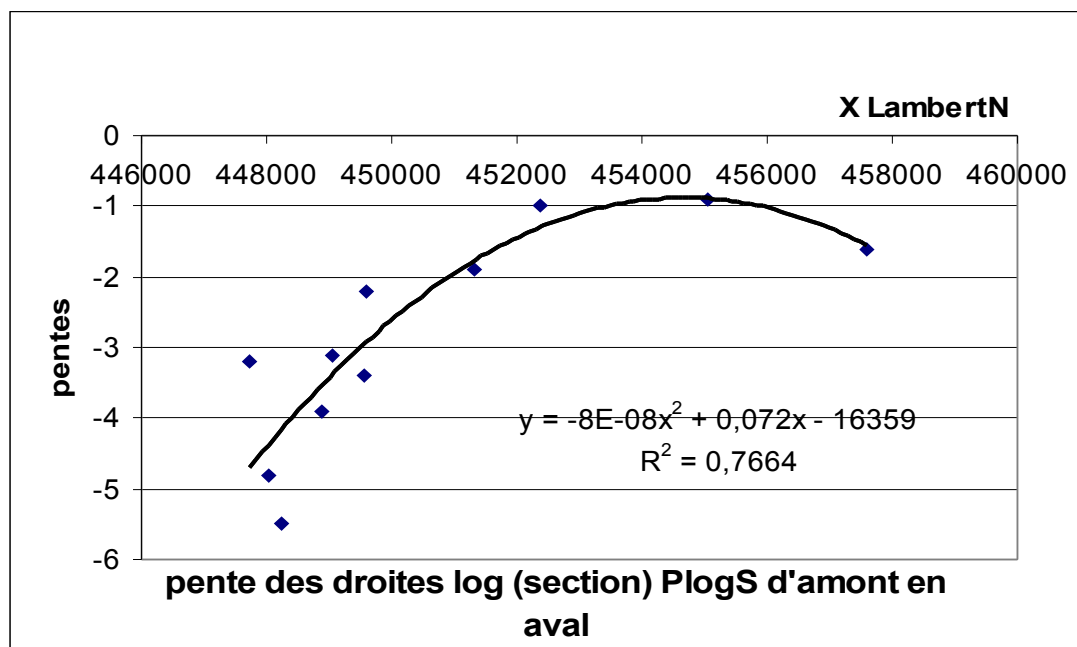


Figure IVa-15 : Corrélation entre PlogS et la position amont/aval des filandres

Les sections sont de plus en plus encaissées quand on remonte en amont de l'estuaire. La relation suggère l'existence d'un maximum d'encaissement au niveau du Hode qui nécessite d'être confirmé par l'étude des filandres situées en amont de Tancarville. Cette limite correspond à celle des secteurs

Sur le bassin, le volume oscillant (VO) est corrélé au volume (V) et dans une moindre mesure au rapport VO/S.

Les paramètres du bassin versant les plus structurants pour le chenal sont la surface (S), le volume (V) et le volume oscillant (VO), corrélés à la longueur (L) et à l'encaissement (PlogS).

Il n'y a pas de relation entre PlogS et VO/S, ce qui suggère que l'évasement de la filandre est indépendant de l'altitude du bassin versant.

De même il n'y a pas de relation claire entre la section aval et le volume oscillant ce qui est assez surprenant. Il semble que les filandres aval (GUI, HA, MAC, NET, FUL, ROU) qui débouchent toutes dans la Fosse Nord, aient des sections aval beaucoup plus importantes que les filandres amont, (VA, GC, TI) dont la section aval est contrainte par des brèches dans les digues, protégées de l'érosion par des enrochements.

### **3-2) Morphologie, occupation du sol et activités humaines**

#### **3-2-1) Croisements entre les paramètres morphologiques et l'occupation du sol**

Le croisement entre les paramètres hydro-morphologiques et l'occupation du sol fait apparaître des paramètres très structurants vis-à-vis des habitats spécifiquement estuariens que sont la slikke, le schorre, la phragmitaie et les filandres. Pour ces milieux, la longitude (G) qui rend compte de la position amont aval (l'estuaire étant orienté Est/Ouest), la salinité moyenne ( $S_{\text{‰}}$ ), le temps d'immersion surfacique (TiS) et le rapport VO/S (en relation avec l'altitude des terrains), sont des paramètres clé. Ces derniers paramètres ne sont pas influencés par la nature de l'occupation du sol. Mais à l'inverse celle-ci est étroitement dépendante de ces paramètres.



	%megaph	%prairie	%phrag	%schorre	%slikke	%filand	
G	0,2	0,6	0,9	1,0	0,8	0,7	Paramètres indépendants de l'occupation du sol mais occupation du sol dépendante de ces paramètres
TiS	0,0	0,4	0,4	0,9	0,9	0,8	
VO/S	0,4	0,3	0,8	0,8	0,5	0,9	
VO	0,3	0,7	0,6	0,7	0,5	0,8	
S%° MOY	0,1	0,3	0,4	0,8	0,9	0,3	
S_0	0,0	0,2	0,6	0,5	0,7	0,6	Influence possible de l'occupation du sol sur la morphologie
Zm 0 cmh	0,0	0,7	0,5	0,5	0,2	0,7	
% < 50 µ	0,0	0,5	0,2	0,8	0,7	0,3	
Plog_S	0,1	0,0	0,1	0,1	0,5	0,6	
L (m)	0,2	0,4	0,0	0,2	0,3	0,1	
S (ha)	0,0	0,1	0,5	0,0	0,1	0,2	Pas d'influence
PL 0/00	0,2	0,0	0,0	0,2	0,3	0,0	
V	0,3	0,1	0,1	0,0	0,2	0,1	
%EAU	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,0	Plan d'eau facteur anthropique (mares de chasse et abreuvoirs)
%EAU	SANS RIVaE SUD		0,8				

Tableau IVa-10 : corrélations entre les paramètres hydro morphologiques et l'occupation du sol.

La longueur (L), la pente du chenal (PL), la surface (S) du bassin et son volume (V) ne sont pas corrélés à l'occupation du sol.

La surface des plans d'eau est bien corrélée à la roselière, si les prairies de la rive sud sont retirées de la relation. Cependant, ces plans d'eau sont pour l'essentiel constitués de mares de chasse dont l'origine est anthropique. D'un point de vue hydrologique ces rétentions d'eau ne participent pas au volume oscillant, mais jouent un rôle important du point de vue écologique. Le paramètre PlogS est bien corrélé avec les milieux de slikke et de filandres, et non corrélé aux autres modes d'occupation du sol. Comme on l'a vu précédemment, ce paramètre est bien représentatif de l'évasement ou de l'encaissement des sections transversales.

Cependant, les pentes des chenaux dépendent de la teneur en eau (rigidité ?) des vases et de leur composition minéralogique. La teneur en eau varie, entre autre, en fonction du temps d'immersion, donc de l'altitude des terrains, paramètre dont dépend également la colonisation par la végétation. La composition minéralogique (teneur en argiles notamment) joue également sur la cohésion des vases et les pentes d'équilibre.

Nous avançons l'hypothèse que la végétation intervient également dans la structuration des berges (racines, stolons) et le ralentissement des courants dans la couche limite au-dessus des sols végétalisés. Par ailleurs cette végétation ralentit les échanges d'eau et est un facteur d'amortissement de la restitution du volume oscillant du bassin versant. C'est en particulier le cas de la roselière. Enfin, la végétation favorise la sédimentation des MES sur le bassin versant.

### 3-2-2) Relations entre les activités humaines, l'occupation du sol et la morphologie

Les activités agricoles, fauche et pâturage des prairies et de la roselière, ou liées à l'entretien des mares de chasse, curages, fauche des bordés, ont une incidence majeure sur la structure de la végétation, et interviennent donc sur la circulation de l'eau à la surface des terrains.

Ces activités sont très inégales suivant les bassins versants. Les données de la Maison de l'Estuaire ont permis de calculer les surfaces des bassins versants concernées, exprimées en pourcentages de la surface totale (Tableau IVa-11).

Les surfaces fauchées et coupées ont été regroupées sous une même rubrique, car à l'échelle de notre analyse, leur effet sur la structure de la végétation est analogue.

	%COUPE+%FAUCHE				%PATURE	
	avec GC		sans GC			
L	y = -0,0068x + 46,433	R2 = 0,0934	y = -0,0127x + 50,836	R2 = 0,3505	y = -0,0163x + 69,937	R2 = 0,1368
PL	y = 1,9963x + 29,541	R2 = 0,0544	y = 3,8164x + 19,297	R2 = 0,2241	y = 7,8291x + 17,069	R2 = 0,1457
S0	y = 0,0045x + 33,112	R2 = 0,1201	y = 0,0061x + 29,105	R2 = 0,2644	y = -0,1088x + 70,368	R2 = 0,7744
Zm0	y = 3,55x + 23,252	R2 = 0,1524	y = 3,3505x + 22,207	R2 = 0,1731	y = 12,011x - 4,9166	R2 = 0,6738
PlogS	y = -6,1241x + 21,578	R2 = 0,3481	y = -7,0797x + 16,623	R2 = 0,5794	y = -37,532x - 12,8	R2 = 0,7865

*Tableau IVa-11 : corrélations entre les activités de fauche, de coupe et de pâturage et les caractéristiques morphologiques des chenaux des filandres.*

Les corrélations entre les activités et les caractéristiques des filandres (tableau IVa-11) suggèrent que la fauche et le pâturage peuvent avoir des effets sur la morphologie des chenaux.

La coupe et la fauche ne sont pas corrélées à la longueur du chenal, à sa pente, pas plus qu'à sa section aval ou au niveau topographique de l'exutoire. La relation n'est pas bonne avec PlogS ( $R^2 = 0,3481$ ) mais est notablement améliorée si les valeurs de GC (Grande Crique) sont retirées du jeu de données ( $R^2 = 0,5794$ ).

Comme on l'a vu précédemment, cette filandre a fait l'objet de nombreuses interventions : des curages répétés ont eu lieu de 2001 à 2004 dans sa partie amont (figure IVa-9), et cette filandre a été interceptée par le dragage du méandre amont en 2005 qui a diminué sa longueur de plus de 1500 m, et a complètement modifié sa section aval. Toute la partie amont de son cours est bordée de bourrelets de curage qui entravent les échanges d'eau. En amont, la gestion des vannes qui alimentent la tête de filandre, a été modifiée entre 2004 et 2010. Cette artificialisation plus importante que celle des autres criques, justifie dans une certaine mesure qu'elle soit mise à l'écart.

La fauche est alors corrélée à l'évasement des filandres. Plus la surface fauchée est importante, plus l'évasement est important. L'interprétation qui peut en être faite est que la fauche améliore la circulation de l'eau sur les bassins versants végétalisés et contribue à une restitution plus rapide et complète du volume oscillant à chaque marée. Cet effet est saisonnier ne se fait pas sentir toute l'année.



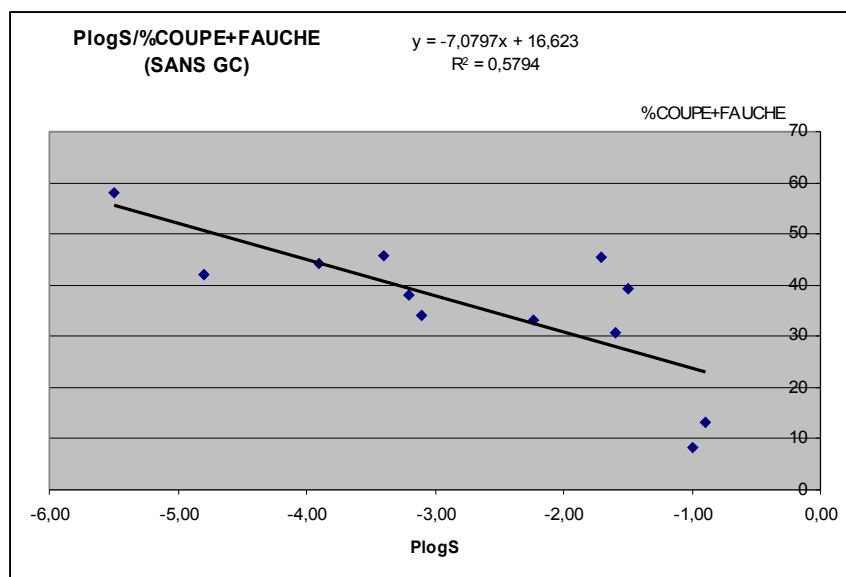


Figure IVa-16 : corrélation entre le pourcentage de la surface du bassin versant fauché ou coupé et PlogS (indicateur d'évasement du chenal)

Sur les bassins versants pâturés, la pression de pâturage est exprimée par le pourcentage de la surface du bassin versant concerné.

Cette pression de pâturage est corrélée à S0 (section aval), Zm0(cote bathymétrique de l'exutoire) et PlogS (encaissement du chenal) (Tableau IVa-9).

Ces corrélations deviennent très significatives pour Zm0 et PlogS avec des régressions polynomiales (figures IVa-17 et IVa-18). Plus le bassin versant est pâturé, plus les sections sont évasées. Les hypothèses avancées sont que le pâturage a un fort impact sur la structure de la végétation, probablement plus marqué que la fauche, car il dure plus longtemps dans la saison. De plus, le piétinement des animaux qui viennent s'abreuver dans les filandres, déstabilise les rives. L'effet du pâturage sur la morphologie des criques est donc plus marqué que la fauche.

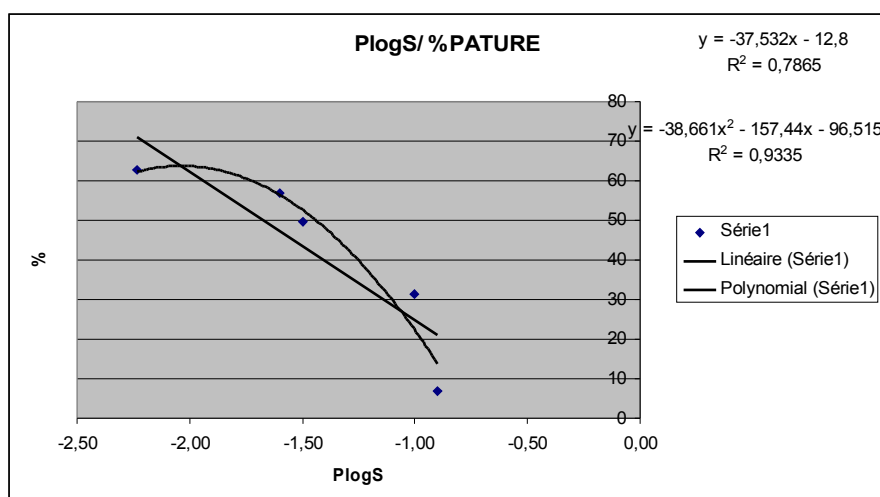


Figure IVa-17 : corrélation entre le pourcentage de la surface du bassin versant pâturé et PlogS (indicateur d'évasement du chenal).

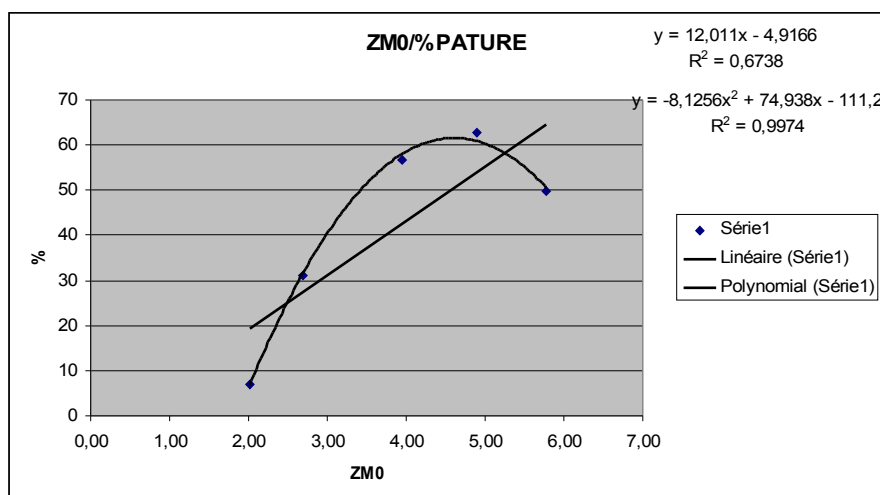


Figure IVa-18 : corrélation entre le pourcentage de la surface du bassin versant pâturé et la section aval du chenal.

D'autres facteurs anthropiques interviennent sur la morphologie des filandres :

**- Les endiguements** : Les filandres qui débouchent en Seine ont pour section aval des brèches dans la digue de calibrage du chenal de la Seine (figures IVa- 10 à 12). Lors de la restauration des digues, entreprise entre 2003 et 2005, ces brèches ont été maintenues au droit des filandres, mais les sections ont été faites de façon empirique, sans calcul hydraulique précis. Ces brèches ont été protégées par des enrochements inaffouillables (sauf Tignol et le Hode, dont les fonds peuvent être affouillables).

Ces points bas conditionnent en partie la morphologie de la filandre en amont. Les filandres suivantes sont concernées : Vasière Artificielle, Tignol, Connard, Estacade, Hode, ainsi que les criques débouchant dans la Risle, RD1, DR2 et RD3.

Les paramètres liés au niveau bathymétrique de l'embouchure Zm0 sont : PL, L, PlogS

#### - Le curage des criques : Exemple de la Grande Crique

Les curages sont des interventions artificielles sur la morphologie des filandres, qui ne répondent plus alors aux relations entre les paramètres hydro-morphologiques.

De plus, ces travaux entraînent la constitution de bourrelets de curage qui perturbent la circulation de l'eau entre le bassin versant et le chenal. Ces curages sont faits ou bien pour gérer les niveaux d'eau dans les prairies subhalophiles du nord de la route de l'estuaire, ou bien pour alimenter en eau des mares de chasse.

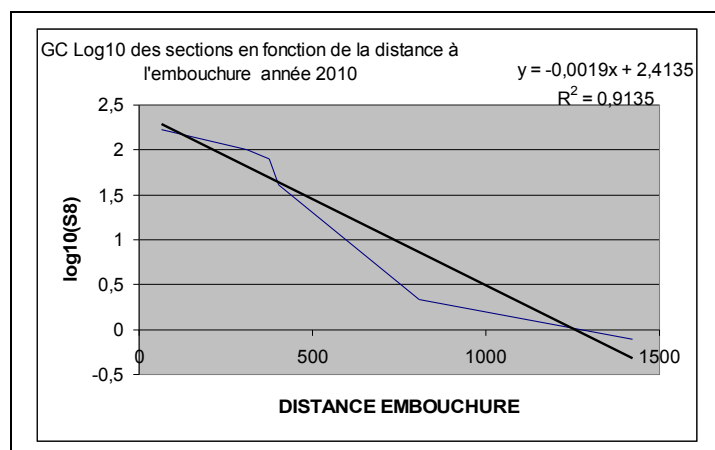


Figure IVa-19 : Grande Crique, logarithme des sections en fonction des distances à l'embouchure en 2010.

La figure IVa-17 montre que dans la Grande Crique en 2010, la loi de décroissance des sections n'est pas bien respectée. A l'aval (côté gauche de la courbe), les sections sont plus importantes que prévu par

la régression. Elles sont en cours d'érosion régressive à la suite du dragage du méandre environnemental en amont du Pont de Normandie. En amont (partie droite de la courbe), les sections en dessous de 8 m deviennent excédentaires. Elles ont fait l'objet de curages répétés de 2003 à 2007 (cf carte des travaux fig.IVa-7). L'objet de ces curages est de permettre l'alimentation en eau des diguettes, des prairies subhalophiles et de 17 mares de chasse. La gestion de la partie ouest des prairies subhalophiles ne peut se faire que si la Grande Crique est fonctionnelle ce qui n'est plus le cas naturellement. Il s'agit en effet de gérer les niveaux d'eau dans ces prairies mais également d'y apporter du sel et de permettre la circulation d'espèces comme les épinoches (*Gasterosteus aculeatus*) et la crevette blanche (*Palaemonetes varians*), qui sont des ressources trophiques importantes pour l'avifaune.

#### **- Les mares et les rétentions d'eau**

Le curage des criques et des mares crée des points d'eau. Ces rétentions d'eau ne participent pas au volume oscillant et n'ont donc pas de fonction hydraulique, mais leur fonction écologique est importante.

Sur les bassins versants des différentes criques les mares remplies par la marée constituent des points d'eau permanents et sont des habitats en soi colonisés par une flore et une faune spécifique. Ce sont également des refuges qui permettent à la faune aquatique des filandres de se maintenir à marée basse et de se reproduire. Ces réservoirs sont connectés aux filandres temporairement et permettent à des insectes aquatiques, la crevette blanche (*P. varians*), les épinoches (*G. aculeatus*, *P. pungitius*) et des gobies de circuler dans le réseau. Ces espèces qui constituent des ressources trophiques importantes, sont tributaires des mares et des filandres, à tel point que la Maison de l'Estuaire entretient un réseau d'anciennes mares de chasse à des fins non cynégétiques. Le nombre de ces mares dépasse 250 et constitue donc une caractéristique importante de ce milieu.

Le cours de certaines filandres peut également être modifié pour protéger des gabions de chasse contre les érosions. C'est le cas sur les criques Rousserole, Courlis et Grande Crique (cf figure IVa-7 : carte des travaux) et également Connard où des merlons de terre ont été constitués par les chasseurs aux endroits où l'érosion des criques menaçait leurs installations.

## **4) Quelques exemples d'évolution**

### **4-1) Etude diachronique.**

Cette occupation du sol a évolué en s'adaptant aux modifications de la morphologie de l'estuaire, aux aménagements, à la migration du système estuarien vers l'aval.

A titre illustratif, le tracé des bassins versants de 2010 a été reporté sur chaque carte.

En 1966 (figure IVa-20a), la digue qui deviendra la route de l'estuaire n'est pas encore fermée, une crique et du schorre occupent l'emplacement actuel de la darse de l'Océan et de l'écluse François 1<sup>er</sup> (la « Plage Pouilleuse » et la « Crique au Chinois »). Aucune filandre ne se situe au sud de cette digue, dont l'estran est alors occupé par un chenal secondaire de la Seine.

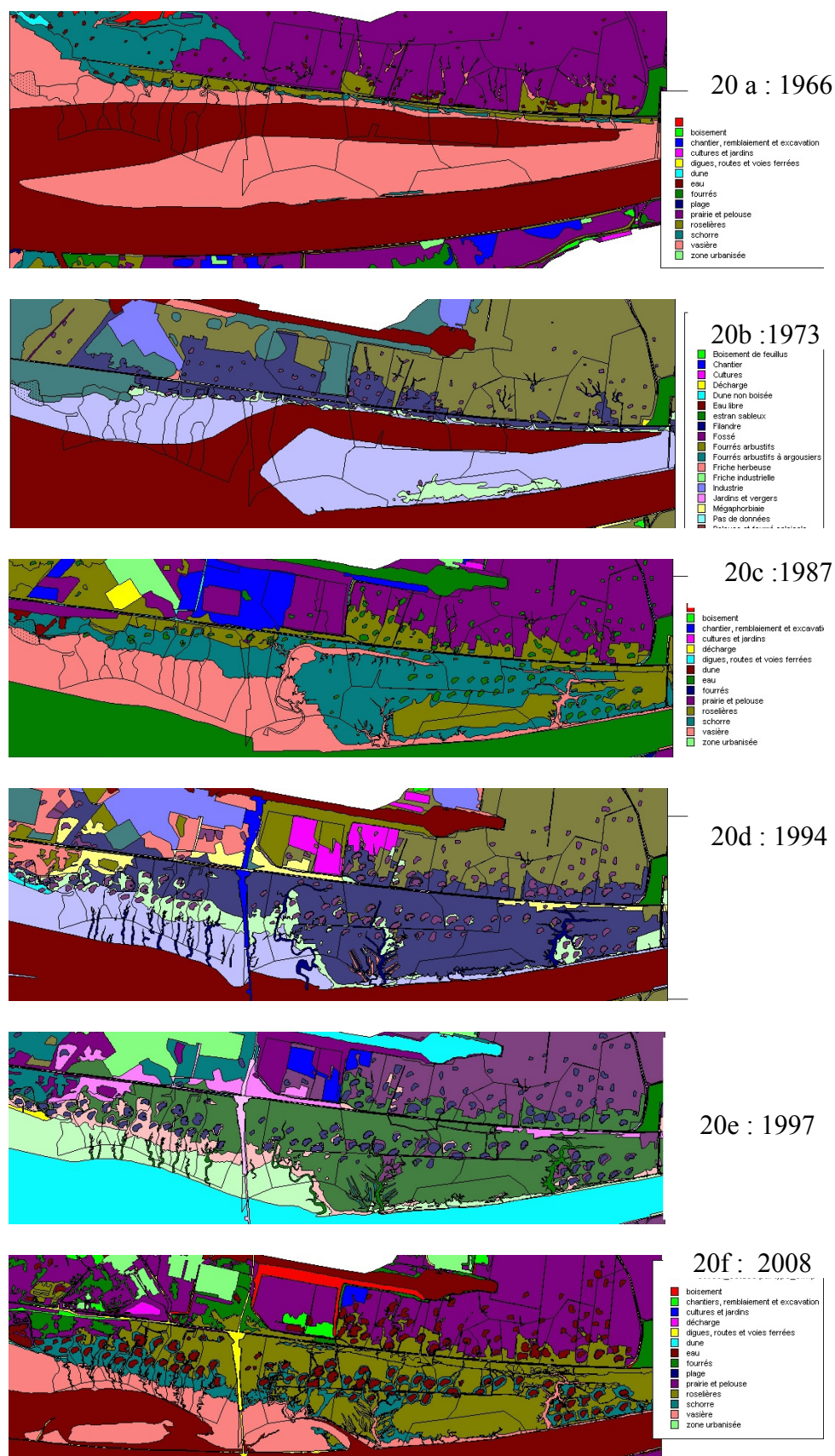
En 1973 (figure IVa-20b), la route de l'estuaire a été fermée depuis quelques années, et l'estacade du Hode, à l'extrémité est de la carte, a été comblée, barrant ainsi l'extrémité amont du chenal secondaire. En 1974 est créée la réserve de chasse maritime du Banc Herbeux, alors bien individualisé, et encore constitué de slikke.

En 1987 (figure IVa-20c), le chenal secondaire est en voie de comblement rapide, les fonds se sont exhaussés de plus de 5 m. De part et d'autre du Banc Herbeux prennent place deux chenaux d'évacuation de la masse d'eau située au nord du banc, qui deviendront la Grande Crique et la Crique à Tignol. Le sommet du Banc Herbeux est déjà colonisé par de la phragmitaie, alors que le schorre occupe l'essentiel de l'ancien chenal secondaire. Un réseau de criques commence à s'individualiser à l'emplacement de la future Vasière Artificielle. Aucune filandre n'est encore identifiable en aval de la Grande Crique.

En 1994 (figure IVa-20d), le remblai du Pont de Normandie est en place, ainsi que les vasières artificielles. La Crique à Tignol est bien individualisée et la Grande Crique poursuit son comblement. La roselière, qui n'occupait en 1987 qu'une faible bande discontinue le long de la route de l'estuaire, s'est étendue de façon spectaculaire en amont du Pont de Normandie, au détriment du schorre. La brèche aval ouverte en 1974 à l'ouest du Pont de Normandie à la demande des pêcheurs, provoque une érosion bien perceptible au pied de la Grande Vasière, où un réseau de filandres assez dense apparaît alors. Des mares de chasse s'installent au fur et à mesure sur ces nouveaux terrains.

En 1997 (figure IVa-20e), la situation a globalement peu évolué. La Grande Crique poursuit son comblement. La gestion de l'eau dans les prairies sub-halophiles situées au nord de la route de l'estuaire devient difficile du fait de ce comblement rapide. Des diguettes ont été mises en place au sud de la route de l'estuaire, pour constituer des réserves d'eau à pleine mer permettant d'effectuer des chasses dans les criques, et d'admettre de l'eau salée pendant plus long temps dans les prairies subhalophiles.

Pour l'année 2008 (figure IVa-20f), en amont du Pont de Normandie, un méandre de 2000 m de long sur 100 m de large a été creusé en 2005 dans le cadre des mesures d'accompagnement de Port 2000. En aval du pont, un épi de 700 m a été implanté à partir de 2003. Port 2000 est en place dans la partie aval de la Fosse Nord et entraîne des remontées de sable dans la partie amont de la Fosse Nord. Ces différentes interventions ont des répercussions sur les filandres débouchant dans la Fosse Nord. Des travaux de restauration des digues de calibrage du chenal de la Seine ont également été menés entre 2003 et 2005. Des brèches ont été maintenues au droit des filandres, mais il n'en reste pas moins que l'ensemble des filandres a été concerné par des travaux sur cette période.



Figures IVa- 8-a à 8-f : Evolution de l'occupation du sol dans la fosse Nord de 1966 à 2008.

#### 4-2) Mesures d'accompagnement de Port 2000.

Les mesures d'accompagnement de Port 2000 dans la fosse nord ont touché indirectement plusieurs filandres.

La Grande Crique a été interceptée par le dragage du méandre amont. Sa longueur est passée de 4348 m en 2004 à 2099 m en 2010. En 2004 la section amont est plus importante qu'en 2010 (figure IVa-21), mais elle a fait l'objet de curages trois années de suite précisément dans sa partie amont. La filandre est plus encaissée (pente PlogS plus faible de la courbe).

Par contre à distance égale, les sections aval sont plus importantes en 2010, ce qui se traduit sur le terrain par une érosion régressive importante. La pente PlogS de la relation est également plus importante (courbe rose figure IVa-21), et correspond à un évasement des profils transversaux.

La partie amont du méandre environnemental pourrait constituer dans le futur le prolongement de la Grande Crique. Son débouché en Seine se fait par la « Brèche Amont » dont la section en dessous de 8 m est de 2 000 m<sup>2</sup>. Elle est située à 1315 m du débouché actuel de la Grande Crique. Sur la figure IVa-21, sa position est indiquée par un triangle jaune, qui pourrait correspondre à un prolongement du profil 2010.

Cette évolution correspond assez bien aux prévisions de la thèse d'A. Cuvilliez (A. Cuvilliez 2008)

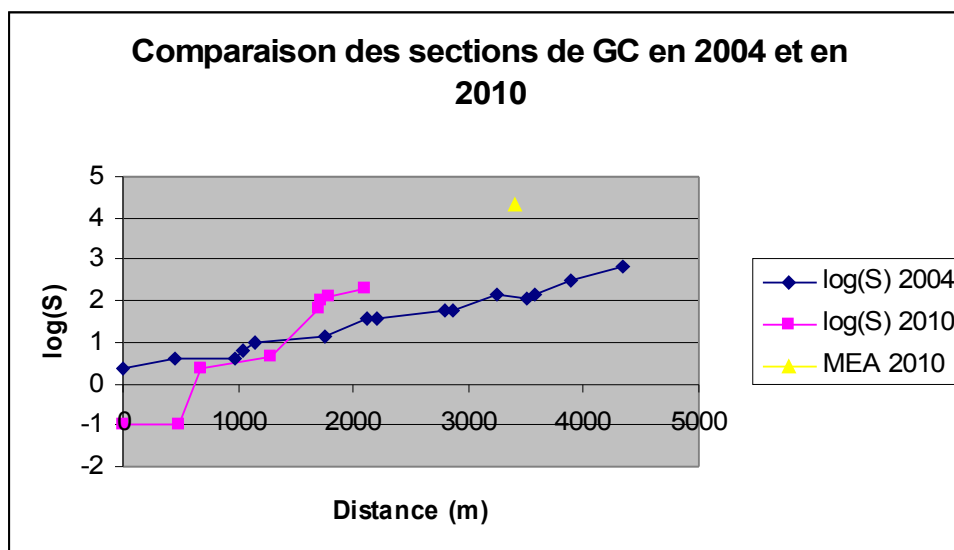


Figure IVa-21 : Comparaison des sections de la Grande Crique en 2004 et 2010. Les sections sont représentées par le  $\log_{10}$  de leur surface en m<sup>2</sup>.



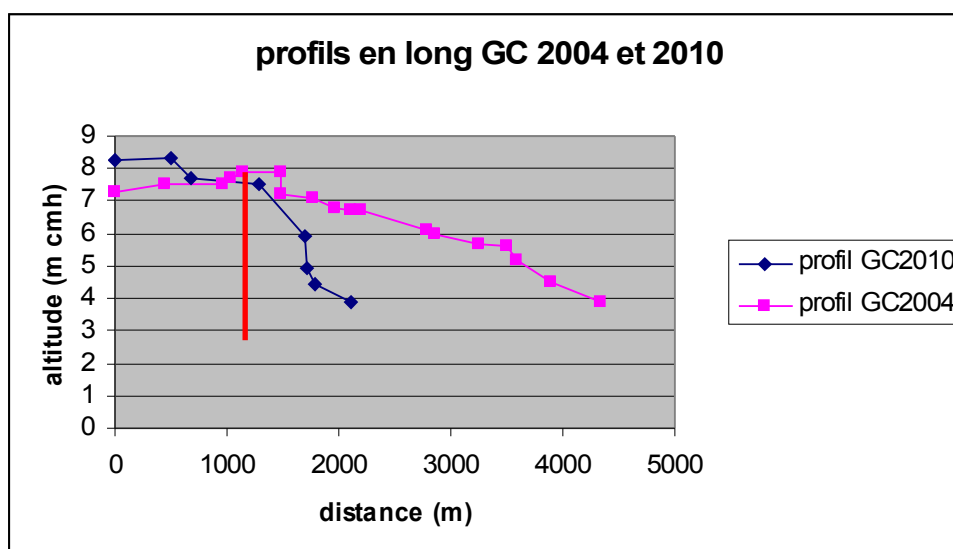


Figure IVa-22 : Comparaison des profils en longs de la Grande Crique en 2004 et 2010. Les altitudes sont exprimées en m par rapport au 0 CMH (cartes marines du Havre). Le trait rouge correspond à l'emplacement de la nouvelle embouchure de la Grande Crique dans le méandre amont.

Le profil en long de 2004 a une pente beaucoup plus faible que celui de 2010 (figure IVa-22). La cote du fond présente un dôme vers 1300 m. En amont de celui-ci, les travaux de curage ont abaissé le fond, et correspondent à la rupture de pente visible sur le profil.

Le profil 2010 est beaucoup plus pentu. Il comporte lui aussi une rupture de pente vers 1600 m qui correspond au front de l'érosion régressive que connaissait ce chenal jusqu'en 2010 à la suite du dragage du méandre amont dans le cadre des mesures compensatoires de Port 2000.

La cote initiale du dragage étant à 2 m CMH, il en est résulté un abaissement de plus de 4 m de la nouvelle embouchure de la Grande Crique (trait rouge sur la figure IVa-22). Ce rattrapage des sections s'est ensuite ralenti au fur et à mesure du comblement du méandre dont la cote du fond au droit de la Grande Crique est passée de 2 m à 4 m en 2010.

L'amont du profil 2010 montre également que cette partie du chenal, qui n'a plus fait l'objet de curages d'entretien depuis 2003, s'est comblée et ne se maintient donc pas naturellement.

La Grande Crique étant l'une des principales alimentations en eau saumâtre des prairies subhalophiles du nord de la route de l'estuaire, dans les conditions actuelles, le caractère salé de ces habitats ne pourra être maintenu que par des curages artificiels.

## 5) Services et usages

Les filandres assurent également des services et permettent des usages du milieu qui sont conditionnés par leur bon fonctionnement. Du reste les interventions humaines sur les filandres ont généralement faites en fonction d'un ou plusieurs usages ou services rendus par les filandres.

La plupart des mares de chasse sont alimentées en eau à partir des filandres. Les chasseurs profitent également de ce que les filandres sont des axes de circulation des oiseaux, des secteurs de repos et d'alimentation attractifs. Ils aménagent souvent des couloirs de fauche entre leur mare et une filandre proche pour canaliser les oiseaux d'eau vers leur installation.

Les agriculteurs et coupeurs de roseaux sont également tributaires pour exercer leurs activités, de la gestion des niveaux d'eau qui se fait par les filandres. Les coupeurs de roseaux souhaitent que la roselière soit inondée lors de la croissance des roseaux au printemps. Par contre au nord de la route de l'estuaire leur activité est gênée par des niveaux d'eau trop hauts en hiver et ils demandent alors une baisse des niveaux d'eau.

Les agriculteurs ne sont pas contre une inondation temporaire des terrains au printemps mais sont contre la stagnation des eaux qui asphyxie le sol et retarde la pousse de l'herbe.

Les objectifs de gestion de la Réserve Naturelle nécessitent également que ces filandres soient fonctionnelles tant pour les apports en eau saumâtre que pour l'évacuation des excédents d'eau douce qui s'accumulent en hiver au nord de la route de l'estuaire.

La gestion de l'eau conditionne donc les activités humaines. Les aménagements de vannes et les curages des creux qui artificialisent le fonctionnement des filandres sont liés à ces usages et créent des conflits d'usages. Ces infrastructures sont rendues nécessaires par l'anthropisation du système (cf. section sur la gestion hydraulique) qui a mené à la déconnection des prairies de la rive nord désormais isolées du lit mineur. Cette gestion hydraulique nécessite que les filandres soient fonctionnelles.

Toutes les filandres de la partie aval de l'estuaire sont donc des anthroposystèmes dans lesquels les activités humaines et les fonctions environnementales interfèrent constamment et évoluent de concert.

## **6) Vers un modèle conceptuel prédictif ? Limites de l'exercice.**

Les relations entre facteurs hydro-morphologiques, biologiques et humains, issues des observations de terrain, intègrent des effets multiples d'autres paramètres, spécifiques de ce secteur de l'estuaire, mais non individualisés ici (cohésion des sédiments, vitesses critiques d'érosion...). Ces relations sont donc adaptées à la partie val de l'estuaire mais demandent à être vérifiées et ajustées pour d'autres secteurs ou d'autres estuaires.

### **6-1) Potentiel de restauration, exemple de la Grande Crique**

Les relations entre le volume oscillant VO, les sections transversales, et la surface de l'habitat « filandre » étudiées précédemment (§ 3-2-2 et 3-2-3 ci-dessus) permettent de prévoir des ordres de grandeur des effets d'une augmentation du volume oscillant.

Par exemple un gain de 50Mm<sup>3</sup>/an de VO dans la Grande Crique (figure IVa-23) entraîne une multiplication par 10 des sections et une augmentation de 40% de la surface de filandre. Ce volume correspond *grosso modo*, à celui disponible au nord de la route de l'estuaire dans la partie ouest des prairies subhalophiles. Compte tenu des incertitudes liées à la hauteur de la végétation lors des mesures, le volume réellement disponible en dessous de 8 m CMH dans ce secteur est probablement supérieur.



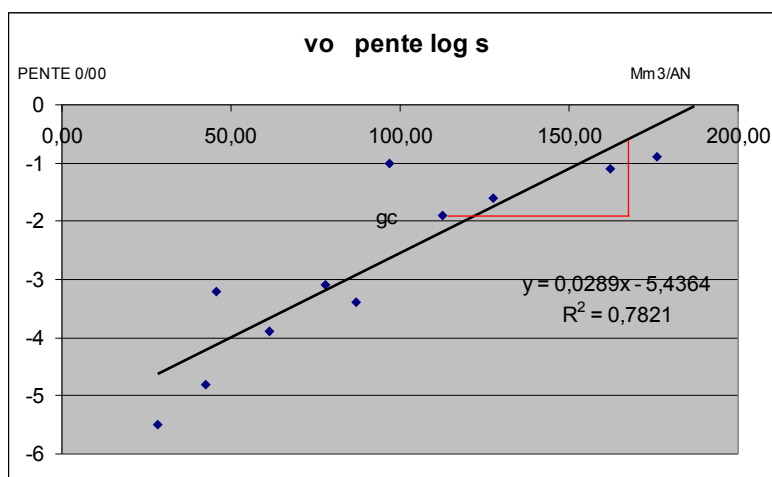


Figure IVa-23 : Utilisation des relations entre le volume oscillant et l'encaissement des filandres (représenté par PlogS, pente de la droite Log des sections) pour prévoir l'évolution de la Grande Crique dans l'hypothèse de l'augmentation du volume oscillant de  $5 \text{ Mm}^3 \text{ an}^{-1}$

Ces relations permettent de prévoir l'évolution des trajectoires de différentes filandres. Elles apportent également des éléments pour évaluer le potentiel de restauration de ces systèmes tant du point de vue morphologique que de l'occupation du sol.

## 6-2) Transferts de débit de Connard sur les filandres de la Risle.

Les Criques de la Risle et la Crique à Connard (figure IVa-24) présentent la singularité d'avoir un volume d'eau amont commun. Ces criques sont les vestiges d'un ancien réseau de fossés de drainage dont l'entretien a été abandonné dans les années 1950, après la constitution d'une chambre de dépôts de dragage en bordure de Seine

Ces prairies dont l'altitude est relativement haute (8 m à 8,50 m) ne sont pas endiguées et sont régulièrement inondées lors des marées de vives eaux et lors des crues de la Seine.

L'une des hypothèses que nous voulions tester dans le programme DEFHFIS était qu'il y avait des interactions entre les filandres, notamment des transferts de volumes d'eau sur les autres filandres lorsque l'une d'elles se comblait.

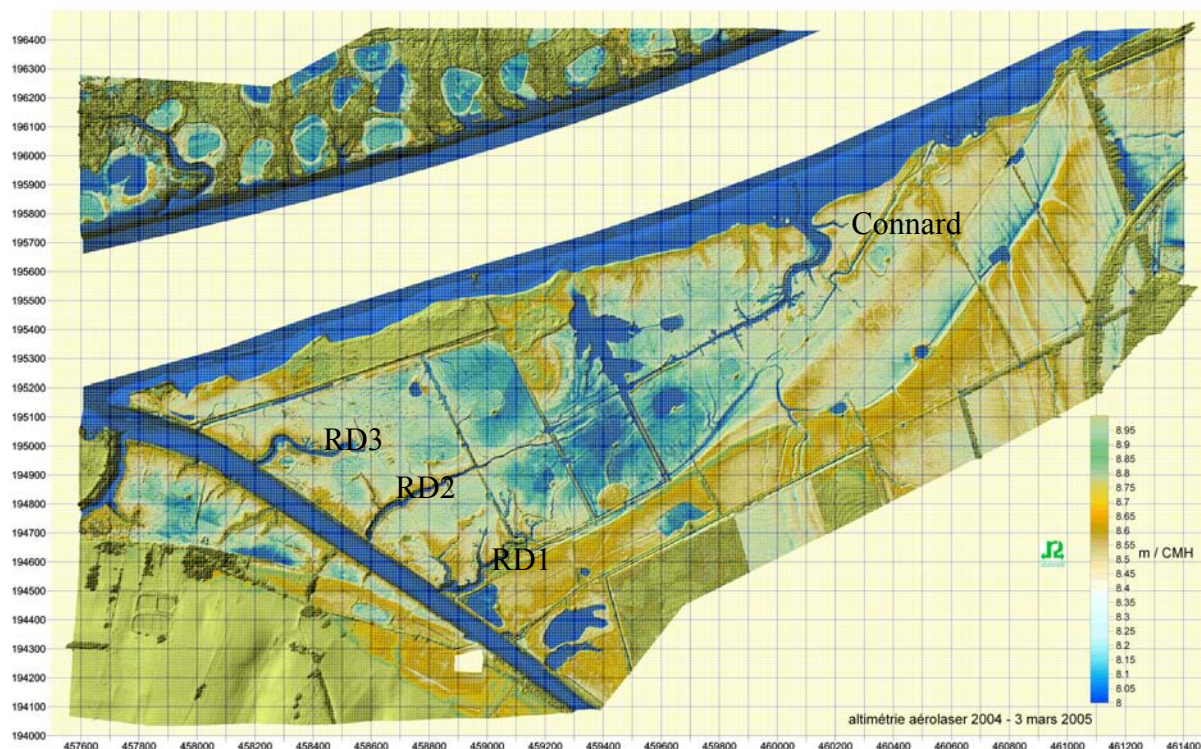


Figure IVa-24 : Prairies humides de la basse vallée de la Risle, la Crique à Connard, et les criques de la Risle RD1, RD2 et RD3.

Effectivement, la Crique à Connard a commencé à se combler à la suite de l'aménagement de levées de terre sur la tête de la filandre pour protéger des mares de chasse. Il semblait que les filandres RD3 et surtout RD2 étaient alors en érosion, traduisant de ce fait un transfert de volumes d'au vers la Risle et une augmentation des sections de ces criques.

Cependant les mesures topographiques LIDAR de 2004 et de 2011 traitées par le GIP SA ne mettent rien de tel en évidence. Cela peut être dû à ce que entre ces deux campagnes des perturbations sont intervenues : La Crique à Connard a subi un curage partiel en 2009 qui fausse les données. Par ailleurs, ces prairies n'ont pas été très inondées entre 2005 et 2010 faute de crues de la Seine.

Ces éléments ne permettent donc pas de conclure sur cette hypothèse qu'il serait intéressant de tester dans d'autres conditions. Il n'est pas sûr non plus que l'adaptation d'un tel système de filandres puisse se faire, s'il se fait, dans un temps aussi court.

## 7) Conclusions partielles

Différents indicateurs ont été élaborés pour décrire les systèmes de filandres sous leurs aspects morphologiques, occupation du sol, activités humaines.

Des relations apparaissent entre les caractéristiques du bassin versant et les chenaux qui les desservent. Elles permettent de resituer les filandres dans un gradient morphologique amont aval dominé par l'altitude des bassins versants et les caractéristiques de la marée. Ces facteurs structurants déterminent l'évasement des filandres et la taille des bassins versants.

Cependant ces relations entre paramètres uniquement morphologiques sont assez lâches et d'autres paramètres interviennent également, notamment l'occupation du sol, et les interventions humaines.

L'occupation du sol reflète la structure de végétation sur le bassin versant et interfère sur les écoulements d'eau vers les chenaux. Cette circulation de l'eau se fait moins bien dans une roselière dense que sur des surfaces fauchées ou pâturées, ou encore sur la slikke nue. Les suivis effectués dans la Réserve Naturelle de l'Estuaire de la Seine permettent de cartographier l'occupation du sol et son évolution en parallèle avec le développement des filandres depuis les 45 dernières années. La couverture végétale dépend de la salinité et du temps d'immersion, lié, dans l'estuaire, à l'altitude. Elle résulte d'un croisement entre morphologie et qualité de l'eau.

Des interventions humaines directes ou indirectes interviennent également. En effet, la structure de la végétation est le plus souvent orientée par des activités anthropiques comme la fauche, le pâturage, l'exploitation des roseaux, l'entretien des abords des installations de chasse. Une cartographie de ces activités sur chaque bassin versant a été faite sur la Réserve Naturelle, et fournit une indication sommaire de la pression anthropique qu'ils subissent. La pression de pâturage est corrélée à l'évasement des profils transversaux. Cette corrélation apparaît également avec l'activité de fauche, mais est moins significative.

L'homme intervient également directement sur la morphologie des filandres, endiguement des embouchures, curage de certains chenaux, protection contre les érosions. Ces interventions sont généralement faites en fonction d'un ou plusieurs usages. La plupart des mares de chasse sont alimentées en eau à partir des filandres. Les chasseurs profitent également de ce que les filandres sont des axes de circulation des oiseaux, des secteurs de repos et d'alimentation attractifs.

Les agriculteurs et coupeurs de roseaux sont également tributaires pour exercer leurs activités, de la gestion des niveaux d'eau qui se fait par les filandres. Les objectifs de gestion de la Réserve Naturelle nécessitent également que ces filandres soient fonctionnelles tant pour les apports en eau saumâtre que pour l'évacuation des excédents d'eau douce qui s'accumulent en hiver au nord de la route de l'estuaire. Les aménagements de vannes et les curages des creux qui artificialisent le fonctionnement des filandres sont liés à des usages, des conflits d'usages et à l'anthropisation du système. Les endiguements de la Seine, qui conditionnent la bathymétrie et les sections aval des filandres, interfèrent également sur leur morphologie amont, mais également sur leurs fonctions écologiques.

Toutes les filandres de la partie aval de l'estuaire sont des anthroposystèmes.

## **Annexes**

## ANNEXE 1 Qualité de l'eau et des sédiments par station

CODEFIL	% vases	S°° MOY	O2	T°
	% < 50 µm	salinité en 0/00	mg/l	°C
HA MOYEN	85,974	26,438		16,031
HA AMONT	86,223	25,296		14,804
HA AVAL	80,032	26,256		14,973
HA INTER1	86,693	26,050		14,820
HA INTER2	89,498	26,237		14,828
HA INTER3	87,426	28,350		20,730
GC	82,572	23,924	3,294	16,335
GC AMONT	84,519	20,687	2,520	16,017
GC AVAL	77,615	25,786	3,600	15,373
GC AVAL1	68,241	26,500	3,830	18,800
GC AVAL2		23,850	3,600	19,800
GC INTER1	84,759	20,710	2,960	14,204
GC INTER2	80,368	22,944	3,160	16,240
GC INTER3	87,066	24,247	3,180	16,232
GC INTER4	85,807	24,538	3,310	16,324
GC INTER5	86,854	25,318	3,490	16,235
GCFilandreannexe	87,917	24,662		14,130
VA	78,445	15,102	2,743	16,785
VA AMONT	80,51	13,058	2,810	16,926
VA AVAL	75,098	16,834	2,750	16,780
VA INTER	79,726	15,413	2,670	16,649
TI	74,145	6,326	2,343	14,270
TI AMONT	73,223	2,964	2,350	16,981
TI AMONT W		1,895		6,480
TI AVAL	68,415	11,986	2,380	16,727
TI INTER1	80,796	8,459	2,300	16,893
HO MOYEN	78,305	5,809	2,327	17,122
HO AMONT	84,887	2,891	2,270	17,343
HO AVAL	66,130	9,786	2,290	16,814
HO INTER	83,898	4,750	2,420	17,209
CO 2004				
CO	66,851	8,123		17,318
CO AMONT	61,671	4,380		16,325
CO AVAL	58,108	13,182		19,689
CO INTER	80,774	6,807		15,939
RD1 2004				
RD x	74,389	3,740	2,063	20,186
RD1				
RD2 2004				
RD2		3,179	1,990	19,549
RD2 AMONT	84,477	2,172	1,990	17,467
CODEFIL	% vases	S°° MOY	O2	T°

CODEFIL	% vases	S° MOY	O2	T°
RD2 AVAL	66,741	3,827	2,000	20,399
RD2 INTER	79,511	3,538	1,980	20,782
RD3 2004				
RD3		4,302	2,137	20,823
RD3 AMONT	72,140	2,890	2,270	21,026
RD3 AVAL	69,663	5,565	2,040	20,639
RD3 INTER	73,804	4,450	2,100	20,804
CEL2004				
CEL2011		1,87		
CR	64,376	23,67	2,400	20,327
CR AMONT	81,092	2,963	2,480	20,101
CR AVAL	40,769	6,440	2,350	20,388
CR INTER	71,267	5,090	2,370	20,491
FU	83,820	25,061		14,810
FU AMONT	83,574	23,968		14,654
FU AVAL	79,866	26,263		14,962
FU INTER	88,020	24,951		14,813
ES	79,221	10,601		15,870
ES AMONT	83,163	7,581		14,352
ES AVAL	73,246	13,509	2,810	16,541
ES INTER	81,255	10,713	2,300	16,716
RO	83,281	25,670		14,818
RO AMONT	77,787	25,035		14,771
RO AVAL	83,682	26,248		14,892
RO INTER	88,374	25,726		14,791
EC		20		
MEA	65,589	21,202	3,590	14,728
RI	55,617	3,516		18,057
RI AMONT	68,401	1,077	2,360	16,308
RI AVAL	52,702	7,292	2,120	20,480
RI INTER1	45,750	2,178	1,710	17,382

## Bibliographie

- Actes du colloque international de Blaye**; 2005. Patrimoine et estuaires, culture, gestion intégrée, développement. Editions Confluences.
- Allain Yvon, A. Dorange, J. Langlois** ; 1994. Mathématiques pour les sciences de la vie 1) Analyse. Ediscience international pp:326
- Angelier E.**; 2002. Introduction à l'écologie des écosystèmes naturels et à l'écosystème humain. TEC&DOC 2002.
- Aulert C., C.Bessineton, C. Dutilleul, P. Provost**; 2009. Les mesures compensatoires et d'accompagnement Port 2000 : retour d'expériences. *Ingenieries*, N° spécial 2009.
- Bessineton C.** 1997. La création de vasières artificielles dans l'estuaire de la Seine. Actes des colloques IFREMER N° 22.
- Bessineton C.**, 2006. La réhabilitation de l'estuaire de la Seine. La lettre des réserves, N° spécial milieux fluviaux. Réserves Naturelles de France.
- Bessineton C.**, 2008. Historical records of *Nereis diversicolor* population in the Seine estuary . In Amiard-Triquet: Environmental assessment of estuarine Ecosystems: a case study, 2008. Taylor & Francis Ed. pp:179-192.
- BEEST (Liteau III)** 2011: Caractérisation d'indicateurs hydro-morpho-sédimentaires de Bon Etat écologique des estuaires de la Seine, de la Loire et de la Gironde – Partie 2 : Synthèse de la démarche et des résultats.
- Burel F., J. Baudry**; 2003. Ecologie du paysage. Concepts, méthodes et applications. TEC&DOC 1999, 4<sup>eme</sup> éd. 2003
- Carlier M.**, 1972, Hydraulique générale et appliquée. Direction des études et recherches d'Electricité de France end. EYROLLES; 582 p
- Castany G., 1982 Hydrogéologie, principes et méthodes DUNOD 238 p
- Cellule de Suivi du Littoral Haut Normand**, 2005. Suivi du macrozoobenthos de la réserve naturelle de l'estuaire de la Seine? Campagne annuelle 2004.
- Cellule de Suivi du Littoral Normand**, 2010. Suivi du macrozoobenthos de la réserve naturelle de l'estuaire de la Seine? Campagne annuelle 2010. Rap. étude pour la Maison de l'Estuaire, Le Havre, 2011.
- Cuvilliez A.**, 2008. Dynamique morphologique et sédimentaire d'une slikke et d'un schorre dans un estuaire macrotidal anthropisé (Seine-France). Université de Rouen, Thèse doctorat géologie.
- Cuvilliez A., J. Deloffre, R. Lafite and C. Bessineton**, 2008. Morphological responses of an estuarine intertidal mudflat to installations: annual and multiannual scale (Seine-France). *Geomorphology* N° XXVI 2009.
- Dauvin JC.; C. Bessineton; P. Galichon; S. Duhamel; S. Simon.** 2006. Survey of benthic habitats after the extension of Le Havre harbour in the Seine estuary (2000-2005). Benthic Ecology meeting Quebec, March 2006.
- DREAL de Haute Normandie**; 2009. Deuxième plan de gestion de la Réserve Naturelle Nationale de l'Estuaire de la Seine.
- Ducrottoy JP. 2010. Restauration écologique des estuaires . TEC&DOC Lavoisier 2010
- FRaME** ; 2004. Flood Risk Management in Estuaries. Proceedings of the First Stakeholder Meeting. 23rd of April 2004. The Hague, The Netherlands.
- Fustec E, JC Lefeuvre**; 2000. Fonctions et valeurs des zones humides. DUNOD 2000.
- GIP Seine Aval** ; 2011. Exploitation des campagnes topographiques LIDAR, années 2004,



22010, 2011

**Grand Port Maritime du Havre.** Les mesures d'accompagnement de Port 2000.

**J.C. Dauvin, Ruellet T., C. Aulert, C. Bessineton, A. Cuvilliez, J. Jourde, R. Lafite, J. Morin, S. Simon,** 2008. The North Mudflat of the Seine Estuary : How much surface needs to be restored ? 6<sup>th</sup> European Conference on Ecological Restoration- Gent, Belgium, 8-12/09/2008.

**Lefort G.,** 1967; Mathématiques pour les sciences biologiques et agronomiques Collection U Armand Collin pp:679

**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.

**Lévêque, C., JC. Mounolou;** 2008. Biodiversité, Dynamique biologique et conservation. 2<sup>e</sup> éd. DUNOD

**Litzba U., HM. Page, S. Schroeter, MH. Elwany;** 2011. Biological importance of small tidal channels in wetland restoration projects.

**Maison de l'Estuaire,** 2001. Premier plan de gestion 2001-2005 de la Réserve Naturelle de l'Estuaire de la Seine. DIREN Haute Normandie

**Maison de l'Estuaire,** 2011. Bilan de l'exploitation des roseaux dans la RNNES en 2009. SIG de la Réserve Naturelle Nationale de l'Estuaire de la Seine.

**Maison de l'Estuaire,** 2011. Suivi des travaux hydrauliques dans la RNNES de 2001 à 2010. SIG de la Réserve Naturelle Nationale de l'Estuaire de la Seine.

**Maison de l'Estuaire,** 2011. Suivis du pâturage et de la fauche dans la RNNES en 2010. SIG de la Réserve Naturelle Nationale de l'Estuaire de la Seine.

**Maison de l'Estuaire,** 2011. Réseau hydraulique dans la RNNES mise à jour 2010: Hydrologie surfacique. SIG de la Réserve Naturelle Nationale de l'Estuaire de la Seine.

**Maison de l'Estuaire,** 2010. Opération SE10 du Plan de Gestion de la Réserve Naturelle Nationale de l'Estuaire de la Seine: Etude diachronique de 1966 à 2008. Rap. Interne oct. 2010 pour la DREAL et le GPMH.

**Paskoff R.;** 1985. Les littoraux, impact des aménagements sur leur évolution Masson, Collection Géographie pp: 190

**Port Autonome de Rouen.** Campagnes topographiques LIDAR 2004 et 2010 de l'estuaire de la Seine aval. GIP SA 2011.

**Port Autonome de Rouen.** Levés topographiques des digues en Seine après travaux de restauration. Rap. Interne 2008.

**Port Autonome de Rouen ;** 2004. Projet de restauration des digues du PAR. Annexe I : Franchissement des filandres. Rapport d'étude PAR.

**Seine Aval, 2009 .** Fascicule Aménagements, usages et évolution morphologique d'un estuaire anthropisé (de 1800 à nos jours)

**Service de la Navigation de la Seine.** Débits de Seine à Poses en 2010 et 2011.

**Verger F.;** 2005. Marais et estuaires du littoral français BELIN; 336 p

## Liste des tableaux et des figures

### Figures

*Figure IVa-1 Localisation des filandres et des bassins versants*

*Figure IVa-2 localisation des filandres amont et des bassins versants*

*Figure IVa-3 : profils en long des filandres étudiées*

*Figure IVa-4 : méthode de calcul des sections transversales : section aval de Tignol*

*Figure IVa-5a : Sections transversales dans la filandre Harle . PlogS: 3,4*

*Figure IVa-5b : Sections transversales dans la filandre Tignol. PlogS:0,9*

*Figure IVa- 6 : Débits moyens journaliers de la Seine à Poses en 2010 et 2011*

*Figure IVa-7 : Comparaison de l'occupation du sol sur les bassins versants des criques Harle, Grande Crique, Hode et Connard en 2008.*

*Figure IVa-8 Fauche de la roselière par les exploitants de roseau et les chasseurs suivant les bassins versants des filandres (saison 2009)*

*Figure IVa-9 : localisation des travaux hydrauliques sur les différentes criques entre 2004 et 2010*

*Figure IVa-10 Réfection des digues du PAR, localisation des travaux de franchissement des filandres sur la rive nord.*

*Figure IVa-11 :Réfection des digues du PAR, franchissement de la filandre du Hode.*

*Figure IVa-12 : Réfection des digues du PAR, franchissement de la crique à Tignol.*

*Figure IVa-13 : Classification Ascendante Hiérarchique des filandres sur les indicateurs hydro morphologiques.*

*Figure IVa-14 : corrélation entre les paramètres morphologiques étudiés*

*Figure IVa-15 : Corrélation entre PlogS et la position amont/aval des filandres*

*Figure IVa-16 : corrélation entre le pourcentage de la surface du bassin versant fauché ou coupé et PlogS (indicateur d'évasement du chenal)*

*Figure IVa-17 : corrélation entre le pourcentage de la surface du bassin versant pâturé et PlogS (indicateur d'évasement du chenal).*

*Figure IVa-18 : corrélation entre le pourcentage de la surface du bassin versant pâturé et la section aval du chenal.*

*Figure IVa-19: Grande Crique, logarithme des sections en fonction des distances à l'embouchure en 2010.*

*Figures IVa- 20a à 20f : Evolution de l'occupation du sol dans la fosse Nord de 1966 à 2008*

*Figure IVa-21: Comparaison des sections de la Grande Crique en 2004 et 2010. Les sections sont représentées par le  $\log_{10}$  de leur surface en  $m^2$  .*

*Figure IVa-22: Comparaison des profils en longs de la Grande Crique en 2004 et 2010. Les altitudes sont exprimées en m par rapport au 0 cmh (cartes marines du Havre).*

*Figure IVa-23: Utilisation des relations entre le volume oscillant et l'encaissement des filandres ( représenté par PlogS, pente de la droite Log des section) pour prévoir l'évolution de la Grande Crique dans l'hypothèse de l'augmentation du volume oscillant de  $5 Mm^3an^{-1}$*

*Figure IVa-24: Prairies humides de la basse vallée de la Risle, la Crique à Connard, et les criques de la Risle RD1, RD2 et RD3.*

**tableaux**

*Tableau IVa-1 : Caractéristiques des bassins versants des filandres étudiées*

*Tableau IVa-2 : régression des profils en long des chenaux et longueur.*

*Tableau IVa- 3 : Lois de décroissance des sections. Log en base 10 des sections exprimé en fonction de la distance x*

*Tableau IVa-4 synthèse des données sur les chenaux. Pour la commodité de lecture, les pentes PL et PLogS sont exprimées en pour mille (0/00).*

*Tableau IVa-5 temps d'immersion surfacique (TiS) des bassins versants : c'est le temps d'immersion entre deux cotes bathymétriques multiplié par la surface occupée par ces cotes sur chaque bassin versant.*

*Tableau IVa- 6 : Pourcentage d'occupation du sol sur les principaux basins versants*

*Tableau IVa-7 : pourcentage de la surface de chaque bassin versant concerné par les fauches de roseau, le pâturage et la coupe autour des mares de chasse.*

*Tableau IVa-8 : Restauration des digues du PAR : Franchissement des filandres et incidence des travaux.*

*Tableau IVa-9 : teneur en vases des sédiments (% pondéral) et qualité de l'eau moyenne dans les différentes filandres.*

*Tableau IVa-10 : corrélations entre les paramètres hydro morphologiques et l'occupation du sol.*

*Tableau IVa-11 : corrélations entre les activités de fauche, de coupe et de pâturage et les caractéristiques morphologiques des chenaux des filandres.*

**Photos**

*Photo IVa- 1 : Amont de la crique Harle, en érosion dans le schorre, PL :6,3*

*Photo IVa-2 :Amont de la crique à Connard en sédimentation, PL :1,*

*Photo IVa-3: Grande Crique amont, PL : 2,2*