
ELABORATION DU PLAN DE GESTION DES SEDIMENTS DE DRAGAGE DE L'ESTUAIRE DE LA GIRONDE

ETAPE 2 : DIAGNOSTIC OPERATIONNEL – DEFINITION DES ENJEUX ET DES BESOINS

*RM1-E2-4 : EXPLOITATION DU MODELE : RESULTATS DU CALCUL
HYDROSEDIMENTAIRE DES OPERATIONS DE CLAPAGE ET REMISE EN
SUSPENSION SUR UNE ANNEE REELLE COMPLETE*

ARTELIA Eau & Environnement

Activité MARITIME

6 rue de Lorraine

38130 - Echirolles

Tel. : +33 (0) 4 76 33 40 00

Fax : +33 (0) 4 76 33 43 33



Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

Cette étude a bénéficié du soutien financier de :



N° 8 71 3583 - Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde Etape 2 : diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : modélisation des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète					
3	Version intégrant la synthèse et les remarques du MO du 29/07/16 avec complément du 09/09/16	TSD		TSD	15/09/2016
2	Version intégrant les remarques du MO 19/05/2016	RWD		TSD	13/06/2016
1	1 ^{ère} diffusion	RWR	FGN	LTT/TSD/SLX	14/03/2016
Version	Description	Rédaction	Vérifié	Approuvé	Date

SOMMAIRE

1. PREAMBULE	1
2. EXPLOITATION DU MODELE	2
2.1. EXPLOITATION SUR L'ANNEE 2008-2009	2
2.2. RAPPEL DES PASSES ET ZONES DE VIDAGE DE L'ESTUAIRE	2
2.3. CONDITIONS IMPOSEES AU CALCUL HYDROSEDIMENTAIRE	4
2.3.1. CONDITIONS HYDRO-METEOROLOGIQUES	4
2.3.1.1. Hydrologie	4
2.3.1.2. Houle	5
2.3.2. REPRESENTATION DES MATERIAUX DRAGUES	6
2.3.3. TECHNIQUES DE REJETS REPRESENTES ET MASSES ASSOCIEES	6
2.3.4. VOLUMES REJETES SUR LES ZONES D'IMMERSION	8
2.4. EXPLOITATION DU CALCUL	9
2.4.1. RAPPEL DE L'OBJECTIF – SOURCE CCTP	9
2.4.2. ORGANISATION DE L'EXPLOITATION DES RESULTATS DU CALCUL	9
3. DYNAMIQUE GENERALE DE L'ESTUAIRE	11
3.1. REPARTITION DES MASSES DANS L'ESTUAIRE ET AU LARGE	11
3.1.1. REPARTITION DES VASES	11
3.1.2. REPARTITION DES SABLES	12
3.1.3. BILAN DES MASSES REJETEES DANS L'ESTUAIRE	13
3.2. REPARTITION DES MASSES A L'INTERIEUR DE L'ESTUAIRE	14
3.2.1. MASSES DE VASES REJETEES PAR ZONES DE L'ESTUAIRE	15
3.2.2. MASSES DE SABLES REJETEES PAR ZONES DE L'ESTUAIRE	17
3.3. FOCUS SUR LES FLUX DE VASES SUR LA PERIODE D'OCTOBRE 2008 A FIN SEPTEMBRE 2009	19
3.3.1. METHODOLOGIE	19
3.3.2. RESULTATS DES FLUX A TRAVERS L'ESTUAIRE ET VARIABILITE SAISONNIERE	20
3.3.3. FOCUS : INFLUENCE DE LA CRUE SUR LES FLUX	23
4. ANALYSE DE LA GESTION ACTUELLE	26
4.1. ANALYSE DES DEPOTS	26
4.1.1. PASSES DRAGUEES : ANALYSE DES RETOURS DES SEDIMENTS DANS LE CHENAL (DEPOTS)	26
4.1.2. ZONES D'IMMERSION : COMPORTEMENT DES MATERIAUX CLAPES	28
4.1.2.1. Approche hydrodynamique	28
4.1.2.2. Approche hydrosédimentaire	33
4.1.2.3. Vases	38
4.1.2.4. Bilan de la stabilité des zones de vidage	43

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

4.1.3. ESTUAIRE : QUELLES ZONES SONT IMPACTEES PAR LES DEPOTS ?	43
4.1.3.1. Répartition spatiale des dépôts (vase et sable) à l'échelle de l'estuaire	43
4.1.3.2. Analyse de la répartition altimétrique des vases	48
4.1.3.3. Dépôts : focus sur quelques zones à enjeux	50
4.2. ANALYSE DES MES	52
4.2.1. RAPPEL : EVOLUTION DU BOUCHON VASEUX NATUREL DANS L'ESTUAIRE DE LA GIRONDE (ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE)	52
4.2.1.1. Evolution saisonnière des MES – influence des débits	52
4.2.1.2. Concentrations moyennes en MES au niveau de Pauillac et Bordeaux (réseau MAGEST)	54
4.2.1.3. Evolution des MES dans la colonne d'eau	56
4.2.2. EVOLUTION DES MES ISSUS DES REJETS	57
4.2.2.1. Répartition géographique des MES à l'échelle de l'estuaire	57
4.2.2.2. Evolution des MES (moyenne verticale) suivant le coefficient de marée (échelle locale)	60
4.2.2.3. Focus par zone : MES (moyenne verticale) à l'échelle de l'année	62
4.2.3. TEMPS DE DEPASSEMENT DES MES PAR RAPPORT A PLUSIEURS SEUILS	66
4.2.3.1. Méthodologie	66
4.2.3.2. Résultats de l'analyse des temps de dépassement	67
4.2.4. INFLUENCE DES TECHNIQUES DE REJET SUR LES CONCENTRATIONS EN MES	71
4.2.4.1. Immersion par clapage	72
4.2.4.2. Rejet au fil de l'eau (RFE)	76
4.2.4.3. Dragage par Injection d'eau (DIE)	77
4.2.5. QUELLES SONT LES ZONES IMPACTEES PAR LES MES ?	83
5. SYNTHESE	86
RÉFÉRENCES	89
ANNEXE 1 FIGURES HORS TEXTE	91

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

TABLEAUX

Tableau 1 – Crues de la Dordogne et Garonne en 2008-2009	4
Tableau 2 – Masses de sédiments remobilisées lors des expérimentations du Dragage par Injection d'Eau ..	6
Tableau 3 – Masses de sédiments rejetés représentés dans le calcul hydrosédimentaire	6
Tableau 4 – Questions hydro-sédimentaires et types d'analyse des résultats du calcul	10
Tableau 5 – Bilan des masses rejetées dans l'estuaire	13
Tableau 6 – Schéma de dispersion des clapages sur la zone Verdon-Bordeaux	23
Tableau 7 – Nombre de jours /an pendant lequel la contrainte de 0,573 N/m ² est dépassée	32
Tableau 8 – Nombre de jours /an pendant lequel la contrainte de 1N/m ² est dépassée	32
Tableau 9 – Bilan des masses de sables sur les zones de vidage – sables	37
Tableau 10 – Bilan des masses de vases sur chaque zone de vidage	42
Tableau 11 – bilan de la stabilité des zones de vidage – vases et vases	43
Tableau 12 – Répartition altimétrique des dépôts de vases sur la zone Verdon-Bordeaux	48
Tableau 13 – Caractéristiques des sondes à enjeux écologiques	50
Tableau 14 – Concentrations en MES à Bordeaux et Pauillac déterminées à partir du Réseau MAGEST pour 4 périodes hydrologiques (2005-2006, 2008-2009, 2010-2011 et 2012-2013)	54
Tableau 15 – Concentration observée sur plusieurs sites	84
Tableau 16 – Bilan des masses rejetées dans l'estuaire	86
Tableau 17 – Bilan de la stabilité des zones de vidage – vases et vases	87

FIGURES

Figure 1 : Carte des passes et zones de vidage	3
Figure 2. Débit journalier de la Garonne et la Dordogne – octobre 2008 à septembre 2009	4
Figure 3. Localisation du point de la base HOMOERE utilisé	5
Figure 4. Houle au large de l'estuaire.....	5
Figure 5. Répartition temporelle des différentes opérations de dragage-rejet – octobre 2008 à septembre 2009	7
Figure 6. Masse de sables et vases rejetés par zone de l'estuaire	8
Figure 7 : courbes temporelles des masses de vases dans la zone Verdon-Bordeaux : au sol et en suspension.....	12
Figure 8 : courbe temporelle de la masse de sables dans la zone Verdon-Bordeaux.....	13
Figure 9 : Emprise des zones de cubature à l'échelle de l'estuaire	14
Figure 10 : Courbes temporelles des cubatures de masses de vases (sol et suspension) par zones à l'échelle de l'estuaire	15
Figure 11 : Courbes temporelles des masses de vases en suspension : Zones Large et Embouchure	16
Figure 12 : Courbes temporelles des masses de vases en suspension : Zone Verdon et Richard-Pauillac...	17
Figure 13 : Courbes temporelles des masses de vases en suspension : Zone Pauillac-Ambes, Ambes-Bordeaux, amont Garonne et amont Dordogne.	17
Figure 14. Masses de sables rejetées par zones de l'estuaire	18
Figure 15 : Rappel - Conditions hydrologiques de l'année 2008-009.	19
Figure 16 : Schéma des flux sur la période Octobre 2008 à fin septembre 2009	20
Figure 17 : Schéma des flux sur la période Octobre 2008 à fin décembre 2008	21
Figure 18 : Schéma des flux sur la période Janvier 2009 à fin mars 2009	21
Figure 19 : Schéma des flux sur la période d'Avril 2009 à fin juin 2009	22
Figure 20 : Schéma des flux sur la période juillet 2009 à fin septembre 2009.....	22
Figure 21 : Flux de masse de vase passant par la frontière de la zone Verdon	24
Figure 22 : Flux de masse de vase passant par la frontière de la zone Verdon (Zoom sur l'échelle verticale).....	24
Figure 23 : Exemple de panache de Mes sortant au moment de la crue.....	25
Figure 24 : Rappel : carte des passes pour les cubatures	27
Figure 25 : Courbes temporelles des masses de vases au sol dans les passes.....	28
Figure 26 : Répartition des masses de sables clapées par zone.....	33
Figure 27 : Courbes temporelles des masses de sables restant sur la zone d'immersion 4.3	34
Figure 28 : courbes temporelles des masses de sables restant sur la zone d'immersion 3.7	35
Figure 29 : courbes temporelles des masses de sables restant sur la zone d'immersion 3.4	35
Figure 30 : Courbes temporelles des masses de sables restant sur la zone d'immersion 2.4	36
Figure 31 : Courbes temporelles des masses de sables restant sur la zone d'immersion 1.8	37
Figure 32 : Répartition des masses de vases clapées par zone	38
Figure 33 : courbes temporelles des masses de vases restant sur la zone d'immersion 3.7	39
Figure 34 : Courbes temporelles des masses de vases restant sur la zone d'immersion 3.4	39
Figure 35 : Courbes temporelles des masses de vases restant sur la zone d'immersion 2.4	40
Figure 36 : Courbes temporelles des masses de vases restant sur la zone d'immersion 1.8	41
Figure 37 : Cartes de dépôt moyen et maximal -zoom embouchure	44
Figure 38 : Cartes de dépôt moyen et maximal -zoom Verdon Laména.....	45
Figure 39 : Cartes de dépôt moyen et maximal zoom Laména Ambès	46
Figure 40 : Cartes de dépôt moyen et maximal - zoom Ambès-Bordeaux	47

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

Figure 41 : Répartition des masses de vases au sol dans la zone Verdon-Bordeaux suivant la bathymétrie	49
Figure 42 : Localisation des zones en fonction de la bathymétrie.	49
Figure 43 : Evolution temporelle des dépôts sur quatre sites de l'estuaire de la Gironde	51
Figure 44 : Position du bouchon vaseux (source : A. SOTTOLICHIO, 1999)	53
Figure 45 : Concentration en MES en fonction du débit à Pauillac (a) et Bordeaux (b) (source : A. SOTTOLICHIO, 2011)	53
Figure 46 : Concentrations de MES à Bordeaux et Pauillac (source : d'après réseau MAGEST)	55
Figure 47 : Concentrations de MES en surface et fond en trois points de l'estuaire (source : d'après réseau SOMLIT)	56
Figure 48 : Cartes de MES MOYENNE (sur la verticale), moyenne et maximale (temporelle) en vase –vue générale	58
Figure 49 : Cartes de MES DE SURFACE moyenne et maximale (temporelle) en vase –vue générale	59
Figure 50 : Cartes de MES DE FOND, moyenne et maximale (temporelle) en vase –vue générale	59
Figure 51 : Cartes de MES (moyenne verticale), moyenne et maximale (temporelle) en Morte-eau (8-9 octobre (cf26-24-26-30) et 15-16 octobre en Vive-eau (cf100-102-103-103) sur la Zone 2.4	60
Figure 52 : Cartes de MES (moyenne verticale), moyenne et maximale (temporelle) en Morte-eau (8-9 octobre (cf26-24-26-30) et 15-16 octobre en Vive-eau (cf100-102-103-103) sur la Zone 3.7 et 3.4	61
Figure 53 : MES MOYENNE (sur la verticale), moyenne et maximale en vase -zoom embouchure	62
Figure 54 : MES MOYENNE (sur la verticale), moyenne et maximale en vase -zoom Verdon Lamena	63
Figure 55 : Cartes de MES MES MOYENNE (sur la verticale), moyenne et maximale en vase -zoom Lamena Ambes	64
Figure 56 : Cartes de MES MOYENNE (sur la verticale), moyenne et maximale en vase -zoom Ambes – Bordeaux	65
Figure 57 : Cartes de MES en SURFACE (à gauche) et au FOND (à droite), moyenne et maximale en vase -zoom Ambes –Bordeaux	66
Figure 58 : Position et extension du bouchon vaseux en fonction du débit d'après Aldo Sottolichio, Patrice Castaing - « A synthesis on seasonal dynamics of highly-concentrated structures in the Gironde estuary » - Surface Geosciences – Oceanography – 1999	68
Figure 59 : Temps de dépassement au seuil de 50 mg/l –estuaire	69
Figure 60 : Temps de dépassement au seuil de 500 mg/l -estuaire	70
Figure 61 : Temps de dépassement au seuil de 500 mg/l -zoom	71
Figure 62 : déplacement temporel du point de rejet modélisé pour simuler les activités de Jetsed	77
Figure 63 : étude d'incidence de la technique de remobilisation des sédiments par injection d'eau - essai 2009 : Mesures du courant et de la turbidité par les techniques OBS et ADCP	78
Figure 64 : profils verticaux calculés dans le modèle aux abords d'un point dragué par DIE	79
Figure 65 : profils verticaux calculés dans le modèle à 200m à l'aval d'un point dragué par DIE	79
Figure 66 : Concentration en MES au fond et en surface lors de l'expérimentation DIE de Bellerive	80
Figure 67 : Maximum de concentration en MES en surface lors de l'expérimentation DIE de Bellerive	81
Figure 68 : Maximum de concentration en MES au fond lors de l'expérimentation DIE de Bellerive	82
Figure 69 : Evolution temporelle des MES pour les usages – sites Plage de la Grande Conche et Marais Nord Medoc	83
Figure 70 : Evolution temporelle des MES – sites enjeux écologiques	84
Figure 71 : Cartes de MES moyenne et maximale en vase –vue générale	88

1. PREAMBULE

La bonne gestion des sédiments de dragage du chenal de navigation de l'estuaire de la Gironde est reconnue comme un enjeu majeur pour le bon fonctionnement de l'écosystème estuarien. En mars 2015, le SMIDDEST a lancé l'élaboration du premier plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire. Cette mission a été confiée à un groupement dont Artelia est mandataire.

La mission comprend 4 étapes :

- Etape n°1 : Etat des lieux – qualification et hiérarchisation des enjeux actuels
- Etape n°2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins
- Etape n°3 : Définition des scénarios
- Etape n°4 : Plan de gestion

Dans le cadre de l'étape 2, un modèle numérique a été réalisé. Il fait l'objet de trois rapports :

- Rapport RM1-E2-2 qui correspond à la description de la construction, du calage hydraulique et de la validation hydraulique du modèle ;
- Rapport RM1-E2-3 qui correspond à la présentation des hypothèses du calcul hydrosédimentaire des opérations de dragage ;
- Rapport RM1-E2-4 qui correspond à la présentation des résultats du calcul hydrosédimentaire.

Le présent document correspond au rapport RM1-E2-4.

2. EXPLOITATION DU MODELE

Nota : dans la suite du rapport, les termes suivants sont utilisés :

- **Bouchon vaseux** : relatif au milieu naturel. Il s'agit de la zone où la concentration en matière en suspension (MES) dépasse 1 g/l ;
- **Masse turbide** : relatif à la modélisation. Il s'agit des sédiments issus des opérations de rejets modélisés.

2.1. EXPLOITATION SUR L'ANNEE 2008-2009

Conformément aux hypothèses retenues dans le rapport RM1-E2-2, le modèle démarre au 1^{er} octobre 2008 avec de l'eau dépourvue de MES (Matières En Suspension) et de masse de sédiment au sol. Le modèle simule alors l'ensemble de la période du 1^{er} octobre 2008 au 1^{er} octobre 2009 en y incorporant au fur et à mesure les clapages effectués sur cette période. Le résultat en MES et dépôt est donc directement un impact « en eau claire », à comparer à un milieu ambiant existant. En effet, étant donné que l'on injecte dans le modèle que du sédiment issu des clapages, la concentration et les dépôts simulés ne sont donc que l'impact dus aux dragages. Les valeurs obtenues sont donc à analyser avec les concentrations ce que l'on a déjà dans le milieu ambiant (cf. rapport RM1-E1-1 - Fiche thématique n°1: hydrosédimentaire – bouchon vaseux – oxygène dissous, paragraphe 4.2.1).

Il est important de noter, pour mieux comprendre l'analyse, que la dispersion de chaque clapage et la reprise des dépôts sur les zones d'immersion par les conditions hydrodynamiques permettent d'alimenter une masse turbide qui vient naturellement se former et grossir au fur et à mesure des clapages. Cette masse turbide vient se concentrer logiquement sur la zone connue du bouchon vaseux et adopte la dynamique du bouchon vaseux naturel. Ces sédiments viennent donc alimenter une zone de maximum de turbidité. Il n'y a donc pas un état final représentatif en fin de calcul des impacts puisque les masses de sédiment suivent le mouvement du bouchon vaseux. C'est pourquoi les différentes analyses qui vont suivre sont principalement basées sur des paramètres temporels ou sur des analyses intégrant le paramètre temps :

- soit sur des courbes temporelles ce qui permet d'apprécier visuellement la variabilité temporelle des dépôts sur une zone par exemple,
- soit par des cartes qui intègrent alors le paramètre temps : moyenne, maximum, temps de dépassement à une valeur seuil.

Rappelons également que les hypothèses d'entrée pour le calcul hydrosédimentaire sont présentées dans le rapport RM1-E2-3.

A noter que plusieurs limites du calcul hydrosédimentaire représentant l'année de rejet effectuée par le GPMB :

- Il n'a pas été réalisé de calage hydrosédimentaire du modèle ;
- Il n'est pas possible de suivre des particules (pas de traceur) : il n'est donc pas possible de déterminer l'origine (par exemple : lieu et date du rejet) d'un sédiment en suspension ou déposé sur les fonds.

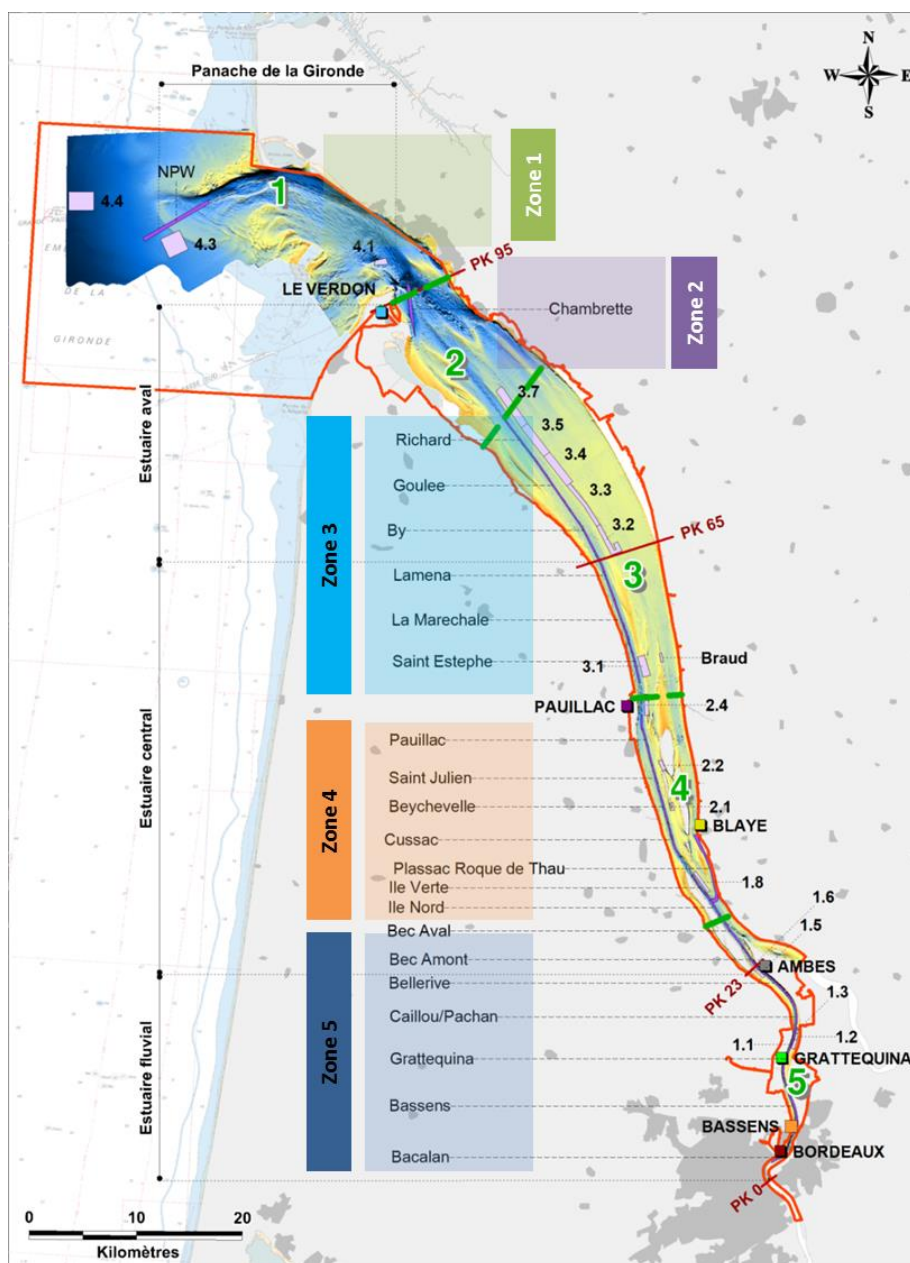
2.2. RAPPEL DES PASSES ET ZONES DE VIDAGE DE L'ESTUAIRE

Conformément aux pratiques du GPMB, nous avons regroupé les passes en 5 zones suivant leur localisation. Le même exercice a été réalisé pour les zones de vidage.

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

**Figure 1 : Carte des passes et zones de vidage**

SECTIONS	ZONES DE DRAGAGE	ZONES DE VIDAGE
Zone 1 – Passe de l'ouest, passe d'entrée en Gironde.	Ouest	4.1, 4.3, 4.4
Zone 2 – Verdon : passe de la Chambrette, accès et postes.	Chambrette	-
Zone 3 – Passes « aval » entre Pauillac et Le Verdon.	Richard, Goulée, By, Laména La Maréchale, Saint-Estèphe	3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.7
Zone 4 – Passes « intermédiaire » entre le Bec d'Ambès et Pauillac.	Saint-Julien, Pauillac, Beycheville, Cussac, Plassac-Blaye, Ile Verte, Ile du Nord	1.8, 2.1, 2.2, 2.4
Zone 5 – Passes « amont », de Bordeaux au Bec d'Ambès.	Bec aval, Bec amont, Pétroliers, Bellerive, Pachan, Caillou, Grattequina, Bassens, Bacalan	1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 1.6

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clavage et remise en suspension sur une année réelle complète

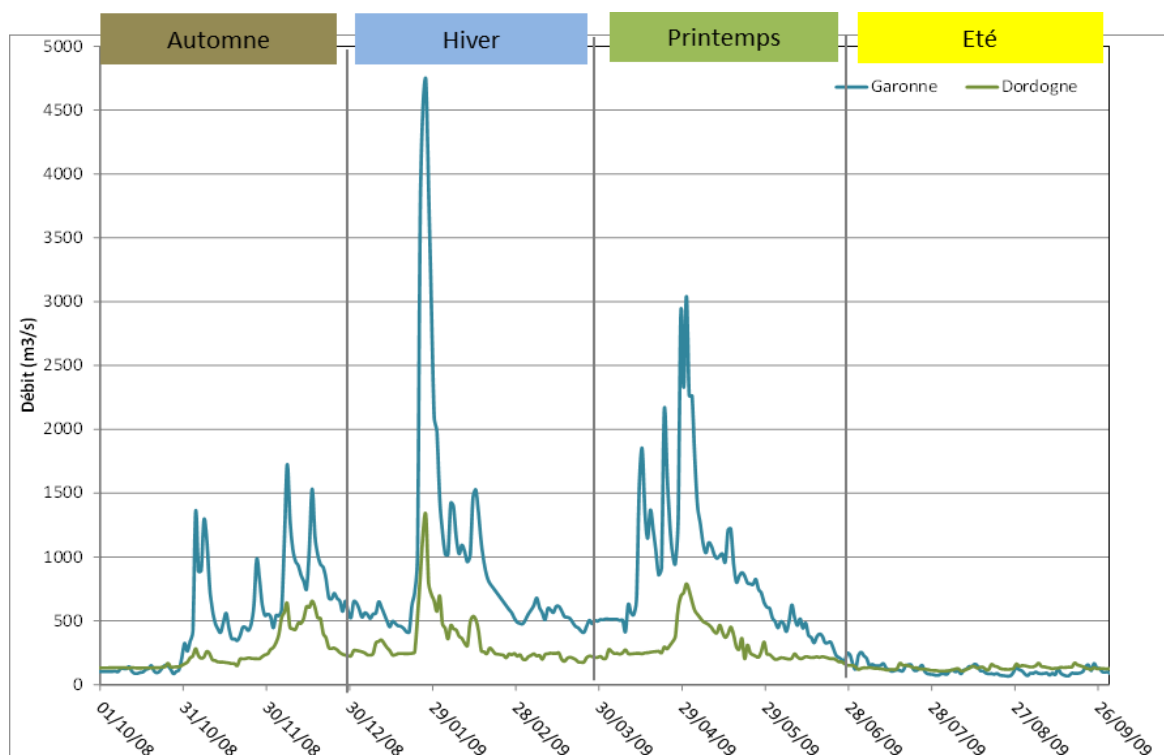
2.3. CONDITIONS IMPOSEES AU CALCUL HYDROSEDIMENTAIRE**2.3.1. Conditions hydro-météorologiques****2.3.1.1. Hydrologie**

L'année retenue pour l'exploitation du modèle est l'année hydrologique 2008-2009 (cf. rapport RM1-E2-3) qui s'étend du 1^{er} octobre 2008 au 30 septembre 2009.

Cette année a été retenue notamment car elle présentait des crues marquées et des étiages importants.

Tableau 1 – Crues de la Dordogne et Garonne en 2008-2009

Période	Conditions hydrologiques
Automne (oct. 2008 à déc. 2008)	<u>Débits modérés</u> - Garonne : trois crues autour de 1500 m ³ /s - Dordogne : deux crues autour de 500 m ³ /s
Hiver (janv. 2009 à mars 2009)	<u>Débits très importants :</u> - Garonne : une crue avec un débit proche de 5 000 m ³ /s + deux crues autour de 1500 m ³ /s - Dordogne : une crue autour de 1500 m ³ /s et 500 m ³ /s
Printemps (avril 2009 à juin 2009)	Débits importants Garonne : trois crues autour de 2000 m ³ /s et 3000 m ³ /s Dordogne : une crue autour de 800 m ³ /s
Été (juillet 2009 à sept. 2009)	Période d'étiage

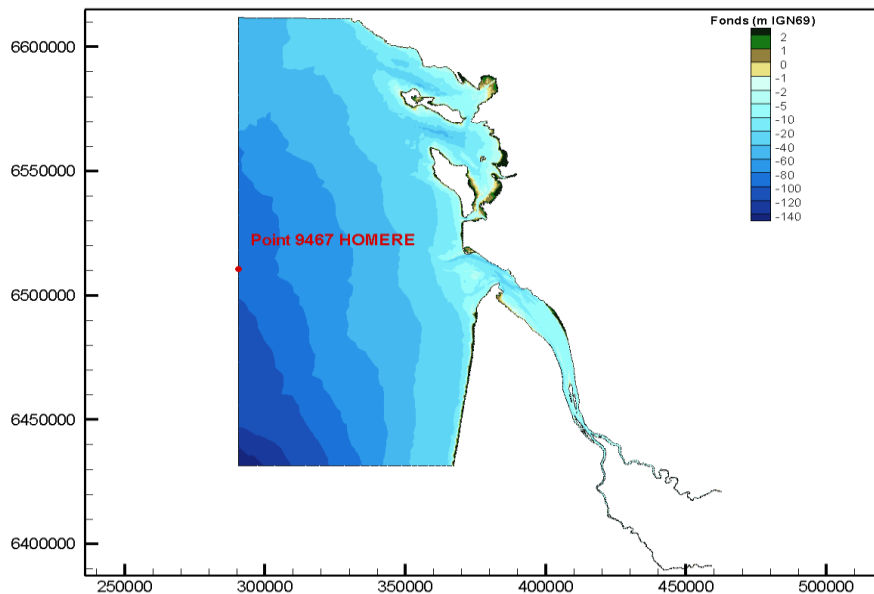
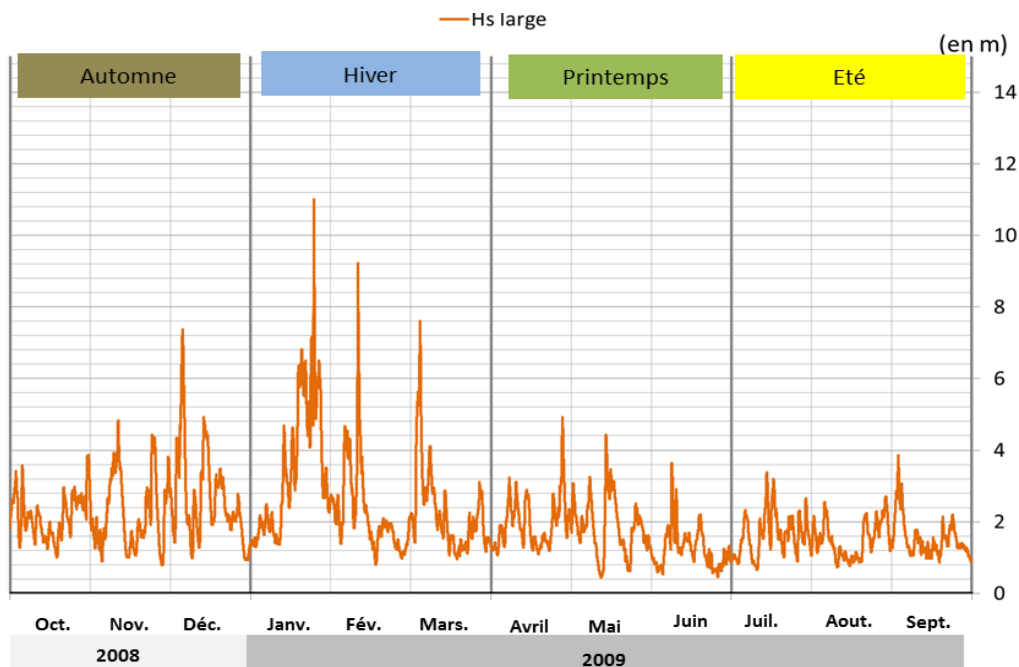
**Figure 2. Débit journalier de la Garonne et la Dordogne – octobre 2008 à septembre 2009**

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

*RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète***2.3.1.2. Houle**

Les données de houle au large ont été extraites de la base de données HOMERE (zone Manche – Golfe de Gascogne) au point 9467 au large de l'embouchure au niveau de la condition aux limites du modèle. Les données ont été propagées au niveau de l'estuaire par le logiciel TOMAWAC de la chaîne TELEMAC.

**Figure 3. Localisation du point de la base HOMERE utilisé****Figure 4. Houle au large de l'estuaire**

Ainsi, la matrice de propagation des houles a été calculée pour 10 classes de période et 11 classes de direction ainsi que pour des niveaux d'eau allant de -3 à +6 m IGN69 avec un pas de 0,25 m soit au total 4070 épures qui sont stockées dans la bibliothèque (cf. détails rapport RM1-E2-3).

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

2.3.2. Représentation des matériaux dragués

La modélisation 3D proposée permet de simuler un sédiment de type cohésif (vase) et trois sédiments de type non-cohésifs (sables).

Sur la base des résultats des analyses granulométriques, il a été décidé de représenter les sables par les trois classes suivantes qui représentent au mieux l'ensemble des sables observé dans les dragages le long de l'estuaire :

- Sable 1 (sable fin) : d=150 microns ;
- Sable 2 (sable moyen inf) : d= 300 microns ;
- Sable 3 (sable moyen sup) : d= 500 microns.

La partie sableuse est minoritaire dans les rejets et beaucoup moins dispersive que la partie vaseuse : les sables se déplacent essentiellement par remise en suspension (vitesse de chute forte) sur la partie basse de la colonne (quelques mètres) ou par charriage. Par conséquent, l'analyse des MES, dans cette étude, a porté uniquement sur les vases.

2.3.3. Techniques de rejets représentées et masses associées

Les trois techniques de dragage pratiquées en 2008-2009 ont été représentées dans le calcul hydrosédimentaire :

- Rejet par immersion (dragage La Maqueline, P. Lefort, Samuel de Champlain) : 4 703 clapages ont été modélisés représentant une masse totale de **6 570** milliers de tonnes de sédiments ;
- Rejet au fil de l'eau : du 18 mars au 26 avril 2009, le GPMB a procédé au dragage de la forme 3 de Bassens avec la drague stationnaire Baltimore. La masse rejetée (vases) sur cette période est d'environ 30 000 tonnes ;
- Dragage par injection d'eau : deux opérations expérimentales de dragage par injection d'eau ont été réalisées en 2009 : il a été considéré que les sédiments étaient composés uniquement de vases.

Tableau 2 – Masses de sédiments remobilisées lors des expérimentations du Dragage par Injection d'Eau

Localisation	Période	Volume total	Composition des sédiments
Bellerive	14-25 sept. 2009	Environ 404 022 m ³ (soit 262 614 t)	Vases
Bec aval	22 sept. 2009	Environ 10 688 m ³ (soit 6 947 t)	

Le tableau ci-après récapitule les masses concernées par les rejets :

Tableau 3 – Masses de sédiments rejetés représentés dans le calcul hydrosédimentaire

Type d'opérations	Période	Sédiments (en tonnes)		
		Sables	Vases	Total
Rejet par immersion	4 703 clapages sur l'année hydrologique	1 210 000	5 360 000	6 570 000
Rejet au fil de l'eau	18 mars au 26 avril 2009	0	30 000	30 000
Dragage par injection d'eau	14 – 25 sept. 2009	0	270 000	270 000
Total		1 210 000	5 660 000	6 870 000

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

Les immersions (en violet sur le graphique ci-après) sur les 4 principales zones de vidage ont lieu toute l'année, à l'exception des périodes allant de mi-décembre à mi-janvier et de juillet à début août.

Le dragage par injection d'eau dans la Garonne (en bleu turquoise sur le graphique ci-après) s'est déroulé en septembre 2009, en période d'étiage, sur un cycle de ME-VE-ME.

Le rejet au fil de l'eau dans la Garonne (en orange sur le graphique ci-après) s'est déroulé de mi-mars et fin avril, interceptant avec des débits modérés puis plus soutenus (2 000 m³/s en Garonne).

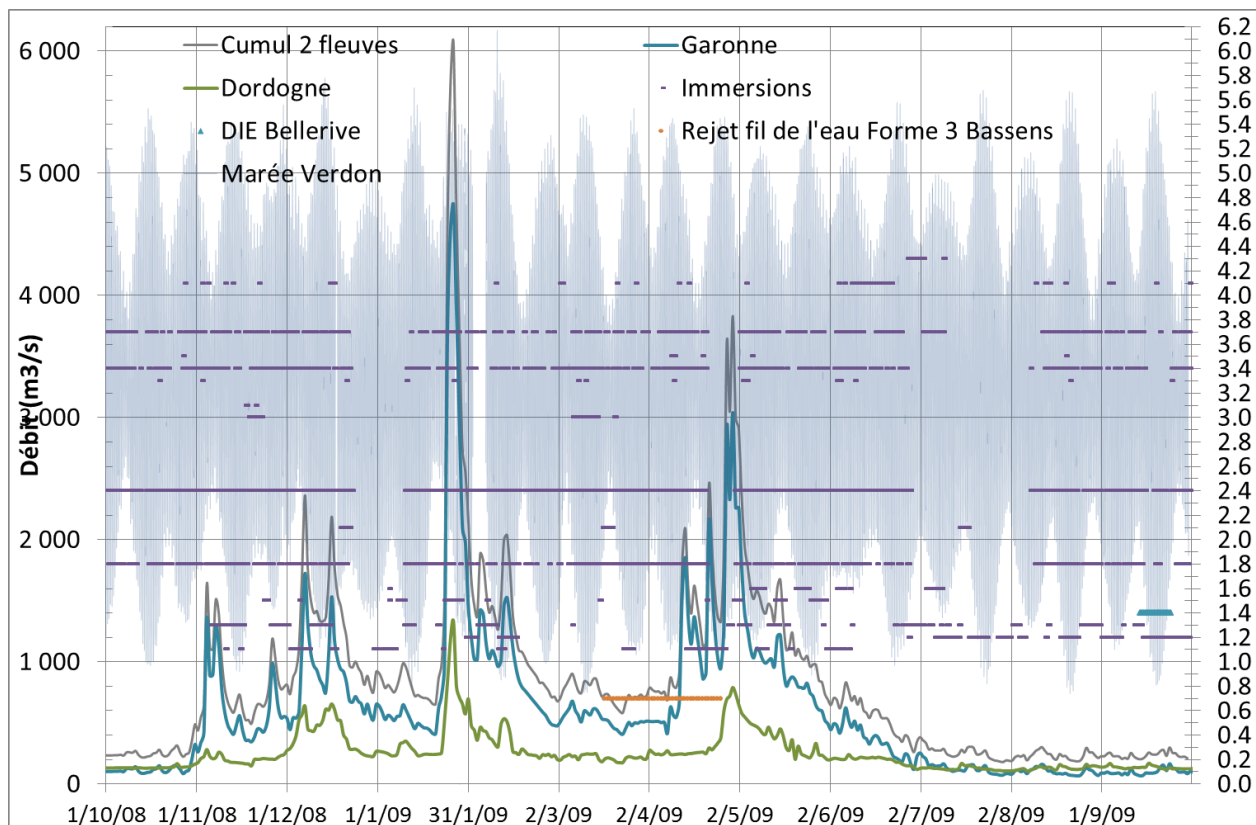


Figure 5. Répartition temporelle des différentes opérations de dragage-rejet – octobre 2008 à septembre 2009

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

2.3.4. Volumes rejetés sur les zones d'immersion

La répartition des masses de sable et vases clapées sur les zones d'immersion est présentée ci-après :

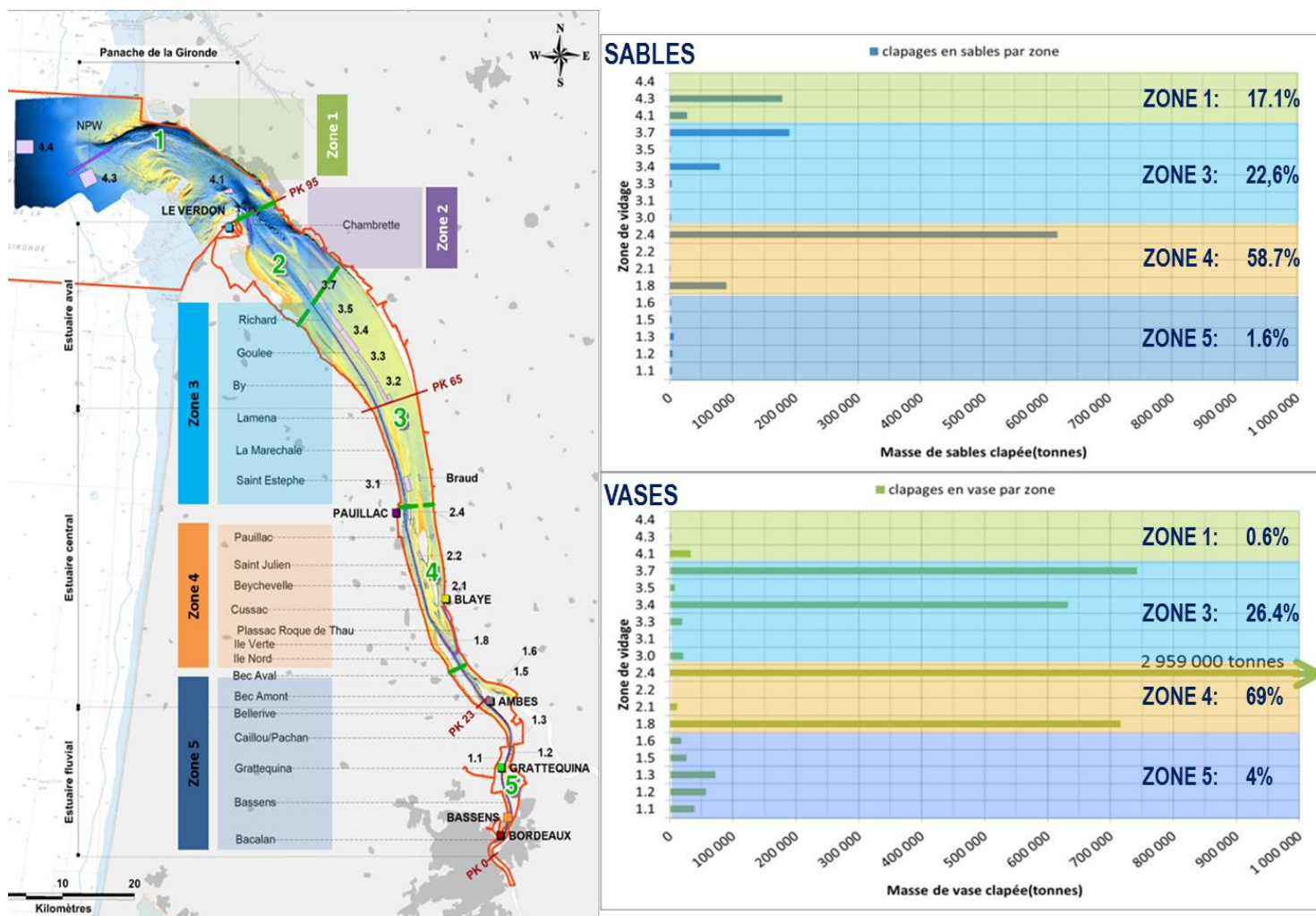


Figure 6. Masse de sables et vases rejetés par zone de l'estuaire

Ainsi, les zones de vidage les plus utilisées sont : 1.8, 2.4, 3.4, 3.7 et 4.3.

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

2.4. EXPLOITATION DU CALCUL

2.4.1. Rappel de l'objectif – source CCTP

L'objectif de la modélisation, telle que décrite dans le C.C.T.P. est de « mettre en évidence l'évolution physique de l'estuaire et d'expliciter le devenir des sédiments une fois clapés sur les zones d'immersion. »

Les résultats du modèle doivent « permettre une réelle amélioration de la connaissance de la dynamique sédimentaire de l'estuaire ».

« Le calcul doit permettre de répondre aux interrogations suivantes :

- la dispersion du sédiment lors du clapage,
- l'accumulation / dispersion des sédiments sur les zones d'immersion lors d'un clapage et de clapages cumulés,
- la dynamique hydrosédimentaire précise de l'estuaire (identification des zones d'accrétion et d'érosion). »

2.4.2. Organisation de l'exploitation des résultats du calcul

Nous avons identifié plusieurs « questions hydro-sédimentaires » pour lesquelles les résultats du calcul doivent permettre d'apporter une partie de réponse.

Ces questions sont présentées dans le tableau ci-dessous, auxquelles nous avons associé, pour chacune, un type d'analyse des résultats.

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

Tableau 4 – Questions hydro-sédimentaires et types d'analyse des résultats du calcul

N°	Question	Type d'analyse / Chapitre
1	Connaissance générale de la dynamique hydro-sédimentaire de l'estuaire : bénéficier de l'outil de modélisation et du fait que les sédiments clapés forment une zone de maximum de turbidité pour analyser la dynamique de l'estuaire.	Analyse spatiale et temporelle de la dynamique hydrosédimentaire de l'estuaire : → Répartition des masses → Flux saisonniers entre casiers (5 secteurs de dragage du GPMB + large+ amont Garonne + amont Dordogne) + bilan annuel. <i>Cf. Chapitre 3</i>
2	Analyse de la gestion actuelle des immersions	
2.1	Analyse à travers la dynamique de dépôt	
2.1.1	Retour de sédiments sur les passes draguées : Sur la masse draguée, quelle masse revient vers le chenal de navigation (passes) ?	<i>Analyse spatio-temporelle des dépôts dans le chenal de navigation</i> → Evolutions temporelles des masses qui se déposent (division en 5 grandes zones de dragages). <i>Cf. Chapitre 4.1.1</i>
2.1.2	Comportement des sédiments clapés sur les zones de vidage : Les zones de vidage actuelles sont stables ou dispersives ?	Evolution temporelle des masses au sol sur chaque zone de dépôt. Périmètre strict des zones de vidage. Cartographie du temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion, à travers l'estuaire. <i>Cf. Chapitre 4.1.2</i>
2.1.3	Impact général à travers l'estuaire : Quelles sont les zones qui vont être impactées par les dépôts ?	Cartographie des masses de dépôt Evolution temporelle des masses au sol sur certaines zones « à enjeu ». <i>Cf. Chapitres 4.1.3</i>
2.2	Analyse à travers la dynamique en suspension (Matières En Suspension)	
2.2.1	Impact dans l'estuaire : Quelle est la turbidité (MES) due aux dragages sur des zones particulières pour l'étude d'impact ? - enjeux écologiques (ressource halieutique, oxygène dissous) ; - usages (prises d'eau Blayais, plage de baignade, aquaculture marais Nord-Médoc).	Evolution temporelle des MES en différents points de sonde (zones sensibles) <i>Cf. Chapitre 4.2</i>
2.2.2	Remises en suspension liées aux pratiques de dragage-rejet : -Immersion sur les zones de vidage -Rejet au fil de l'eau dans la Garonne -Dragage à Injection d'Eau dans la Garonne : Quel est l'impact de ces techniques sur les MES ? est-il négligeable ou notable ?	Evolution temporelle des MES sur quelques points en amont et aval de la zone draguée / de la zone de rejet <i>Cf. Chapitre 4.2</i>

3. DYNAMIQUE GENERALE DE L'ESTUAIRE

Rappel : la dispersion des sédiments à chaque clapage et la reprise des dépôts sur les zones d'immersion par les conditions hydrodynamiques permettent d'alimenter une masse turbide qui vient naturellement se former et grossir au fur et à mesure des clapages. Cette masse turbide oscille sur la zone connue du bouchon vaseux et adopte la dynamique du bouchon vaseux naturel.

Cette partie analyse les résultats du modèle en termes d'évolution des masses en suspension au cours de l'année. Il convient de préciser que la masse sédimentaire finale à l'échelle de l'estuaire est le « cumul » du sédiment clapé, et n'a donc pas de relation avec le stock sédimentaire réel ou encore avec le stock sédimentaire réellement clapé au cours d'une année, puisqu'ici on fait l'hypothèse que chaque clapage est réalisé avec les particules « nouvelles », ou encore qu'une particule de sédiment n'est clapé qu'une seule fois dans l'année simulée.

L'objectif de ce chapitre est d'analyser, au travers de cette zone de turbidité maximale créé par les rejets, la dynamique générale de l'estuaire.

L'analyse se présente de la façon suivante :

- Répartition des sédiments : sol/suspension, estuaire/embouchure ;
- Evolution temporelle des masses en suspension en fonction des secteurs de l'estuaire ;
- Flux entre secteurs de l'estuaire.

3.1. REPARTITION DES MASSES DANS L'ESTUAIRE ET AU LARGE

3.1.1. Répartition des vases

Sur l'année 2008-2009 il a été rejeté au total 5,66 millions de tonnes de vases (immersion + rejet au fil de l'eau + dragage par injection d'eau) :

- Une minorité de vases (environ 1 millions de tonnes, soit 15-20 % des vases clapées) est expulsée vers le large ;
- La majorité reste dans l'estuaire interne puisque 4,6 millions de tonnes (soit 80 à 85%) se retrouvent dans la zone Verdon-Bordeaux :
 - 4,2 à 4,5 millions de tonnes (environ 75 à 80% des vases clapées), se déposent sur les fonds de l'estuaire.
 - Seulement 0,1 à 0,4 millions de tonnes de vases (soit environ 2 à 7 % des vases clapées) restent en suspension dans cette zone et adoptent la dynamique d'un bouchon vaseux.

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

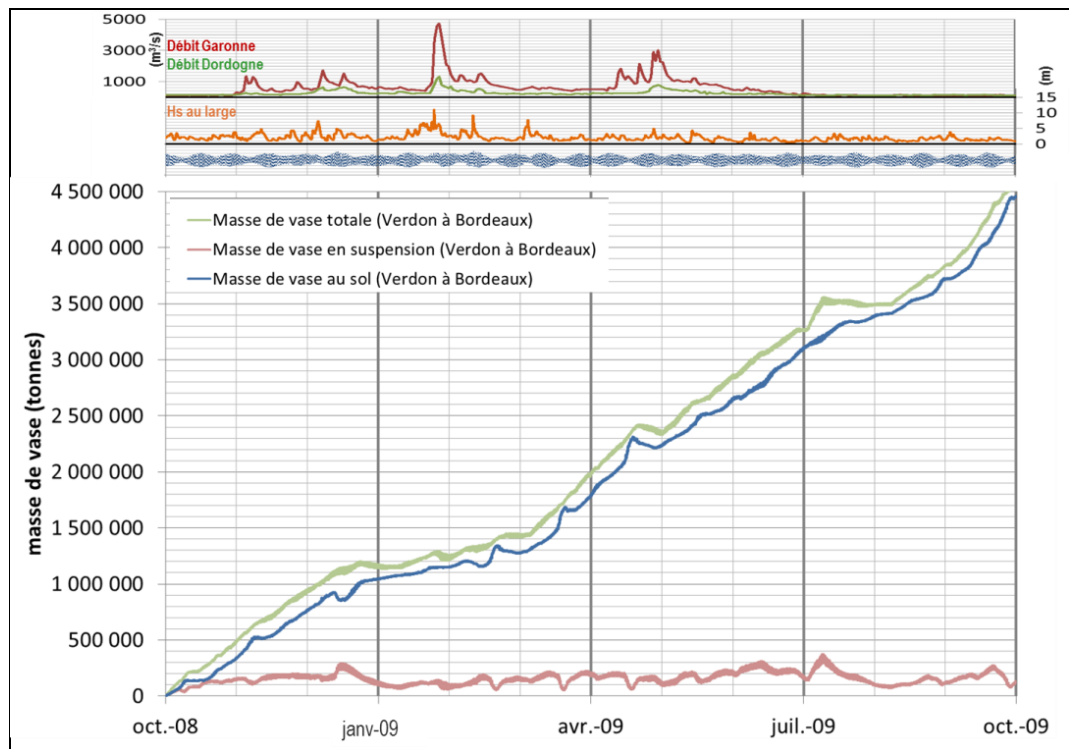


Figure 7 : courbes temporelles des masses de vases dans la zone Verdon-Bordeaux : au sol et en suspension

Ainsi, la très grande majorité des vases clapées se déposent. Cependant, avant le dépôt de la vase, il peut y avoir de forts mouvements de masse de vase en suspension : en effet, cette vase peut mettre un certain moment avant de se déposer (selon ses caractéristiques propres et conditions du milieu) et elle ne se retrouve pas forcément dans un dépôt stable. Ces vases pourraient être reprises lors de marées de forts coefficients et /ou lors d'épisodes de forts débits.

Afin d'analyser cette dynamique des vases, nous avons effectué un découpage de l'estuaire en plusieurs zones (cf. chapitre 3.2.1).

3.1.2. Répartition des sables

Sur les 1,2 M tonnes de sables clapés, 1,0 M tonnes (80%) sont clapés dans l'estuaire.

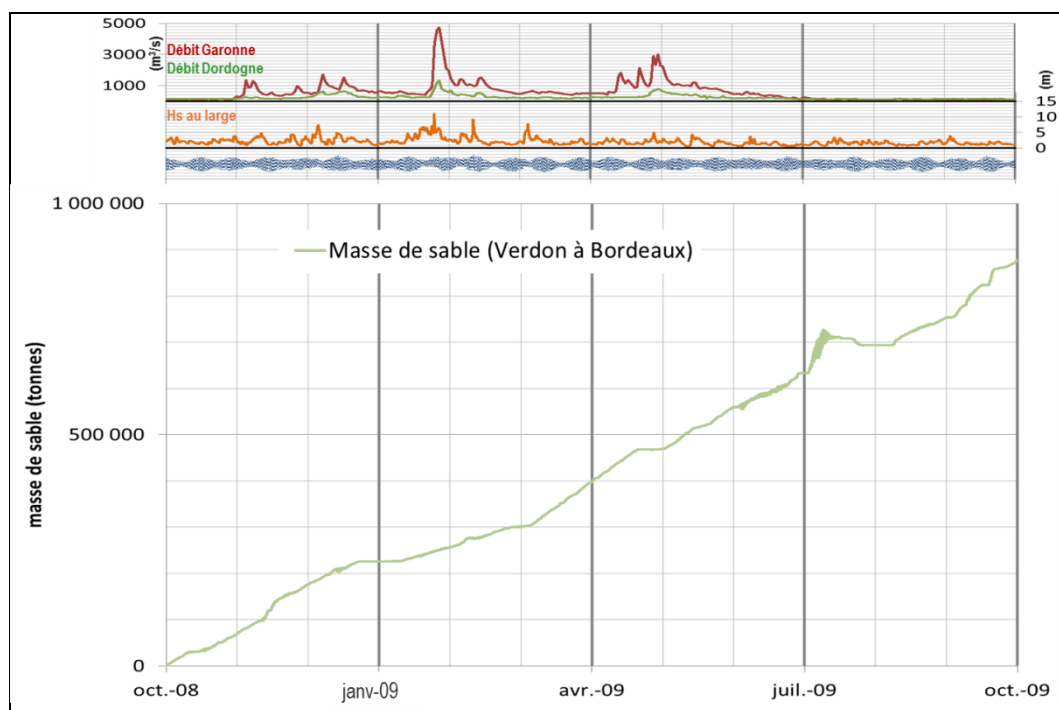
A la fin du calcul, il reste un peu moins de 900 000 tonnes dans l'estuaire (90%). Le sable se dépose sur les fonds ; il ne reste pas en suspension.

La répartition plus détaillée des sables dans l'estuaire est analysée au chapitre 3.2.2.

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

**Figure 8 : courbe temporelle de la masse de sables dans la zone Verdon-Bordeaux****3.1.3. Bilan des masses rejetées dans l'estuaire**

Le tableau récapitule les masses dans l'estuaire de la Gironde liées aux rejets. Au final, la grande majorité des sédiments (~80%) restent dans l'estuaire.

Tableau 5 – Bilan des masses rejetées dans l'estuaire

Sédiments	Dans l'estuaire		Hors estuaire	Rappel : masse total
	Dépôts	Remise en suspension		
Vases	4,2 à 4,5 M tonnes	0,1 à 0,4 M tonnes (2 à 10%)	1 M tonnes (18%)	5,66 M tonnes
Sables	0,9 M tonnes	Négligeable	0,3 M tonnes (25%)	1,2 M tonnes
Total	5,1 à 5,4 M tonnes	0,1 à 0,4 M tonnes (2 à 8%)	1,3 M tonnes (19%)	6,9 M tonnes

Le chapitre suivant détaille la répartition des sédiments à l'intérieur de l'estuaire.

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

3.2. REPARTITION DES MASSES A L'INTERIEUR DE L'ESTUAIRE

Nous avons sous-divisé l'estuaire en 8 zones pour analyser la répartition spatiale des sédiments :

- 1 - Large ;
- 2 – Embouchure (passe de l'Ouest, passe d'entrée en Gironde) ;
- 3 – Verdon (passe de la Chambrette) ;
- 4 – Richard-Pauillac (passes « aval » entre le Verdon et Pauillac) ;
- 5 – Pauillac-Ambès (passes « intermédiaire » entre Pauillac et le Bec d'Ambès) ;
- 6 – Ambès-Bordeaux (passes « amont » du Bec d'Ambès à Bordeaux) ;
- 7 – Garonne amont ;
- 8 – Dordogne.

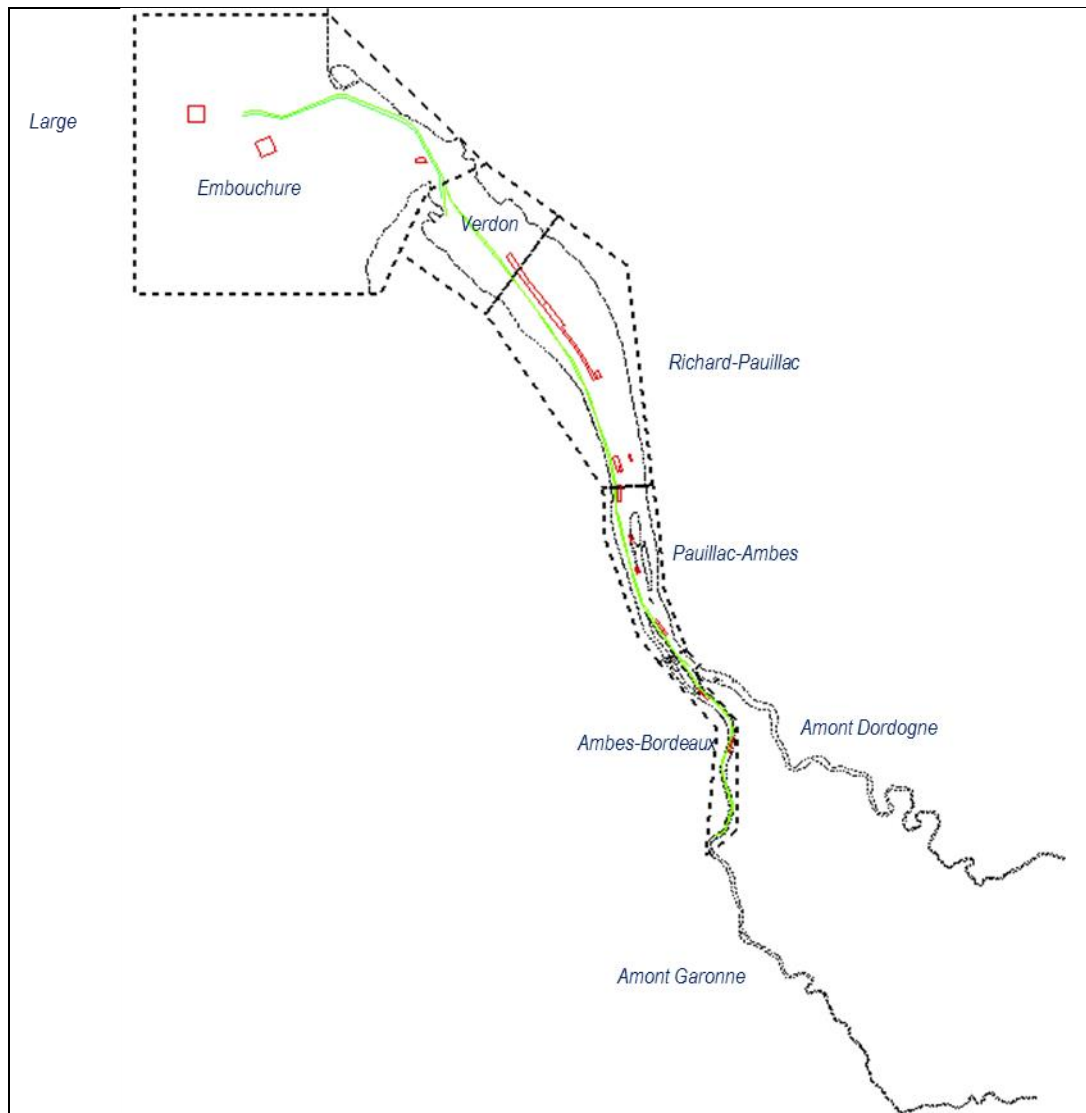


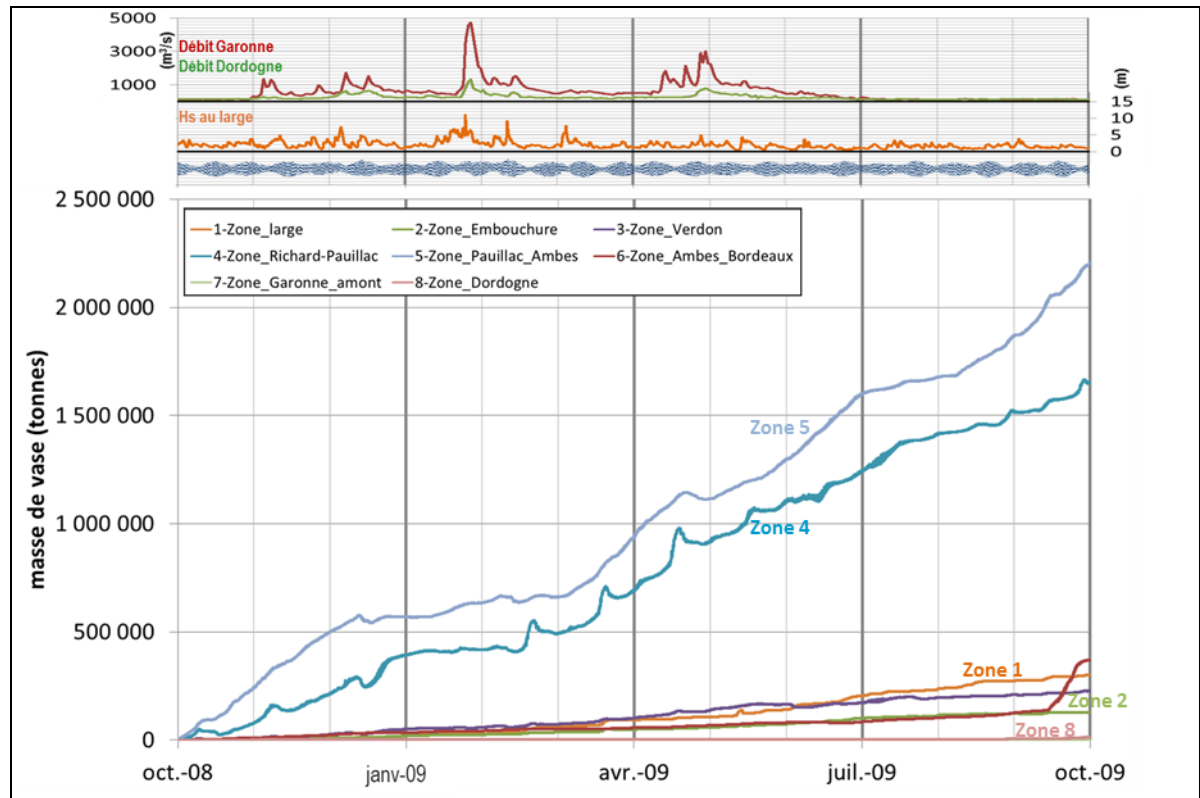
Figure 9 : Emprise des zones de cubature à l'échelle de l'estuaire

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

Des cubatures ont été effectuées, au cours du temps (évolution temporelle) à l'intérieur de ces zones pour déterminer l'ensemble des masses présentes. L'analyse distingue les vases (§ 3.2.1) des sables (§ 3.2.2).

3.2.1. Masses de vases rejetées par zones de l'estuaire

Nota : les courbes 7 et 8 se superposent.

Figure 10 : Courbes temporelles des cubatures de masses de vases (sol et suspension) par zones à l'échelle de l'estuaire

On constate que la majeure partie des vases (sol + suspension) se retrouve dans le secteur *Richard-Pauillac* et le secteur *Pauillac-Ambès*. Ce qui n'est pas une surprise étant donné que :

- La majeure partie des clapages s'effectue dans ces zones ;
- Le bouchon vaseux se trouve majoritairement sur ces zones (cf. paragraphe 4.2.1).

On notera une remontée des vases sur le secteur *amont* (cf. rapport RM1-E1-1 - Fiche thématique n°1: hydrosédimentaire – bouchon vaseux – oxygène dissous, paragraphe 4.2.1) en fin de simulation qui s'explique par une période de fin d'étiage (condition favorable à la remontée des vases vers l'amont) et par la réalisation des expérimentations de dragage à injection d'eau (apport de vases).

La partie des clapages restant en suspension reste mineure mais nous pouvons en analyser les mouvements (figures suivantes) :

- La masse turbide suit la dynamique générale du bouchon vaseux. En particulier, en hiver, est observé un fort transfert de la masse turbide comprise dans la zone *Richard-Pauillac* vers les zone *Embouchure* et *Large*, ce qui représente une expulsion de la masse turbide lorsque les débits sont forts (Figure 11).

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

- Lorsque les débits diminuent, les masses turbides se reconstituent à l'amont par transfert des masses de l'aval vers l'amont et directement par les masses clapées à l'amont.

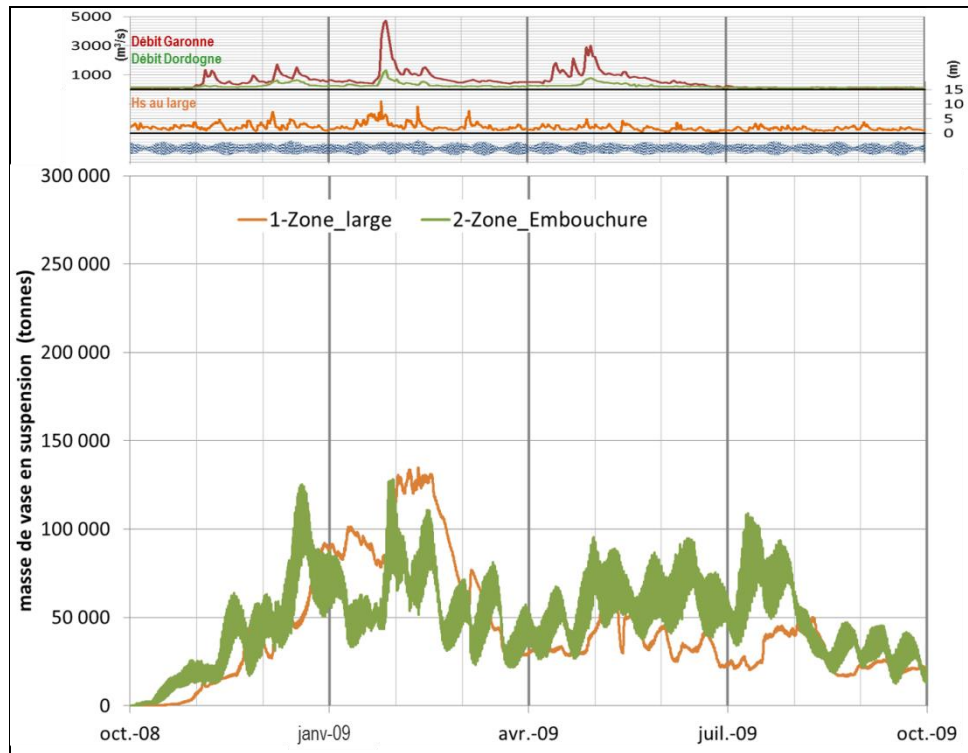
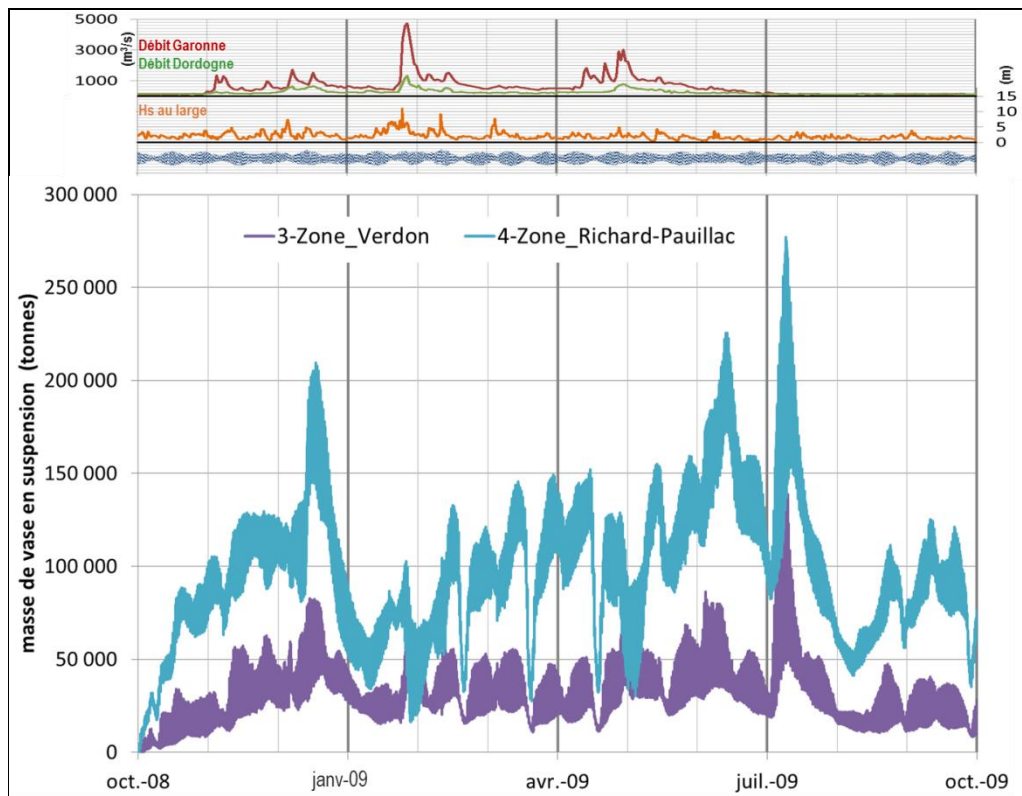


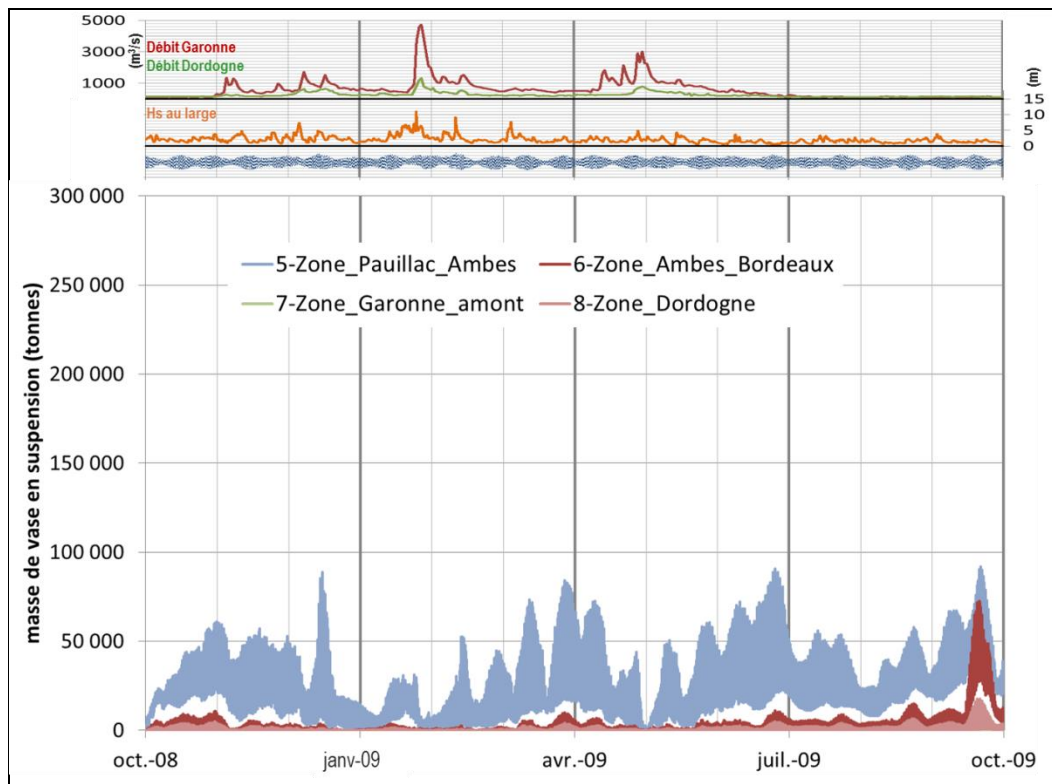
Figure 11 : Courbes temporelles des masses de vases en suspension : Zones Large et Embouchure



Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

Figure 12 : Courbes temporelles des masses de vases en suspension : Zone Verdon et Richard-Pauillac

Nota : zone 7 et 8 se superposent

Figure 13 : Courbes temporelles des masses de vases en suspension : Zone Pauillac-Ambes, Ambes-Bordeaux, amont Garonne et amont Dordogne.

On observe également sur les courbes la dynamique sédimentaire associées aux cycles de marées vives-eaux – mortes-eaux :

- Les vives-eaux (forts courants de marée) favorisent la remise en suspension ; les masses en suspension sont plus importantes qu'en mortes-eaux ;
- En période de mortes-eaux (plus faibles courants de marée), la masse en suspension diminue ; les vases se déposent sur les fonds.

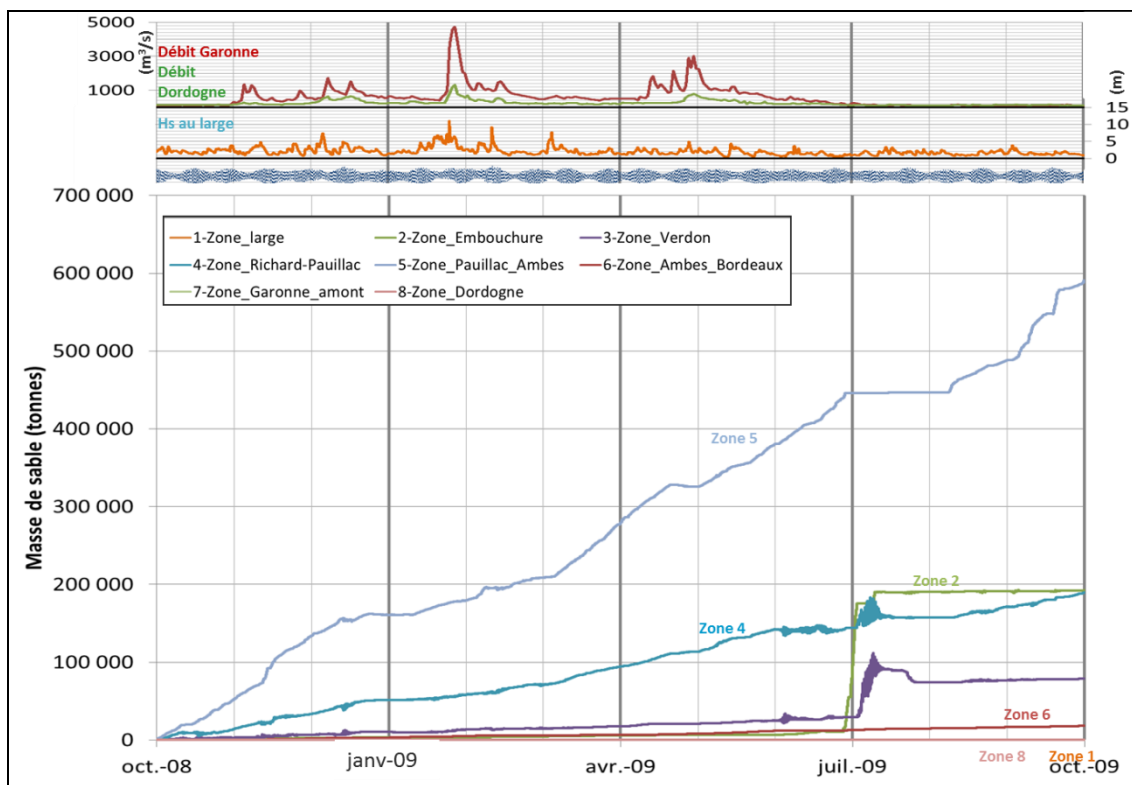
3.2.2. Masses de sables rejetées par zones de l'estuaire

Comme pour les vases, la majeure partie des sables se retrouve dans le secteur *Pauillac-Ambès* ce qui correspond à la majeure partie des clapages. Une partie du sable clapé dans ce secteur central (15-20%), les sables fins les plus mobiles, est évacuée vers l'aval.

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

**Figure 14. Masses de sables rejetées par zones de l'estuaire**

3.3. FOCUS SUR LES FLUX DE VASES SUR LA PERIODE D'OCTOBRE 2008 A FIN SEPTEMBRE 2009

3.3.1. Méthodologie

Le paragraphe précédent a permis de faire un bilan des masses présentes dans l'estuaire (et sur chaque zone) et celles sortant de celui-ci.

Cependant, ces augmentations de masses de chaque zone ne sont pas dues exclusivement à des déplacements, mais elles sont aussi dues temporairement à la zone sur laquelle est clapé le sédiment.

C'est pourquoi, nous avons effectué un bilan de masse par zone et déterminé un schéma des flux de sédiment à l'intérieur de l'estuaire. Nous avons effectué ce schéma de flux pour l'année entière et pour des périodes de 3 mois pour lesquels les débits sont assez représentatifs de chaque saison. En raison des masses considérées (sables minoritaires), l'analyse a porté uniquement sur les vases.

L'objet de cette analyse des flux est de préciser la dynamique globale de la zone de turbidité maximale liée aux rejets et d'analyser l'influence des forçages (conditions hydrologiques) sur cette dynamique. C'est pourquoi, l'analyse des flux a porté sur les 4 périodes suivantes :

Période	Conditions hydrologiques	Conditions de houle au large
Automne (oct. 2008 à déc. 2008)	<u>Débits modérés</u> - Garonne : 3 crues autour de 1500 m ³ /s - Dordogne : 2 crues autour de 500 m ³ /s	3-5 m
Hiver (janv. 2009 à mars 2009)	<u>Débits très importants</u> : - Garonne : une crue avec un débit proche de 5 000 m ³ /s + deux crues autour de 1500 m ³ /s - Dordogne : une crue autour de 1500 m ³ /s et 500 m ³ /s	3-5 m avec des pics entre 5 et 10 m
Printemps (avril 2009 à juin 2009)	Débits importants Garonne : trois crues autour de 2000 m ³ /s et 3000 m ³ /s Dordogne : une crue autour de 800 m ³ /s	2-4 m
Eté (juillet 2009 à sept. 2009)	Période d'étiage	2-4 m

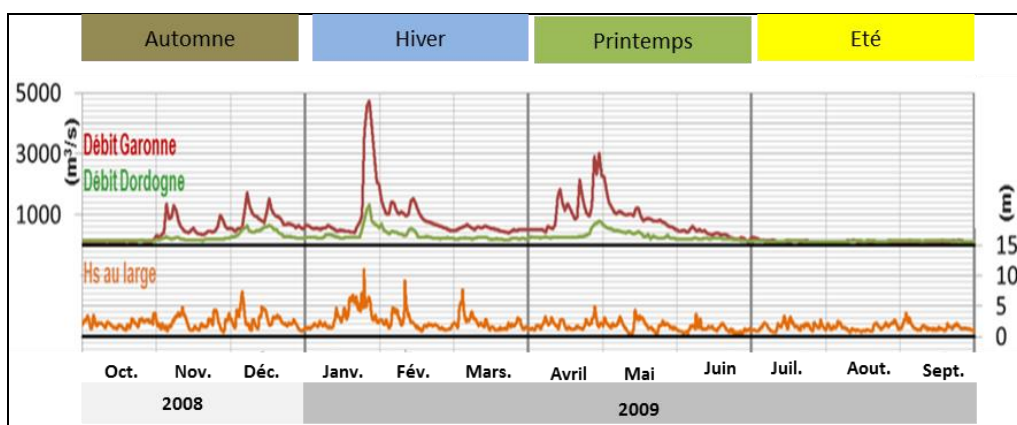


Figure 15 : Rappel - Conditions hydrologiques de l'année 2008-009.

Nota : les débits de crues sont précisés dans le rapport (cf. rapport RM1-E1-1 - Fiche thématique n°1: hydrosédimentaire – bouchon vaseux – oxygène dissous). Plus précisément, les débits hivernaux de la période 2008-2009 sont proches de la moyenne observée sur la période 1959-2013. De plus, la crue de janvier 2009 correspond à un débit de la Garonne de 4 700 m³/s, soit proche du débit décennal (5 000 m³/s). A titre d'information, les débits des crues suivantes peuvent être soulignés : 4000 m³/s en mars 2006, 4200 m³/s en juin 2013 et 4500 m³/s en janvier 2014.

Pour les figures suivantes, la légende suivante est utilisée pour l'analyse des flux :

- Les **carrés rouges** représentent les clapages dans la zone durant la période.
- Les **flèches bleu foncé** indiquent les flux de sédiment entre chaque zone durant la période.
- Les **cercles bleu clair** représentent les zones et indiquent la masse de vase se trouvant dans la zone à la fin de la période moins la masse de vase se trouvant dans la zone en début de période.
- **En vert** est indiqué pour chaque zone le gain ou la perte de sédiment hors clapage, cette indication permet de savoir si la zone est naturellement (hors forçage anthropique) en période d'accumulation ou de perte de sédiment.

3.3.2. Résultats des flux à travers l'estuaire et variabilité saisonnière

Sur l'année, d'octobre 2008 à fin septembre 2009, on voit d'après ce schéma récapitulatif, que la majorité des sédiments sont clapés dans la zone *Pauillac-Ambès* avec un apport de 3,30 millions de tonnes.

Sur cet apport, seuls 2,24 millions de tonnes restent sur cette zone (cette zone est donc en perte de 1,06 millions de tonnes). Le sédiment qui ne reste pas sur place va vers la zone *Richard-Pauillac* sur laquelle se dépose 0,28 millions de tonnes en plus des 1,45 millions de tonnes qui y sont clapées. Il reste donc un flux de sédiment de 0.90 millions de tonnes qui se déplace vers l'aval et transite jusqu'au large.

Au final, il s'agit de la zone *Pauillac - Ambes* qui récupère le plus des sédiments clapés avec 2,24 millions de tonnes, suivi de la zone *Richard-Pauillac* avec 1,44 millions de tonnes puis la zone large avec 0.92 millions de tonnes.

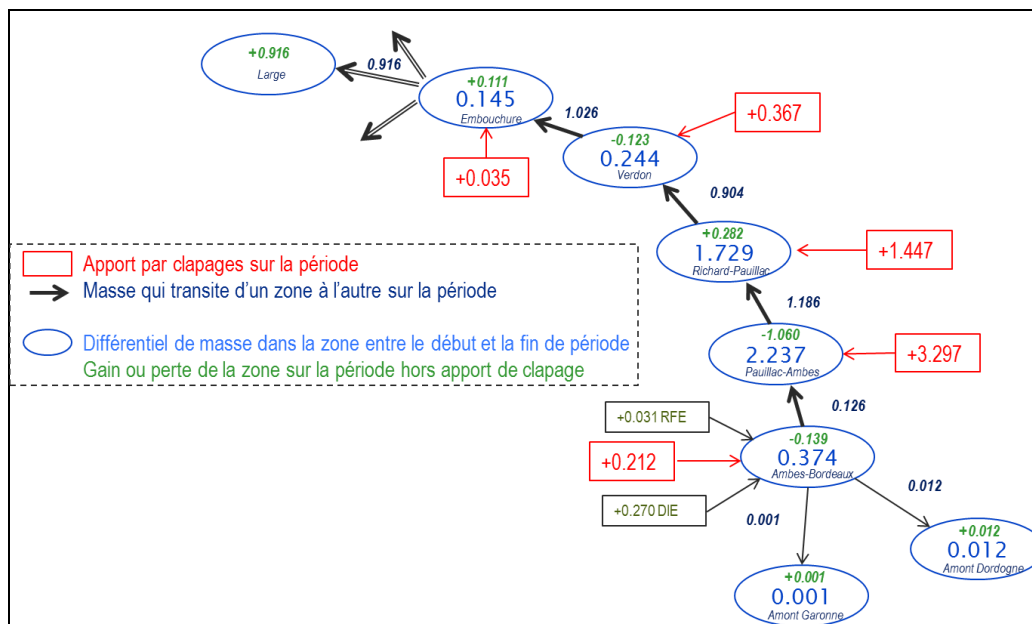


Figure 16 : Schéma des flux sur la période Octobre 2008 à fin septembre 2009

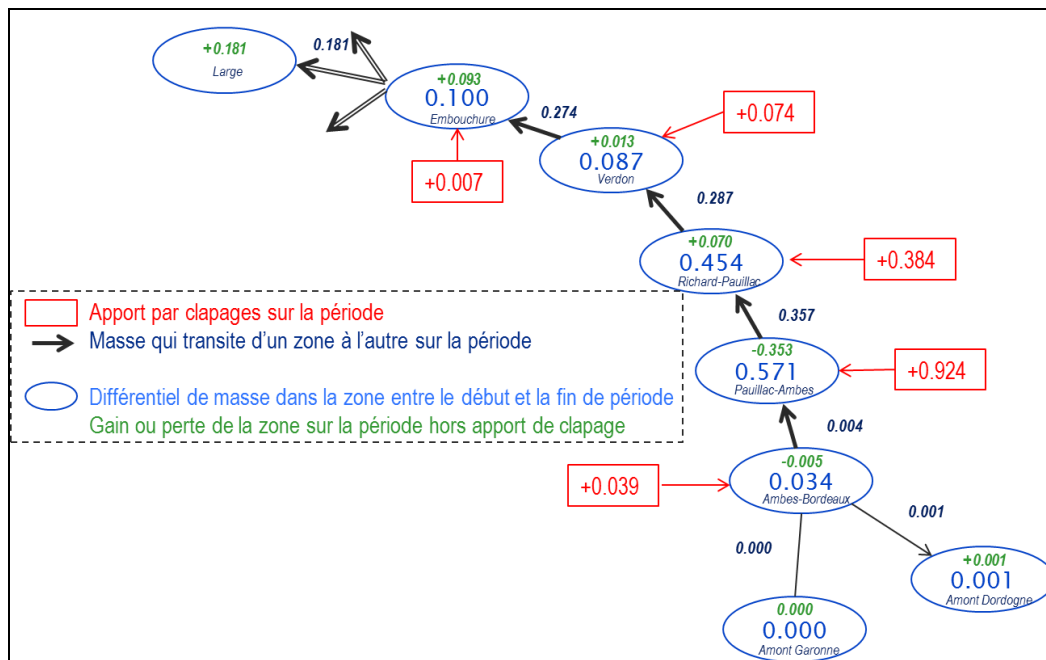
Ci-après, le même bilan est effectué mais pour 4 sous périodes de l'année.

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

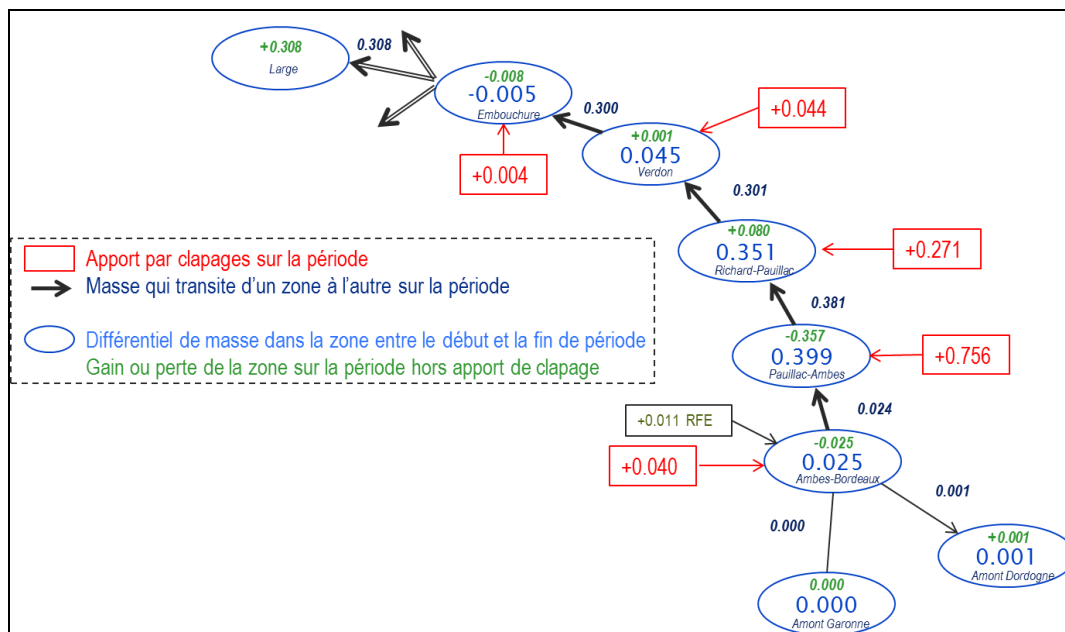
RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

● Schéma des flux : période « automne »

**Figure 17 : Schéma des flux sur la période Octobre 2008 à fin décembre 2008**

En période « automne », une part importante (40%) des sédiments entrant dans la zone centrale de Pauillac-Ambès sont expulsés vers l'aval. Les flux de sédiments venant de l'amont se déposent majoritairement au large, à l'embouchure et sur le secteur de Richard-Paulliac.

● Schéma des flux : période « hiver »

**Figure 18 : Schéma des flux sur la période Janvier 2009 à fin mars 2009**

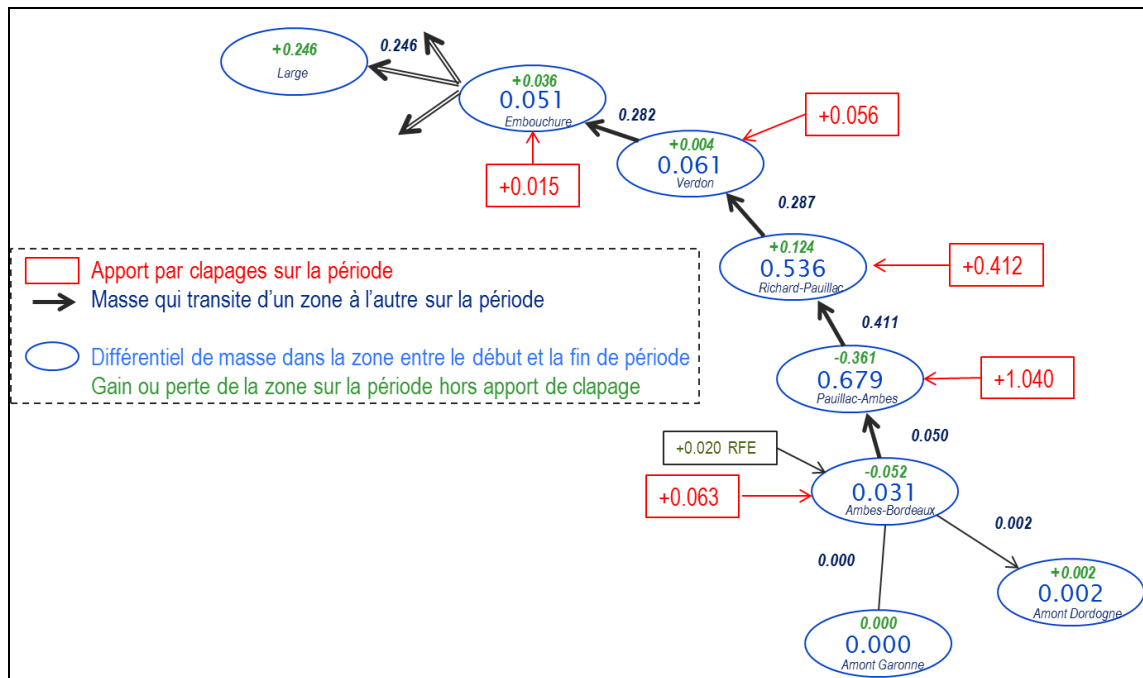
En période « hiver », une part importante (47%) des sédiments entrant dans la zone centrale de Pauillac-Ambès sont expulsés vers l'aval. Une part importante de sédiments venant de l'estuaire part vers le large.

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

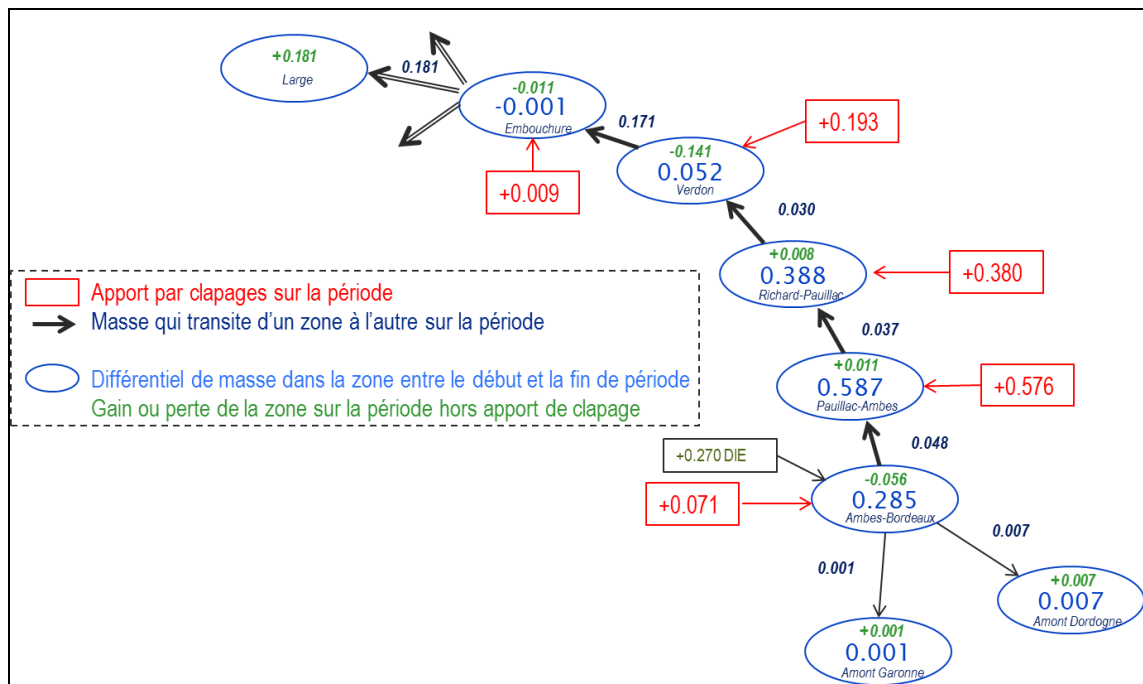
RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

● Schéma des flux : période « printemps »

**Figure 19 : Schéma des flux sur la période d'Avril 2009 à fin juin 2009**

En période « printemps », environ un tiers (35%) des sédiments entrant dans la zone centrale de Pauillac-Ambès sont expulsés vers l'aval. Le secteur de Richard-Pauillac capte une partie des sédiments. L'estuaire alimente également le large.

● Schéma des flux : période « été »

**Figure 20 : Schéma des flux sur la période juillet 2009 à fin septembre 2009**

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

En « été » les flux entre secteurs de l'estuaire sont très faibles.

Cette analyse est bien évidemment une simplification puisque faite à partir de bilans (flux). Cette analyse ne permet pas de préciser l'origine ou la provenance de tel ou tel sédiment clapé (pas de traçage).

Cependant on peut effectuer le schéma global de dispersion des clapages de la zone Verdon-Bordeaux suivant ce tableau ce qui permet de différencier les différents schémas de dynamique suivant les saisons:

Secteur Verdon-Bordeaux	Deb. Oct 08 à deb. Janv 09 Automne	Deb. janv 09 à deb. Avril 09 Hiver	Deb. Avril 09 à deb. Juillet 09 Printemps	Deb. Juillet 09 à deb. Oct 09 Ete	Deb. Oct 08 à deb. Oct 09 Année
Flux aval sortant	0.274 (Mt)	0.300 (Mt)	0.282 (Mt)	0.171 (Mt)	1.026 (Mt)
% des masses clapées correspondantes	19%	27%	18%	11%	18%
Masse restant dans l'estuaire	1.147 (Mt)	0.822 (Mt)	1.309 (Mt)	1.320 (Mt)	4.597 (Mt)
% des masses clapées correspondantes	81%	73%	82%	89%	82%
Clapages sur la zone Verdon-Bordeaux	1.421 (Mt)	1.121 (Mt)	1.591 (Mt)	1.491 (Mt)	5.624 (Mt)

Tableau 6 – Schéma de dispersion des clapages sur la zone Verdon-Bordeaux

Les flux sortant saisonniers sont corrélés principalement au débit. Les clapages sur chaque saison sont quasiment équivalents (environ 1,5Mt) sauf en hiver 1,1Mt alors que c'est sur cette période que les sédiments sont le plus expulsés au large.

De façon assez logique et similairement à la dynamique d'un bouchon vaseux, la période estivale (faible débit) est propice à la conservation des sédiments à l'intérieur de l'estuaire : ainsi, environ 11% des masses clapées de vases sont expulsées ; la période hivernale est favorable pour expulser les sédiments au large : 27% des vases sont expulsés.

On rappellera ici que les pourcentages calculés sont liés à l'année simulée et que ces flux sont à manier avec précaution, car ils ne sont pas forcément additionnables avec les flux du bouchon vaseux naturel. Ils ont été principalement effectués pour visualiser des dynamiques différentes suivant les saisons.

3.3.3. Focus : influence de la crue sur les flux

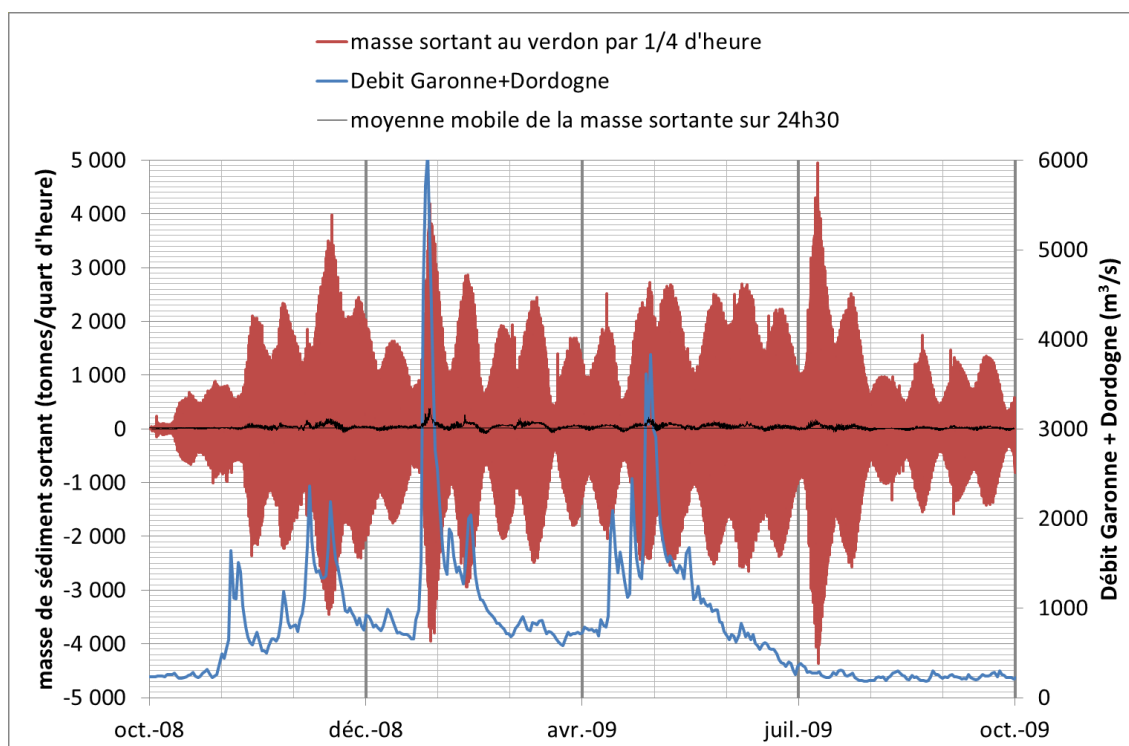
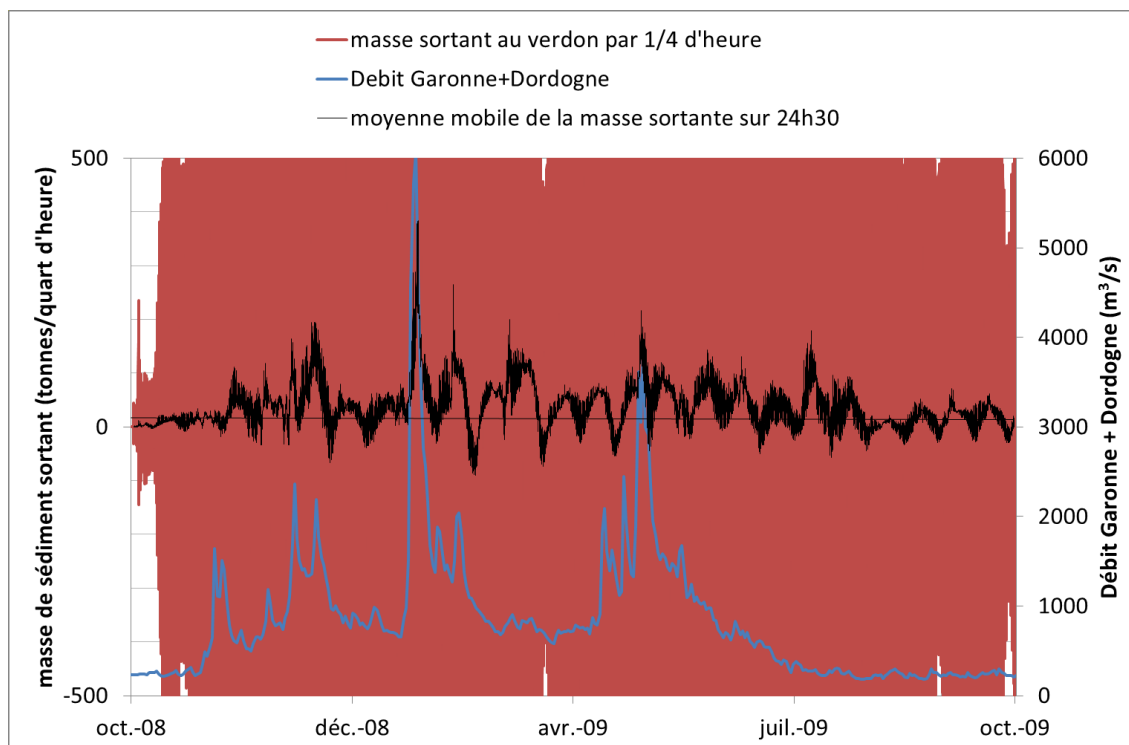
Afin de déterminer l'influence d'une crue sur les flux, il a été représenté le flux temporel de vase passant par la frontière de la zone Verdon (« + » sort de l'estuaire, « - » rentre dans l'estuaire). En raison du va-et-vient des marées, ce flux ne cesse d'osciller : le flux aval sortant calculé dans le chapitre précédent n'est que le résidu de ce signal sur la période étudié.

C'est pourquoi, l'analyse a été effectuée sur une moyenne mobile de ce signal sur 24h30 afin de filtré l'effet de la marée (trait noir sur les graphiques).

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

**Figure 21 : Flux de masse de vase passant par la frontière de la zone Verdon****Figure 22 : Flux de masse de vase passant par la frontière de la zone Verdon (Zoom sur l'échelle verticale)**

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

Sur la période de crue du 23 janvier au 15 février 2009 (24 jours - pour des débits supérieurs à $1300 \text{ m}^3/\text{s}$), le flux sortant calculé est de 216 000 tonnes. Il correspond à :

- 72 % du flux sortant calculé sur la période d'hiver (1er janvier au 1er avril) ;
- 77% du flux sortant calculé sur la période d'automne ou de printemps ;
- 122% du flux sortant calculé sur la période estivale.

Ce qui montre l'influence des crues et donc des forts débits dans l'expulsion des sédiments.

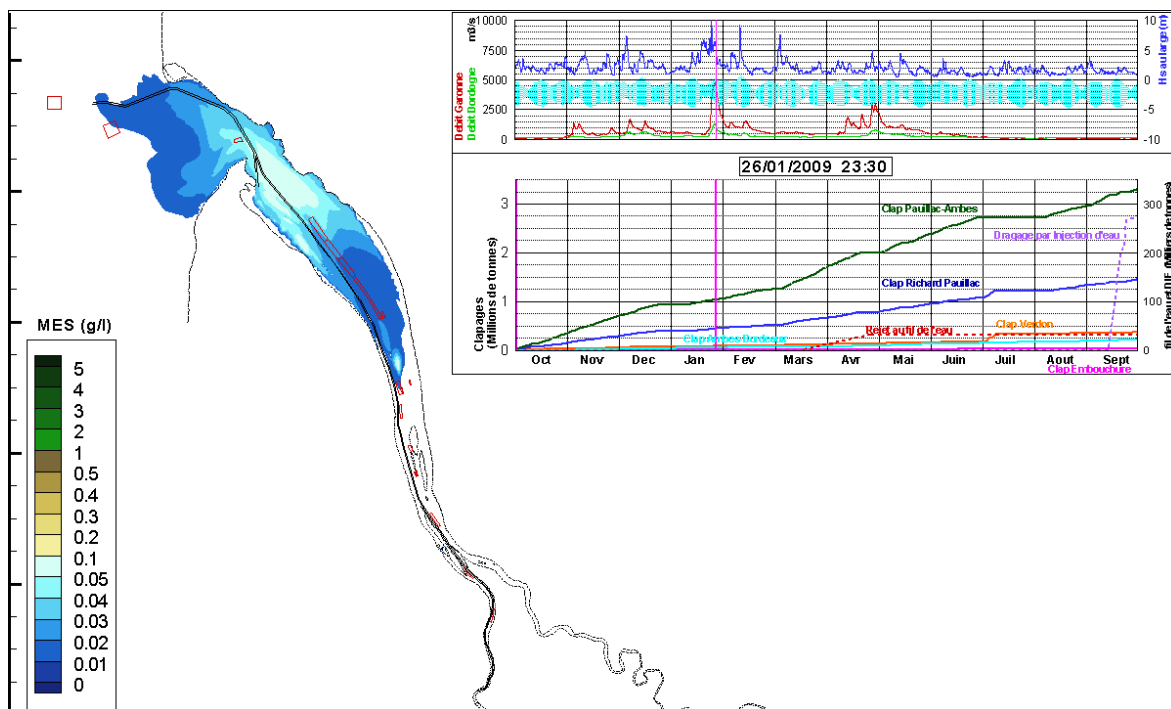


Figure 23 : Exemple de panache de Mes sortant au moment de la crue

4. ANALYSE DE LA GESTION ACTUELLE

4.1. ANALYSE DES DEPOTS

4.1.1. Passes draguées : analyse des retours des sédiments dans le chenal (dépôts)

L'objectif est de déterminer l'efficacité des opérations de dragage/clapage au regard des sédiments qui retournent dans le chenal. Existe-il des passes sur lesquelles les sédiments viennent se déposer ?

Afin d'estimer la quantité de sédiment clapée qui retourne vers les zones draguées, nous avons cubé au cours du temps les masses de vases qui se trouvent dans les passes draguées.

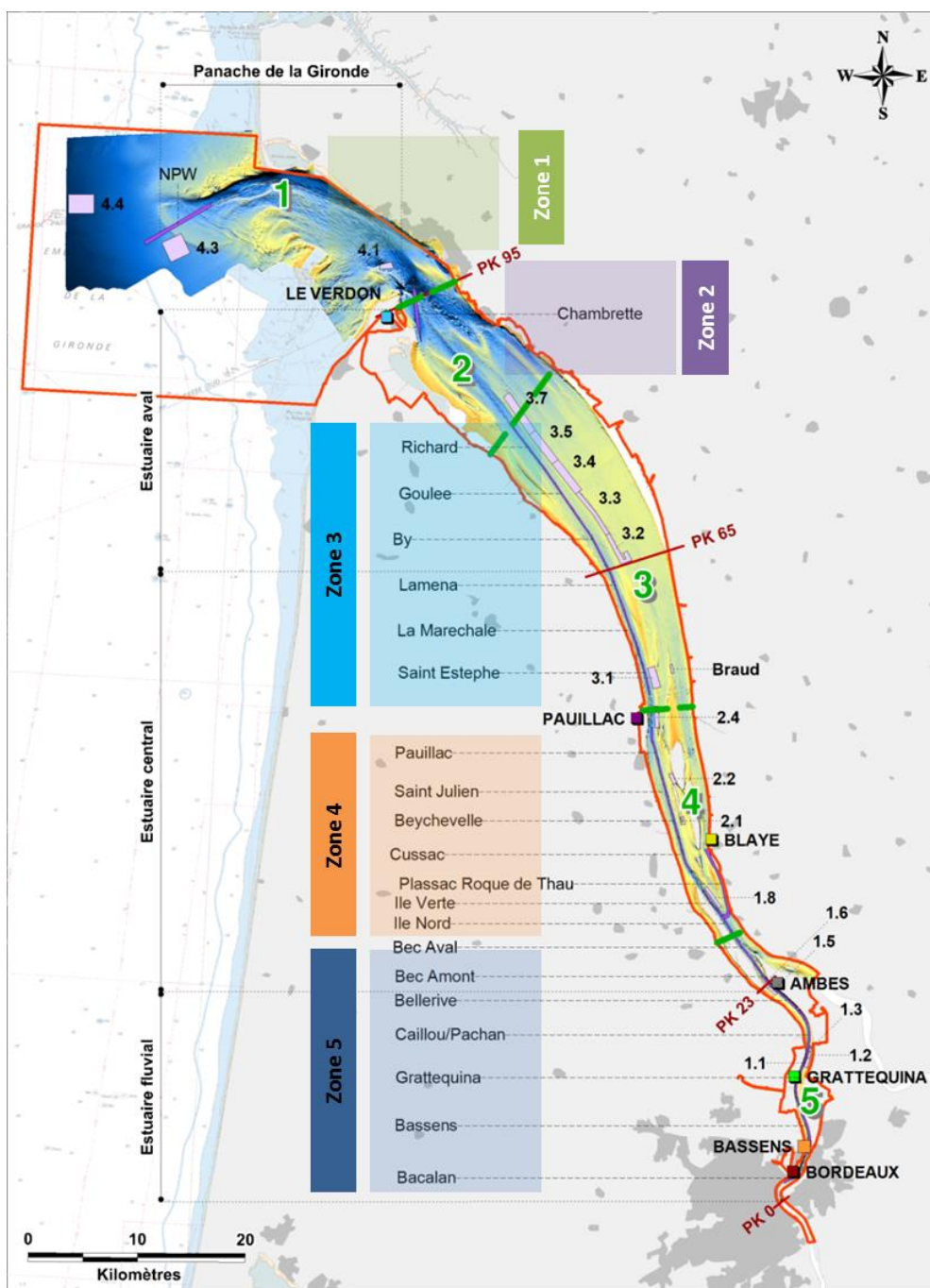
Rappel : nous avons regroupé les passes en 5 zones suivant leur localisation :

- Zone1 : Passe ouest ;
- Zone 2 : Chambrette ;
- Zone 3: Richard / Goulée / By / Lamena / La Marechale / Saint-Estèphe ;
- Zone 4 : Pauillac / Saint-Julien / Beychevelle / Cussac/ Ile verte / Ile Nord ;
- Zone 5 : Bec aval / Plassac Roque de Thau/ Bec Amont / Bellerive / Caillou Pachan / Grattequina / Bassens / Bacalan.

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

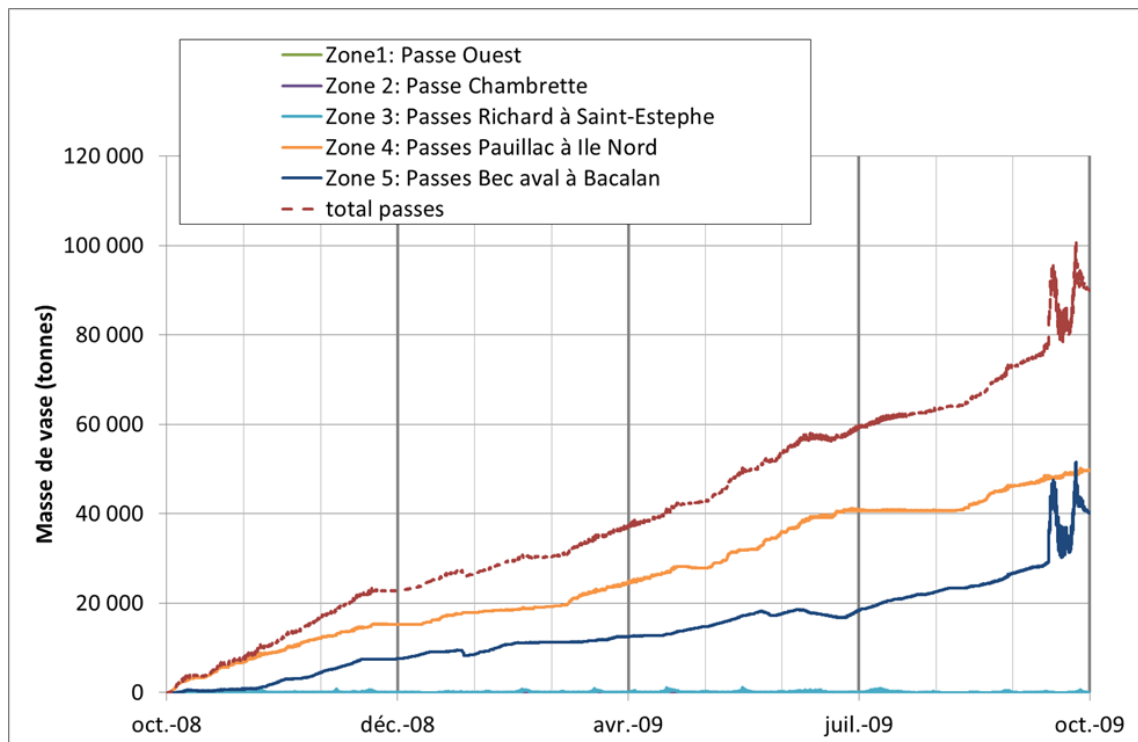
RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

**Figure 24 : Rappel : carte des passes pour les cubatures**

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète



Nota : La courbe des zones 1 et 2 est au niveau de celle de la zone 3 (soit masse quasi nulle)

Figure 25 : Courbes temporelles des masses de vases au sol dans les passes

Les quantités de vases qui se déposent dans les passes sont minimales ; sur l'ensemble des passes (emprise exacte du chenal), cela représente moins de 2% de la quantité totale de vase clapée :

- Retour vers les passes de Garonne (zone 5) équivalent à 3,8% des vases draguées dans ce secteur ; Les oscillations en fin de période observées sur la zone 5 sont dues à la pratique de dragage par injection d'eau. Contrairement aux clapages, les sédiments sont directement rejetés dans le chenal de navigation et donc les passes. Il est donc normal d'avoir une forte augmentation de la masse en sédiment dans cette zone.
- Retour vers les passes de l'estuaire central (zone 4) équivalent à 1,7% des vases draguées dans ce secteur.

4.1.2. Zones d'immersion : comportement des matériaux clapés

L'objectif est d'analyser la dynamique sur les zones d'immersion.

Sont-elles soumises à des conditions favorables à la stabilité ou à la remise en suspension des sédiments ?

Au cours de l'année, les zones d'immersion s'engraissent-elles ou au contraire, leurs fonds s'auto-entretiennent ?

4.1.2.1. Approche hydrodynamique

Le caractère dispersif des zones d'immersion peut être approché à partir des contraintes critiques d'érosion générées par les forçages hydrodynamiques.

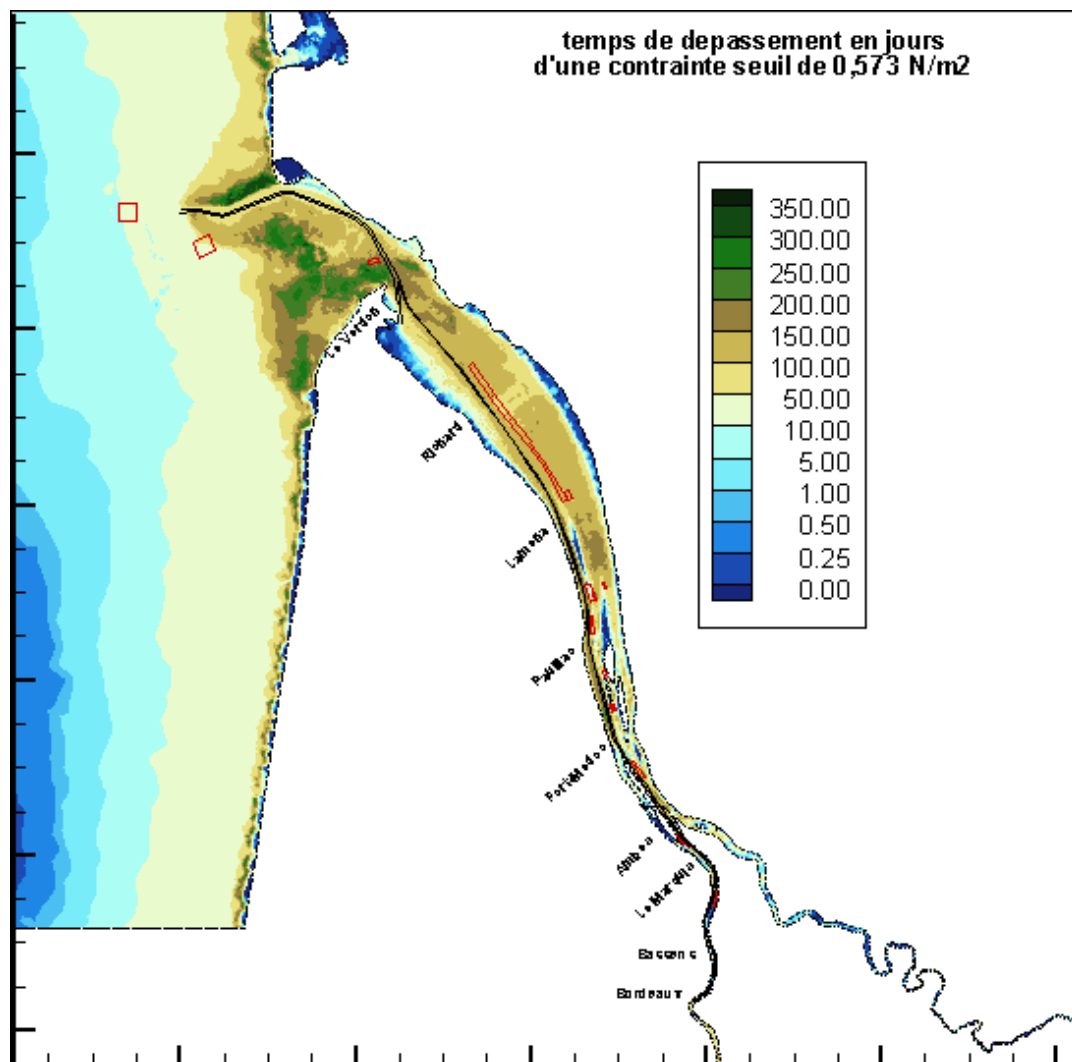
Afin de cartographier les zones géographiques plus ou moins dispersives de l'estuaire, nous avons calculé le temps annuel où la contrainte hydrodynamique (directement liée aux caractéristiques de l'écoulement) dépasse la valeur seuil de 0,573 N/m². Cette valeur correspond à la contrainte

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

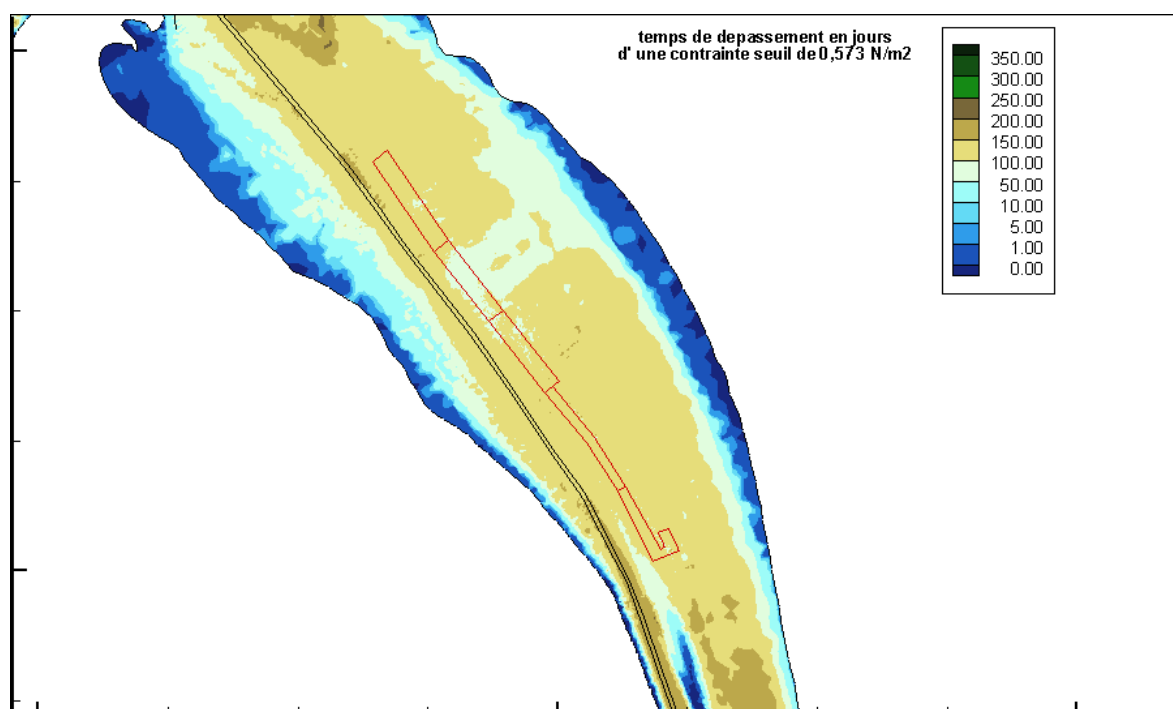
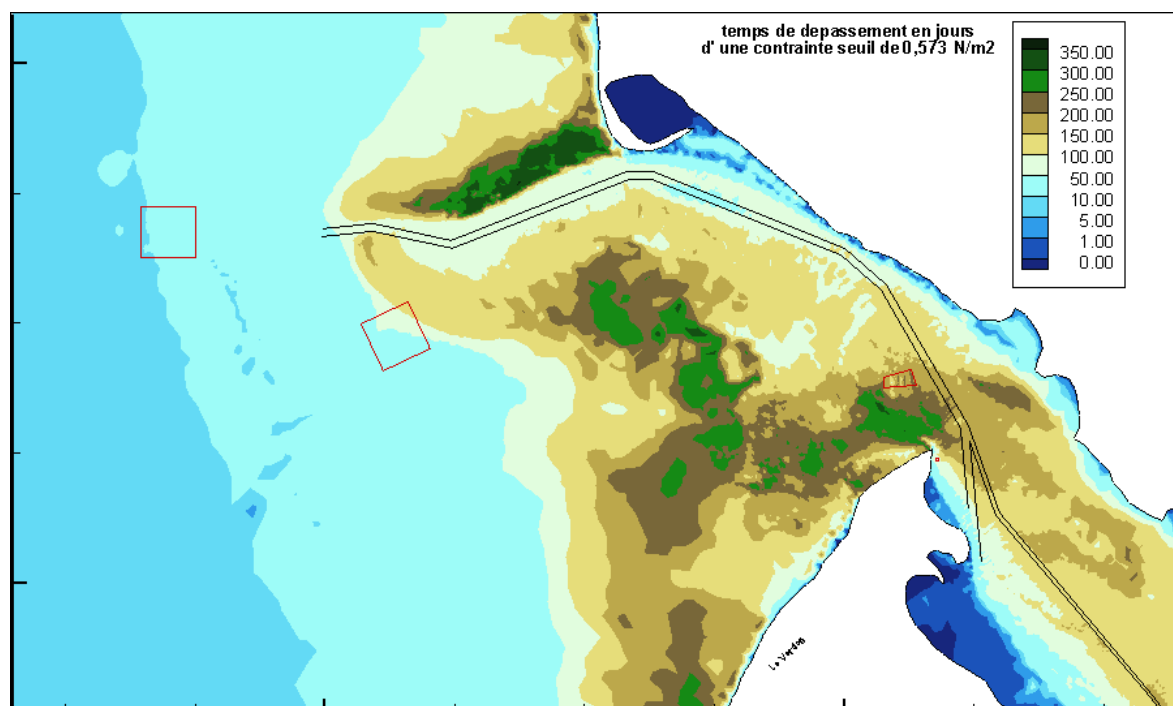
critique obtenue pour une vase de 400 g/l qui est passée du côté de la limite plastique d'après les mesures étudiées. Cette valeur de contrainte critique est liée aux caractéristiques du dépôt de dragage directement après clapage. Le but étant de voir les zones où les dépôts seront directement repris par l'écoulement (contrainte hydrodynamique > contrainte critique du sédiment) et les zones dites plus stables où les dépôts pourront s'accumuler (contrainte hydrodynamique < contrainte critique du sédiment).



Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

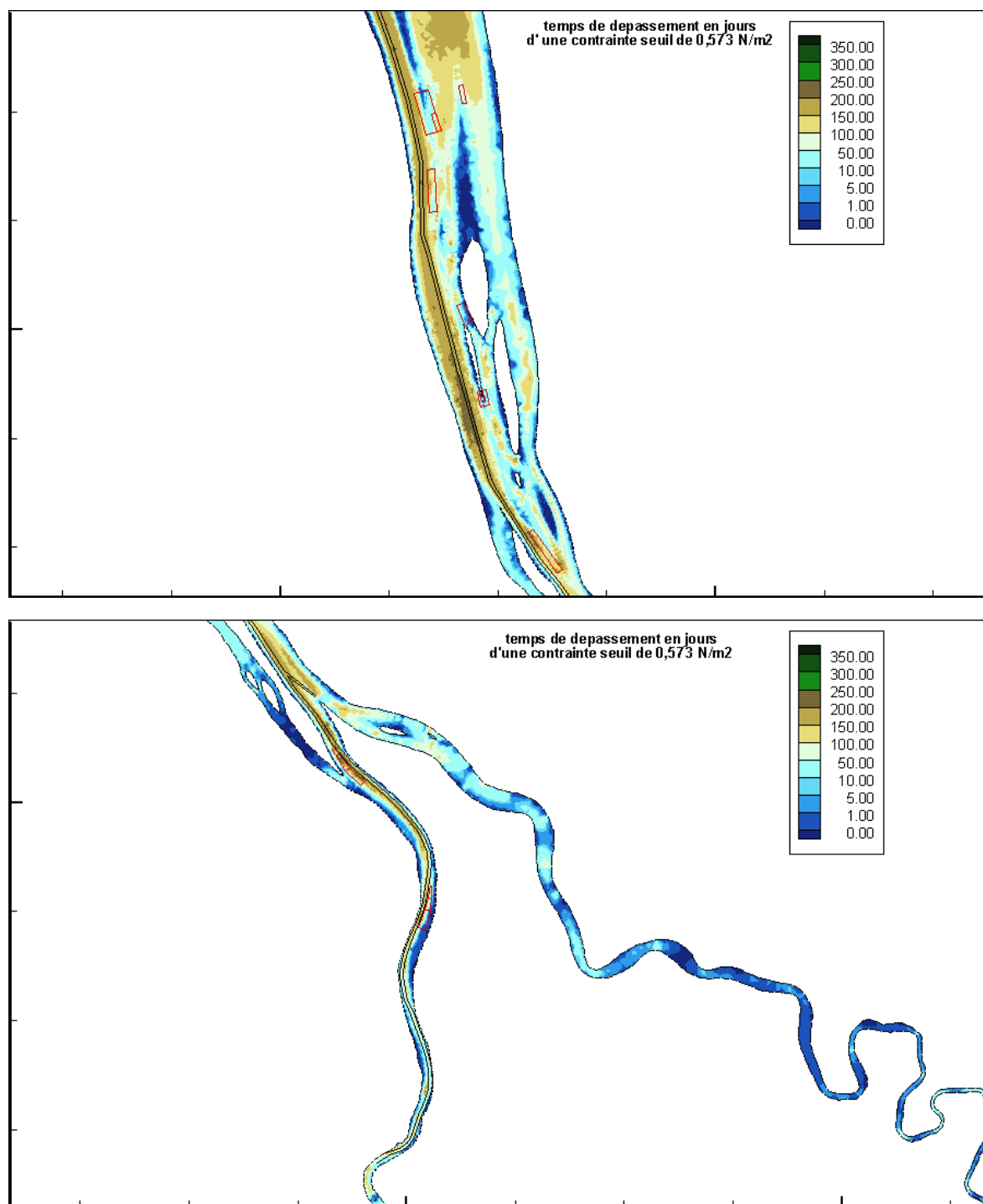
RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète



Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète



Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

Tableau 7 – Nombre de jours /an pendant lequel la contrainte de 0,573 N/m² est dépassée

Zone d'immersion	Nombre de jours de dépassement de la contrainte d'érosion 0.573 N/m ²				
	- dispersif	vers			+ dispersif
	5-10 jours	10-50 jours	50-100 jours	100-150 jours	150-200 jours
1,1					
1,2					
1,3					
1,5					
1,6					
1,8					
2,1					
2,4					
3,1					
3,3					
3,4					
3,5					
3,7					
4,1					
4,3					

Les principales zones d'immersion (1.8, 2.4, 3.4 et 3.7) présente une contrainte hydraulique similaire (contrainte dépassée entre 100 et 150 jours dans l'année).

Les zones plus dispersives sont les 1.5, 1.6 et 4.1 à proximité du Verdon.

Les zones les moins dispersives (favorables à la stabilité des sédiments) sont celles de la Garonne (1.1, 1.2 et 1.3) et les zones d'immersion à l'embouchure (4.3 et 4.4).

De plus, un test de sensibilité a été effectué avec une contrainte critique plus forte : 1N/m². Les temps de dépassement sont logiquement plus faibles. Les conclusions sont assez similaires avec une distinction encore plus forte des sites 1.5, 1.6 et 4.1 qui se montrent très dispersifs. Les sites 1.1, 2.1 et 3.1 restent les plus stables.

Tableau 8 – Nombre de jours /an pendant lequel la contrainte de 1N/m² est dépassée

Zone d'immersion	Nombre de jours de dépassement de la contrainte d'érosion 0.573 N/m ²				
	- dispersif	vers			+ dispersif
	5-10 jours	10-50 jours	50-100 jours	100-150 jours	150-200 jours
1,1	<5j				
1,2					
1,3					
1,5					
1,6					
1,8					
2,1	<5j				
2,4					
3,1	<5j				
3,3					
3,4					
3,5					
3,7					
4,1					
4,3					

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

4.1.2.2. Approche hydrosédimentaire

Pour compléter l'approche hydrodynamique, nous avons analysé l'évolution des masses déposées sur ces zones afin de déterminer si ces zones de vidage sont stables (les sédiments restent sur les fonds) ou dispersives (les sédiments sont repris par les courants).

Pour cela, nous avons intégré les masses au cours du temps se trouvant strictement sur les zones d'immersions. Nous avons comparé cette courbe temporelle à la masse clapée sur la zone au cours du temps, cette information nous permet de donner une information sur la stabilité de la zone. En violet est mis le pourcentage de vase compris dans la mixture au sol se trouvant dans la zone d'immersion.

L'analyse des dépôts des zones d'immersion a été réalisée pour l'ensemble des zones d'immersion. Les résultats sont présentés sur les figures hors-textes (Figures 1.1 à 1.15).

4.1.2.2.1. Sables

Pour mémoire, la répartition des masses de sable suivant les zones d'immersion est présentée ci-dessous :

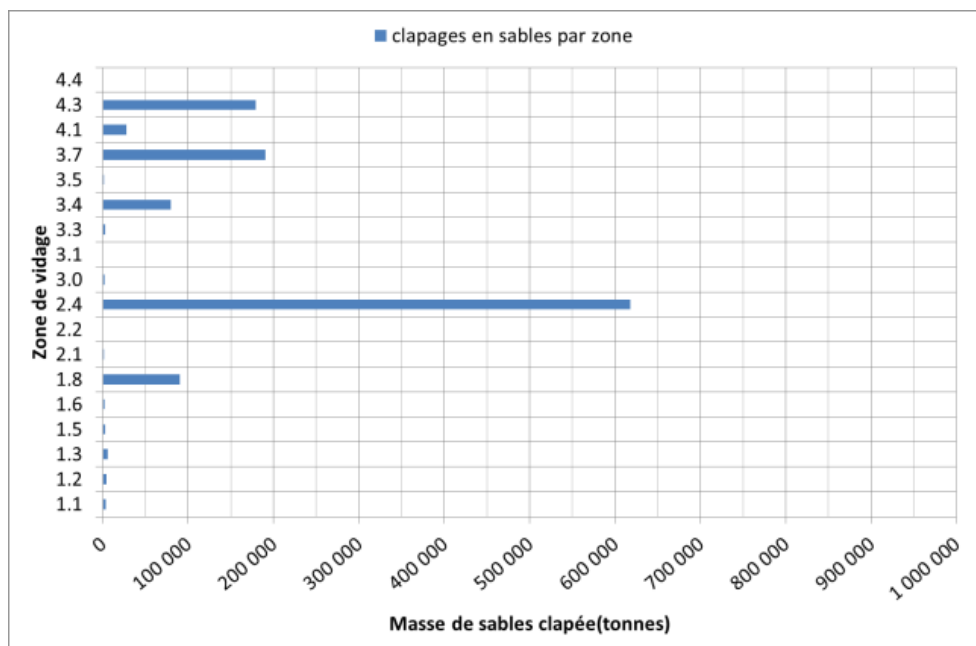


Figure 26 : Répartition des masses de sables clapées par zone

Un focus est réalisé ci-après pour les 5 principales zones d'immersion significatives en masse de sable rejetés, à savoir les zones 4.3, 3.7, 3.4, 2.4 et 1.8.

Sur chaque graphique sont représentés :

- La quantité de sable clapée sur la zone en cumulé (courbe orange).
- La masse de sable restant au sol dans la stricte délimitation de la zone d'immersion (en vert)
- Le pourcentage de vase (masse de vase au sol dans la zone de vidage/ masse totale de sédiment au sol dans la zone de vidage x 100) compris dans la mixture au sol se trouvant dans la zone d'immersion (en violet).
- Les conditions hydrodynamiques (débit de la Garonne, Dordogne, Houle, marée)

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

Zone 4.3

Les clapages ont été réalisés fin juin – début juillet. Les sédiments sont constitués à quasiment 100% de sables. Ainsi, à partir du moment où il y a des clapages sur la zone, le pourcentage en vase de la mixture passe à 0%.

Au bout de 3 mois, la quantité de sable restant au sol a diminué de 45%, soit environ 100 t sur les 180 t de sables clapés. Cette érosion devrait se poursuivre pour aboutir à des dépôts sur cette zone très faibles.

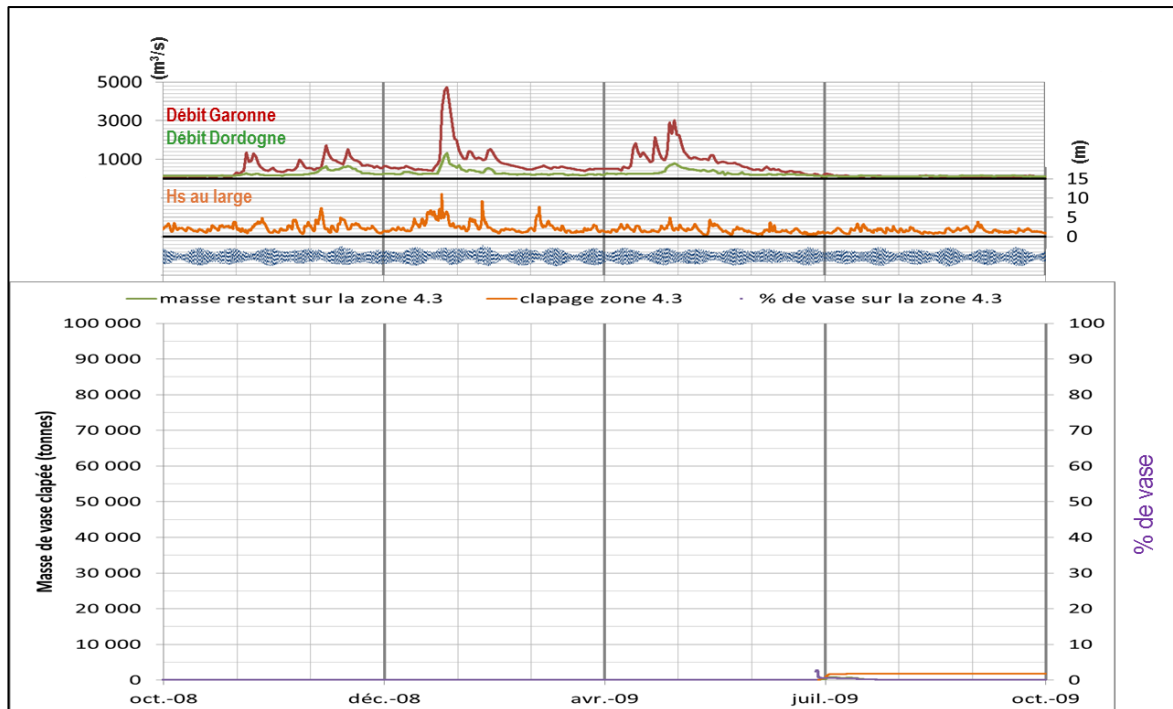


Figure 27 : Courbes temporelles des masses de sables restant sur la zone d'immersion 4.3

Zone 3.7 et 3.4

Les zones 3.7 et 3.4 sont très actives naturellement avec de fortes contraintes hydrauliques.

La stabilité sur ces zones est assez faible, d'autant plus que les clapages sur ces zones peuvent avoir une forte teneur en sables suivant les zones ou périodes de dragages. La stabilité des dépôts est donc « fragilisée » par la teneur en sable compris dans les clapages et par la dynamique sableuse de cette zone.

A la fin du calcul, il ne reste plus rien du sable clapé sur ces zones de vidage. Ceci est conforme avec l'expertise hydrosédimentaire réalisée sur la base des levés bathymétriques de ces zones.

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

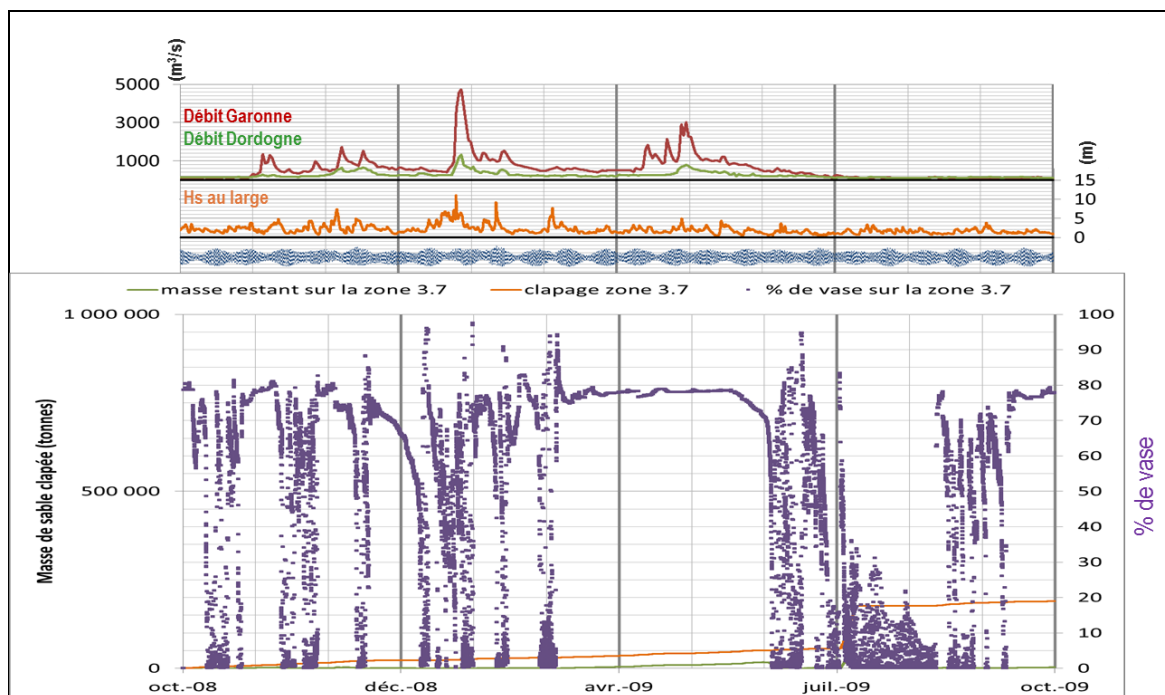


Figure 28 : courbes temporelles des masses de sables restant sur la zone d'immersion 3.7

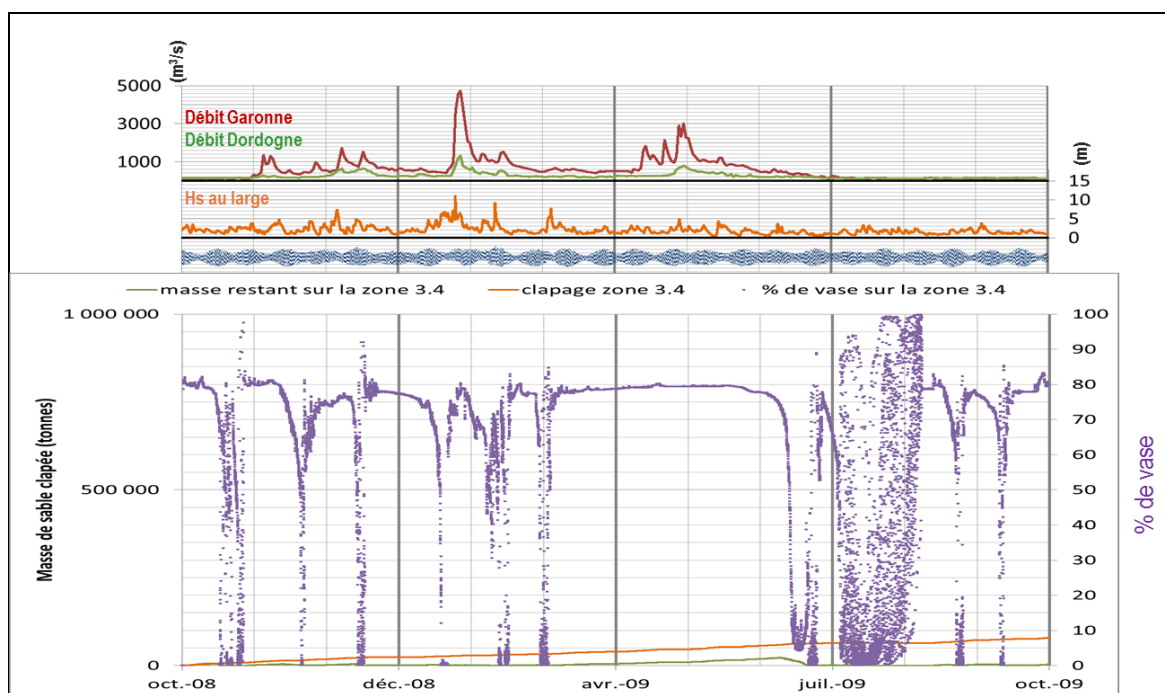


Figure 29 : courbes temporelles des masses de sables restant sur la zone d'immersion 3.4

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

Zone 2.4 et 1.8

Les zones 2.4 et 1.8 sont moins dispersives que les zones 3.7 et 3.4.

Bien que les contraintes hydrauliques soient relativement similaires, la nature des sédiments clapés est différente : ils sont constitués à 70 à 80% de vases sur les zones 1.8 et 2.4 (cf. paragraphe suivant). Ainsi, les sables restent piégés dans les vases ce qui nécessite des conditions hydrauliques plus fortes pour qu'ils soient dispersés.

Ainsi, à la fin du calcul, 50% des sables clapés sont restés piégés sur ces zones de vidage. Ces zones semblent donc moins dispersives que ce qui a été observé par l'analyse hydrosédimentaire réalisée à partir de la comparaison des levés bathymétriques (l'analyse hydrosédimentaire faite à partir des relevés bathymétriques est bien sûr celle qui prévaut. Le modèle ne fait que chercher à reproduire ces données natures).

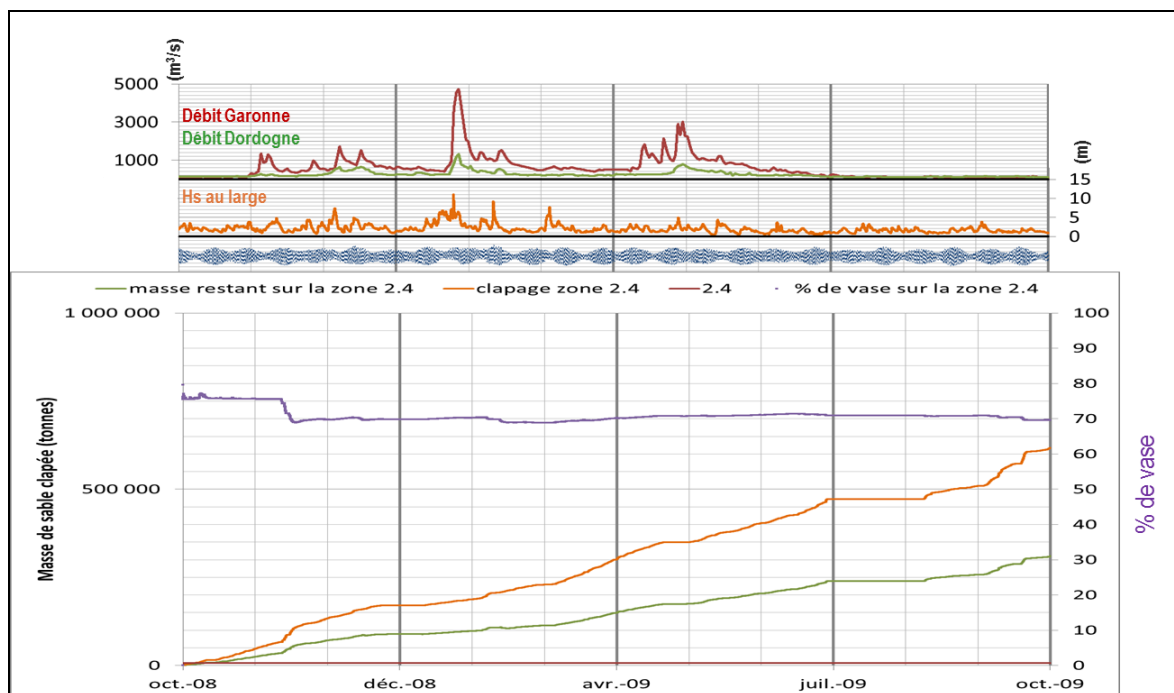


Figure 30 : Courbes temporelles des masses de sables restant sur la zone d'immersion 2.4

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

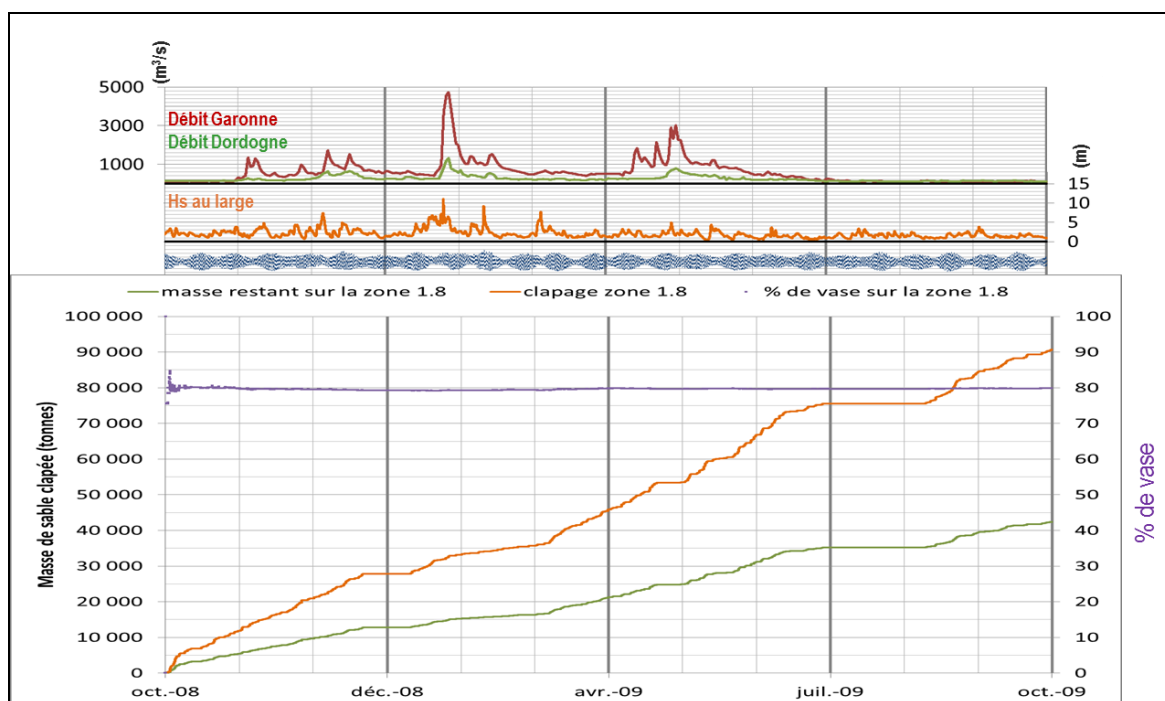


Figure 31 : Courbes temporelles des masses de sables restant sur la zone d'immersion 1.8

Bilan sur l'ensemble des zones d'immersion - dépôts de sables

Le tableau précise, pour l'ensemble des zones d'immersion, les dépôts de sables :

Tableau 9 – Bilan des masses de sables sur les zones de vidage – sables

Zone d'immersion	Masse sables (en tonnes)		%	Dispersion des sables	Remarques
	Clapée	Restante			
1,1	≈ 3 600	Négligeable	-	Forte dispersion	Conforme à l'expertise hydrosédimentaire ARTELIA et/ou les observations du GPMB
1,2	≈ 4 000	Négligeable	-		
1,3	≈ 6 000	Négligeable	-		
1,5	≈ 3 200	0	-		
1,6	≈ 2 200	Négligeable	0%		
1,8	≈ 90 000	≈ 42 000	46%	Dispersion modérée	Les résultats du calcul indiquent une dispersion qui semble plus faible que celle constatée par l'expertise hydrosédimentaire (différentiel bathymétrique)
2,1	≈ 1 500	-	0%	Forte dispersion	Conforme à l'expertise hydrosédimentaire ARTELIA et/ou les observations du GPMB
2,4	≈ 617 500	≈ 300 000	49%	Dispersion modérée	Les résultats du calcul indiquent une dispersion qui semble plus faible que celle constatée par l'expertise hydrosédimentaire (différentiel bathymétrique)
3,0	≈ 2 200			Forte dispersion	Conforme à l'expertise hydrosédimentaire ARTELIA et/ou les observations du GPMB
3,1	≈ 150	Négligeable	0%		
3,3	≈ 2 600	Négligeable	0%		
3,4	≈ 80 000	Négligeable	0%		
3,5	≈ 1 050	Négligeable	0%		
3,7	≈ 189 000	Négligeable	0%		
4,1	≈ 28 000	Négligeable	0%		
4,3	≈ 179 000	≈ 100 000	56 % *		

* clapage effectué à la fin de l'année hydrologique.

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

Dans l'ensemble, à l'exception des zones d'immersion 2.4 et 1.8, les zones d'immersion sont très dispersives : il ne reste en fin de simulation que 21% de ces sables sur la totalité des zones (rappel : il a été clapé 2,1 millions de tonnes de sables).

4.1.2.3. Vases

Comme pour les dépôts de sables, un focus a été réalisé sur les zones prépondérantes en termes de masses immergées de vases. Ainsi, sont présentées les chroniques de clapages pour les zones 3.7, 3.4, 2.4, 1.8 et 1.3.

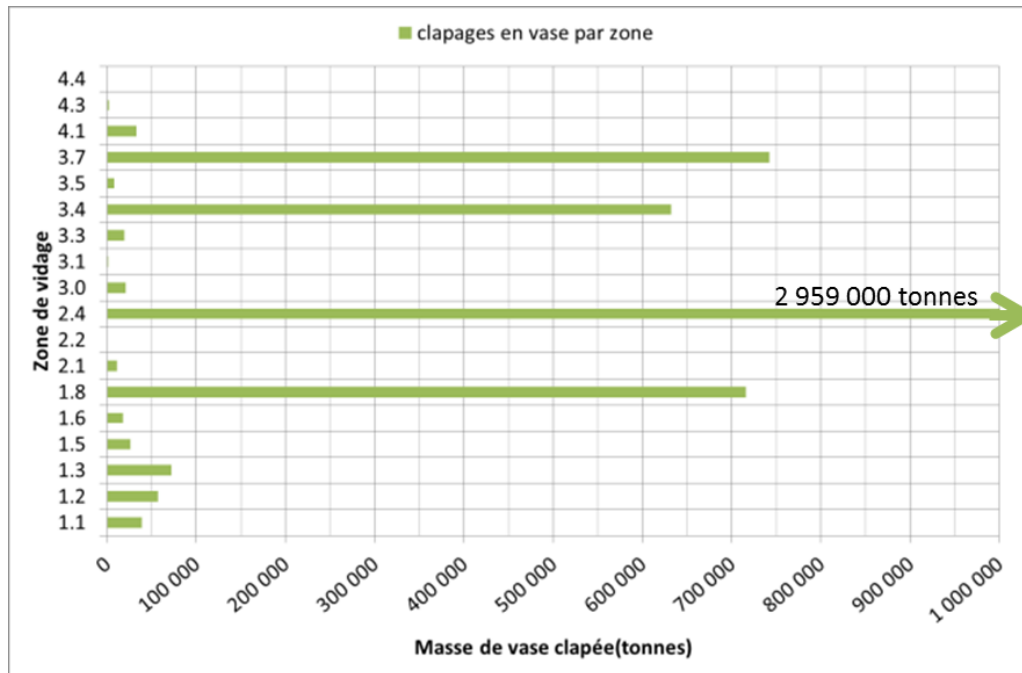


Figure 32 : Répartition des masses de vases clapées par zone

Zones 3.7 et 3.4

Comme précisé précédemment, les zones 3.7 et 3.4 sont très actives du fait des contraintes hydrauliques rencontrées dans ce secteur de l'estuaire.

Par ailleurs, la teneur en sable clapée sur ces zones est importante. Or le sable rend plus facilement mobilisable la mixture par diminution de la contrainte critique d'érosion. De plus, lorsque la mixture est mobilisée, la vase se disperse rapidement alors que le sable reste relativement sur place du fait de sa vitesse de chute. Ceci a pour effet d'augmenter la teneur en sable de la mixture et la rend encore plus mobile.

A part trois mois entre mars et juin (où une partie de la vase est restée sur la zone d'immersion), la totalité des vases a été dispersée en fin d'année.

Les résultats du calcul hydrosédimentaire montrent que ces zones sont dispersives, ce qui est conforme à l'expertise hydrosédimentaire réalisée sur la base de la comparaison des levés bathymétriques.

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

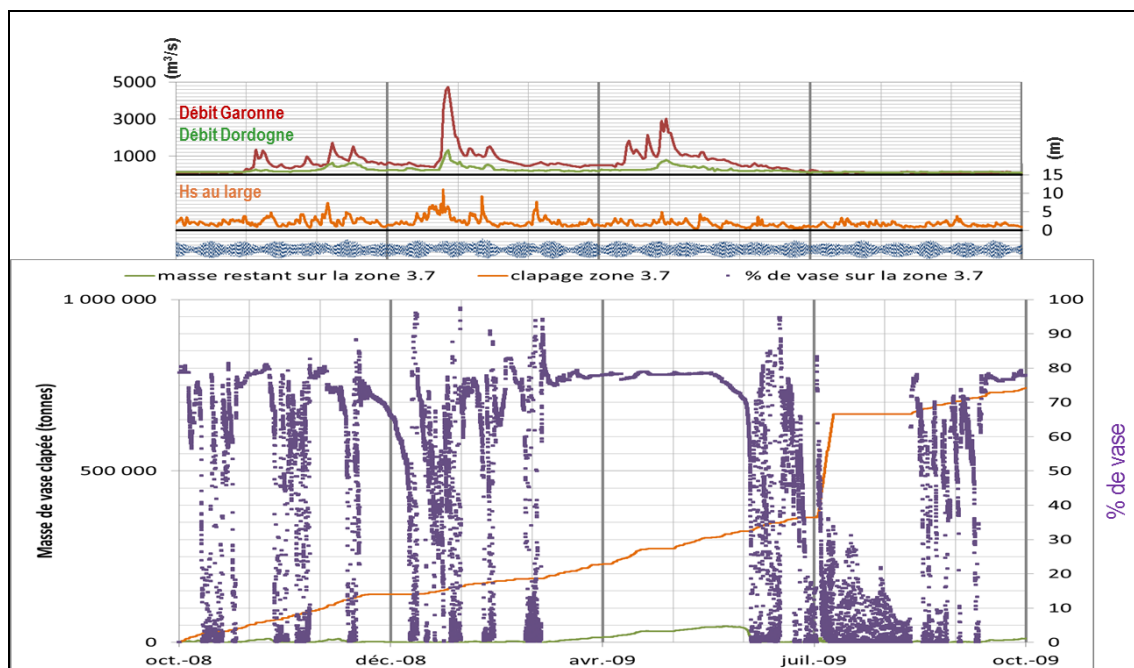


Figure 33 : courbes temporelles des masses de vases restant sur la zone d'immersion 3.7

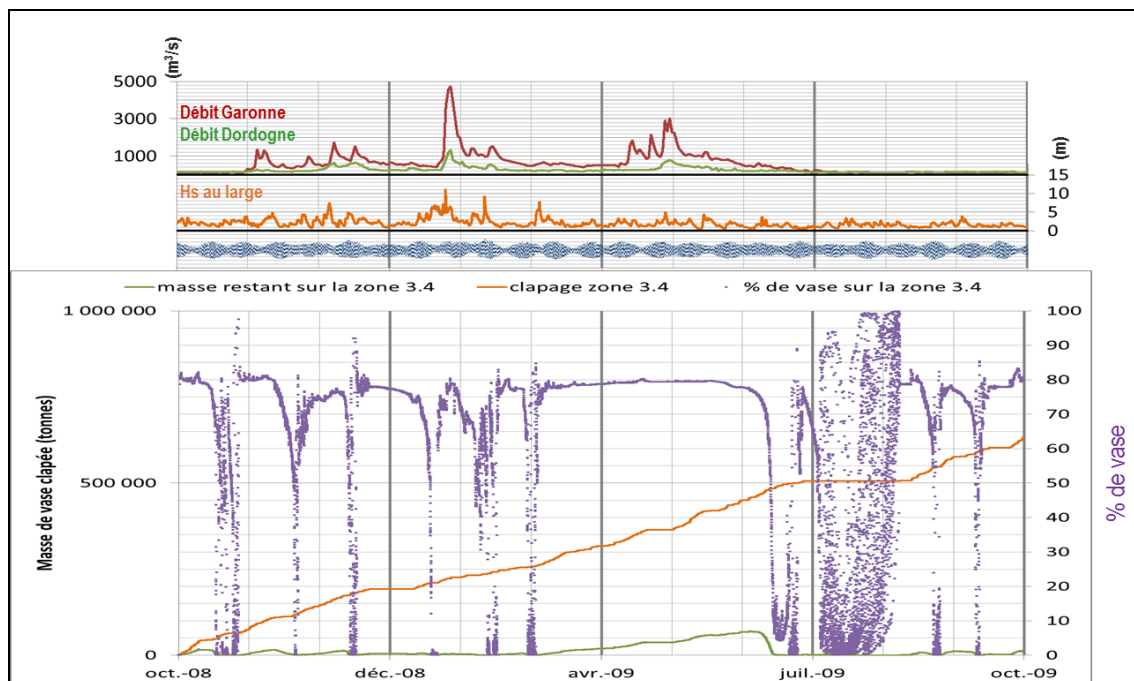


Figure 34 : Courbes temporelles des masses de vases restant sur la zone d'immersion 3.4

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

Zones 2.4 et 1.8

Pour les zones 2.4 et 1.8, il reste, en fin d'année, environ 25% des quantités de vase clapées sur la délimitation stricte de ces zones. En effet, les teneurs en vase sont importantes (70 à 80%) et les contraintes hydrauliques sur ces zones sont moins fortes. Les 50% des sédiments qui sont mis en suspension lors des clapages ont été dispersés et les 50% déposés sont restés sur place ou sont sortis de la zone stricte par glissement.

Une expertise hydrosédimentaire de ces deux zones a été effectuée dans le rapport RM1-E2-1. Elle a porté sur la comparaison des levés bathymétriques effectués sur plusieurs années. Les résultats montrent que ces deux zones sont très dispersives (les matériaux ne restent pas sur zone).

Le modèle conserve donc trop de vases sur ces zones ; la courbe de contrainte d'érosion en fonction de la concentration du dépôt (prise à partir des mesures in-situ effectuées sur des clapages en Seine) ne serait pas adaptée au cas présent (l'analyse hydrosédimentaire faite à partir des relevés bathymétriques est bien sûr celle qui prévaut. Le modèle ne fait que chercher à reproduire ces données natures).

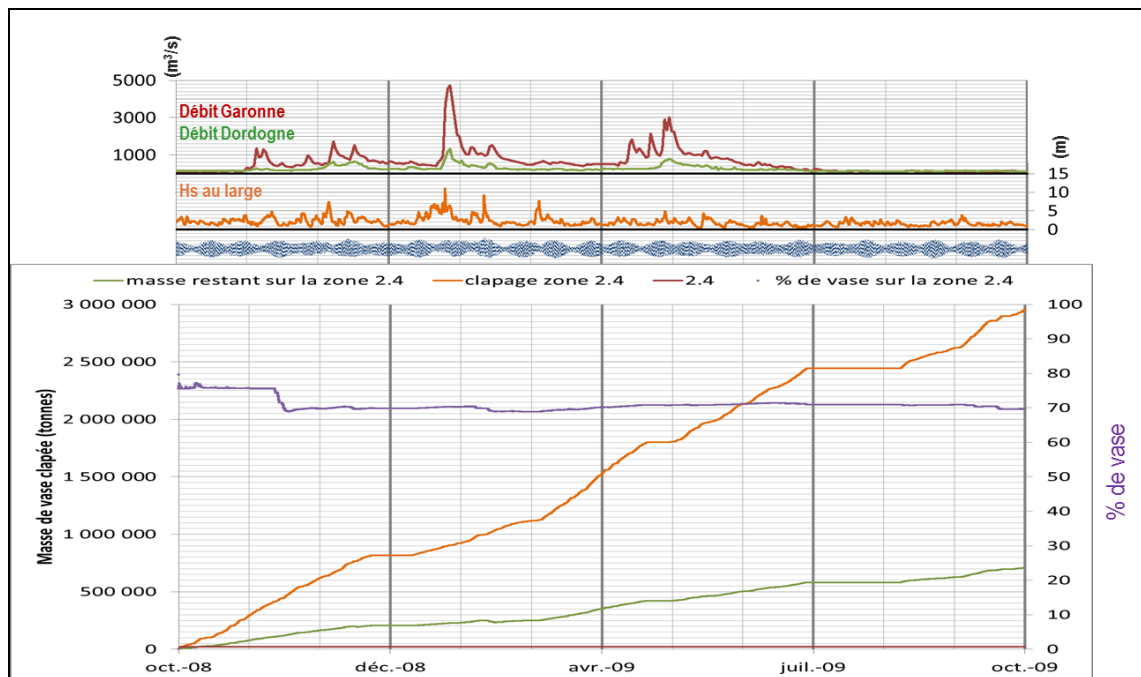
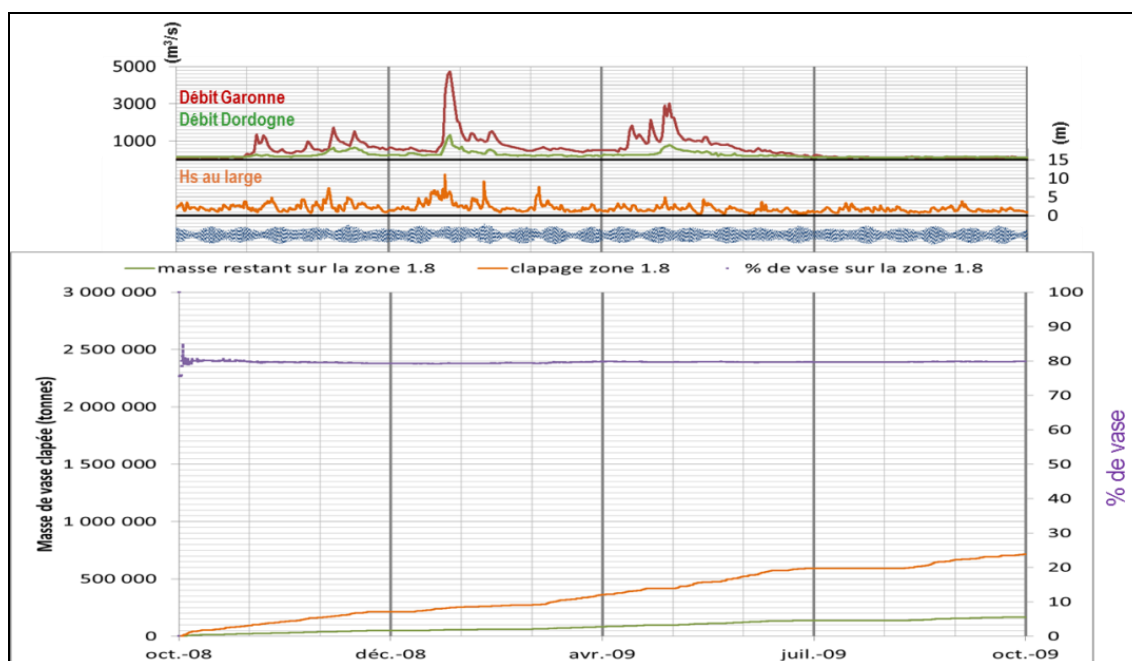


Figure 35 : Courbes temporelles des masses de vases restant sur la zone d'immersion 2.4

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

**Figure 36 : Courbes temporelles des masses de vases restant sur la zone d'immersion 1.8**

Bilan sur l'ensemble des zones d'immersion - vases

Le tableau ci-après récapitule les masses clapées et restants sur chaque zone d'immersion :

Tableau 10 – Bilan des masses de vases sur chaque zone de vidage

Zone d'immersion	Masse vases (en tonnes)		%	Dispersion des vases	Remarques
	Clapée	Restante			
1,1	≈ 40 000	10 000	25%	Dispersion modérée	Cela correspond aux observations du GPMB à savoir un engraissement de ces zones de vidage.
1,2	≈ 57 000	10 000	17%		
1,3	≈ 72 000	6 000	8%		
1,5	≈ 26 000	Négligeable	0%	Dispersion forte	Conforme à l'expertise hydrosédimentaire ARTELIA et/ou les observations du GPMB
1,6	≈ 18 000	Négligeable	0%		
1,8	≈ 716 000	150 000	21%	Dispersion modérée	Les résultats du calcul indiquent une dispersion qui semble plus faible que celle constatée par l'expertise hydrosédimentaire (différentiel bathymétrique)
2,1	≈ 11 000	Négligeable	0%	Dispersion forte	Conforme à l'expertise hydrosédimentaire ARTELIA et/ou les observations du GPMB
2,4	≈ 2 960 000	700 000	24%	Dispersion modérée	Cf. remarque zone 1.8
3,1	≈ 1 500	Négligeable	0%	Dispersion forte	Conforme à l'expertise hydrosédimentaire ARTELIA et/ou les observations du GPMB
3,3	≈ 20 000	Négligeable	0%		
3,4	≈ 630 000	Négligeable	0%		
3,5	≈ 8 000	Négligeable	0%		
3,7	≈ 745 000	Négligeable	0%		
4,1	≈ 33 000	Négligeable	0%		
4,3	≈ 1 500	Négligeable	0%		

Dans l'ensemble, à l'exception des zones d'immersion 1.1, 1.2, 1.3, 1.8 et 2.4 (cf. paragraphe ci-dessus), les zones d'immersion sont très dispersives : il ne reste en fin de simulation que 17,5% de ces vases sur la totalité des zones (rappel : il a été clapé 5,36 millions de tonnes de vase).

Les zones 1.1, 1.2 et 1.3 présentent une relative stabilité (environ 20%) ; cela correspond aux observations du GPMB qui n'utilise plus ces zones qui tendent à s'engraisser.

Les résultats du modèle sont très comparatifs aux résultats de l'analyse hydrosédimentaire, l'exception des deux zones (2.4 et 1.8) pour lesquelles le modèle est trop stable de 25%. Cela donne l'incertitude du modèle actuel. Si on veut améliorer cela, il faudrait procéder à un calage hydrosédimentaire du modèle en itérant la variation des paramètres et une comparaison aux données natures d'évolutions des zones de vidages.

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

*RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète***4.1.2.4. Bilan de la stabilité des zones de vidage**

Dans l'ensemble, à l'exception des zones d'immersion 1.1, 1.2, 1.3, 1.8 et 2.4 (cf. paragraphe ci-dessus), les zones d'immersion sont très dispersives. Les résultats sont globalement cohérents avec l'expertise hydrosédimentaire établie sur la base de la comparaison des données bathymétriques.

Tableau 11 – bilan de la stabilité des zones de vidage – vases et sables

Zone de vidage	Dispersion par rapport		Remarque
	Vases	Sables	
4.3, 4.1, 3.7, 3.5, 3.4, 3.3, 3.1, 2.1, 1.6, 1.5	Dispersion forte	Dispersion forte	Conforme à l'expertise hydrosédimentaire et/ou les observations du GPMB
2.4, 1.8	Dispersion modérée	Dispersion modérée	Zones 2.4 et 1.8 : Les résultats du calcul indiquent une dispersion qui semble plus faible que celle constatée par l'expertise hydrosédimentaire (différentiel bathymétrique)
1.3, 1.1	Dispersion modérée	Dispersion forte	En adéquation avec les observations du GPMB : engraissement de ces zones.

4.1.3. Estuaire : Quelles zones sont impactées par les dépôts ?**4.1.3.1. Répartition spatiale des dépôts (vase et sable) à l'échelle de l'estuaire**

L'objectif est de déterminer quelles sont les zones impactées par les dépôts de sédiments (sables + vases) liés aux opérations de clapage.

Nous présentons ici à la fois la carte des dépôts moyens (moyenne de l'épaisseur de sédiment en chaque point sur l'année de calcul) et la carte des dépôts maximum (maximum d'épaisseur de sédiment calculé en chaque point au cours de l'année de calcul).

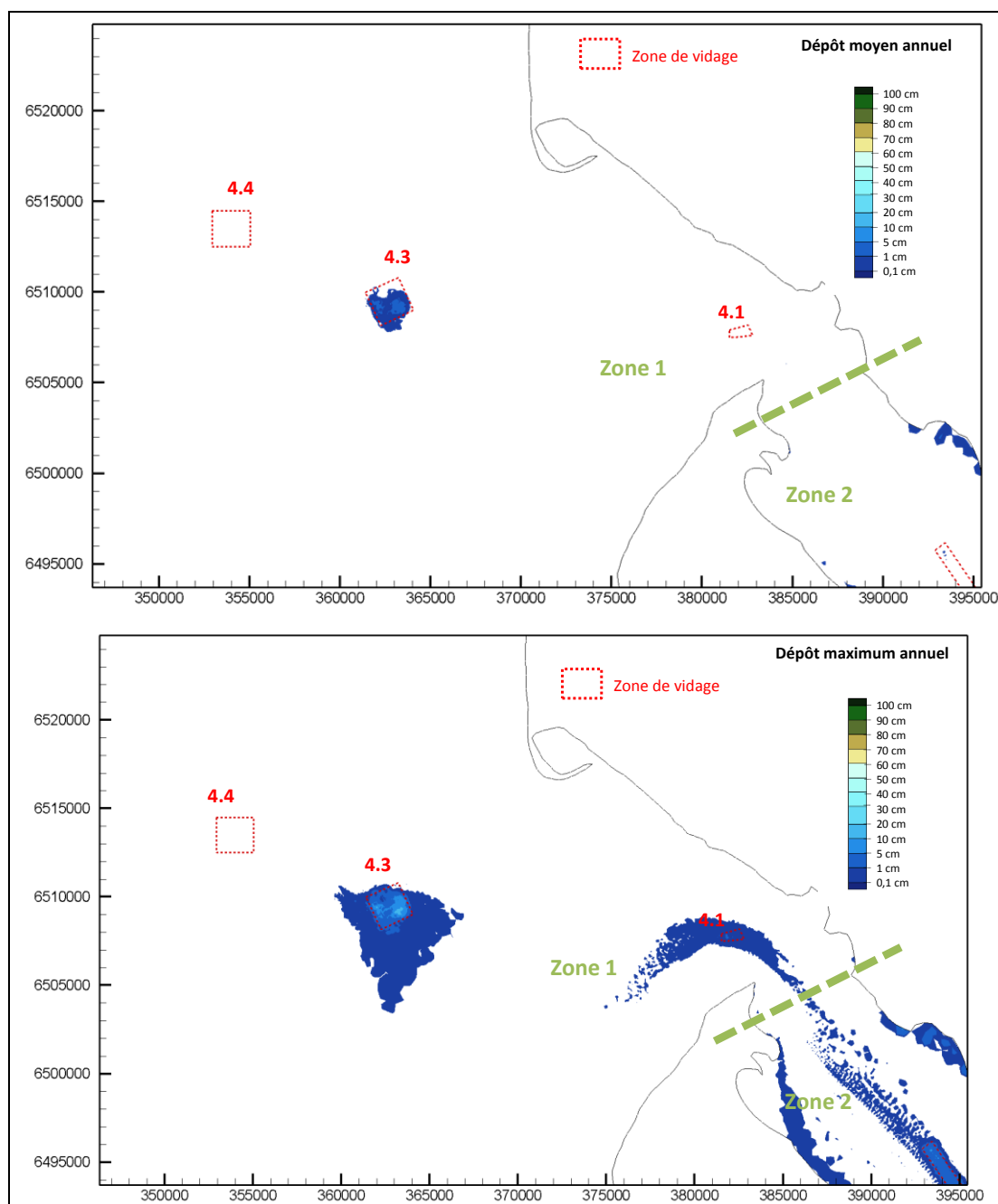
Ces deux cartes sont complémentaires, car le maximum de dépôt ne peut être que très temporaire, alors que la carte de dépôt moyen permet de localiser les zones de dépôt plus pérennes.

Nota : la fraction sableuse en elle-même est très peu stable, puisque les contraintes critiques d'érosion des 3 classes (150, 300 et 500 microns) sont respectivement : 0.16, 0.19 et 0.25 N/m². Le mélange de sable avec un fort taux de vase permet d'expliquer que ce sable reste sur les zones d'immersion : en effet, ceci augmente ainsi de façon significative la contrainte d'érosion de la mixture : les dépôts de vase au sol de chaque clapage se fait à une concentration de 550g/l ; la contrainte d'érosion d'une mixture contenant moins de 50% de sable est alors d'environ de 2,7 N/m². Cependant, sous 30% de vase, la mixture prend une contrainte critique qui est fonction des classes sableuses. Ainsi, pour 30% de vase, la contrainte d'érosion est alors inférieure à 0.25 N/m² (une interpolation est effectuée entre 50 et 30%).

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

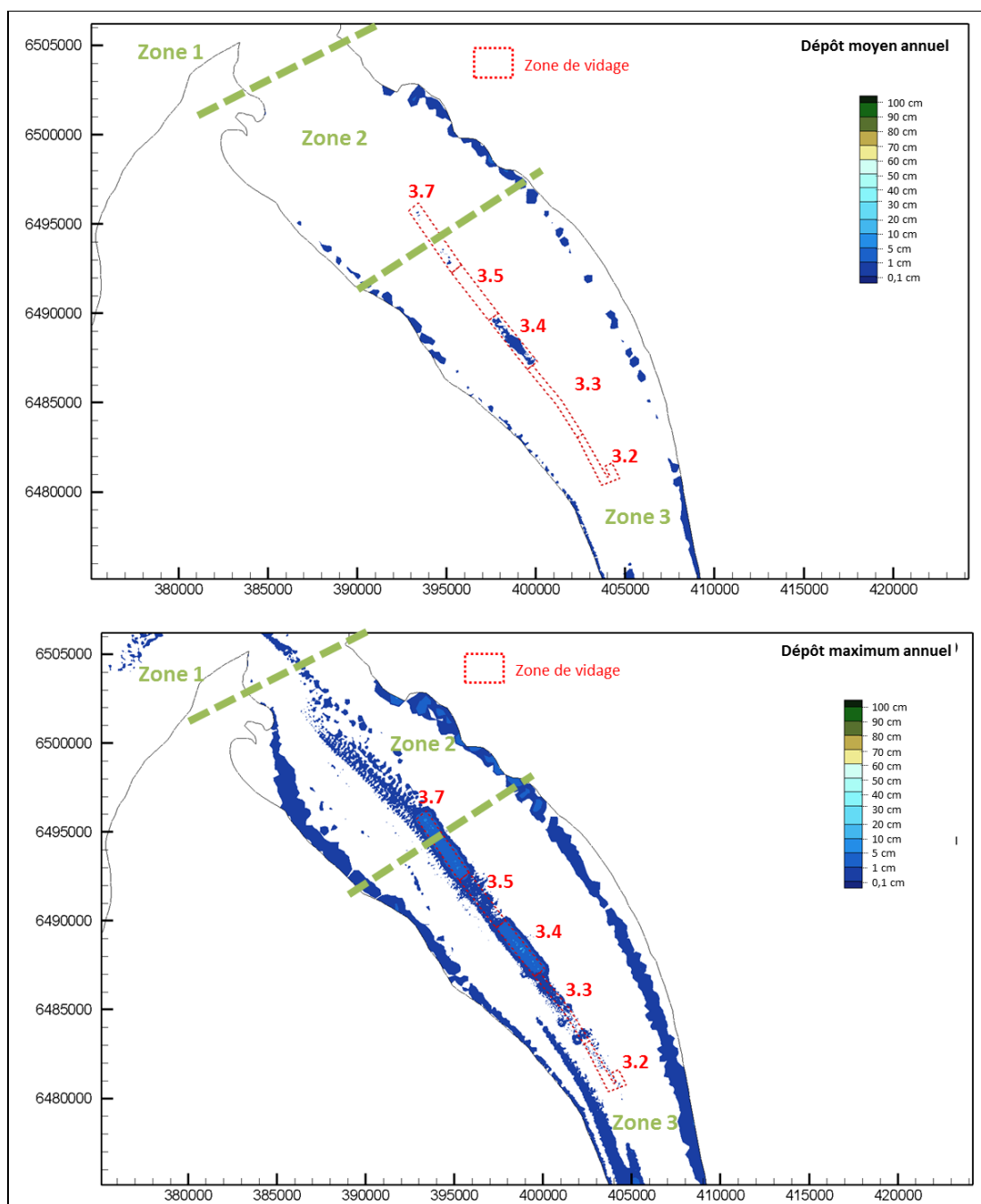
**Figure 37 : Cartes de dépôt moyen et maximal -zoom embouchure**

Zone	Masse clapée (sables + vases)	Remarques - dépôt
Zone de vidage 4.1	≈ 61 000 t	Dépôt moyen : épaisseur nulle Dépôt max : épaisseur max < 1 cm au droit de la zone.
Zone de vidage 4.3	≈ 180 000 t	Dépôt moyen : épaisseur < 1 cm ; dépôts dans l'emprise de la zone de vidage Dépôt max : épaisseur max < 5 cm ;
Autres zones de dépôts	-	Des zones de dépôts sont observées autour des zones : - 4.3 : dispersion vers le sud-est par les houles. Emprise des dépôts max s'étendant jusqu' 5 km au Sud et 2,5 km à l'Est de la zone de vidage - 4.1. localisation des dépôts dans les veines de courant. Emprise des dépôts max s'étendant, dans la direction des courants jusqu'à 3.5 km en amont et en aval de la zone de vidage

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

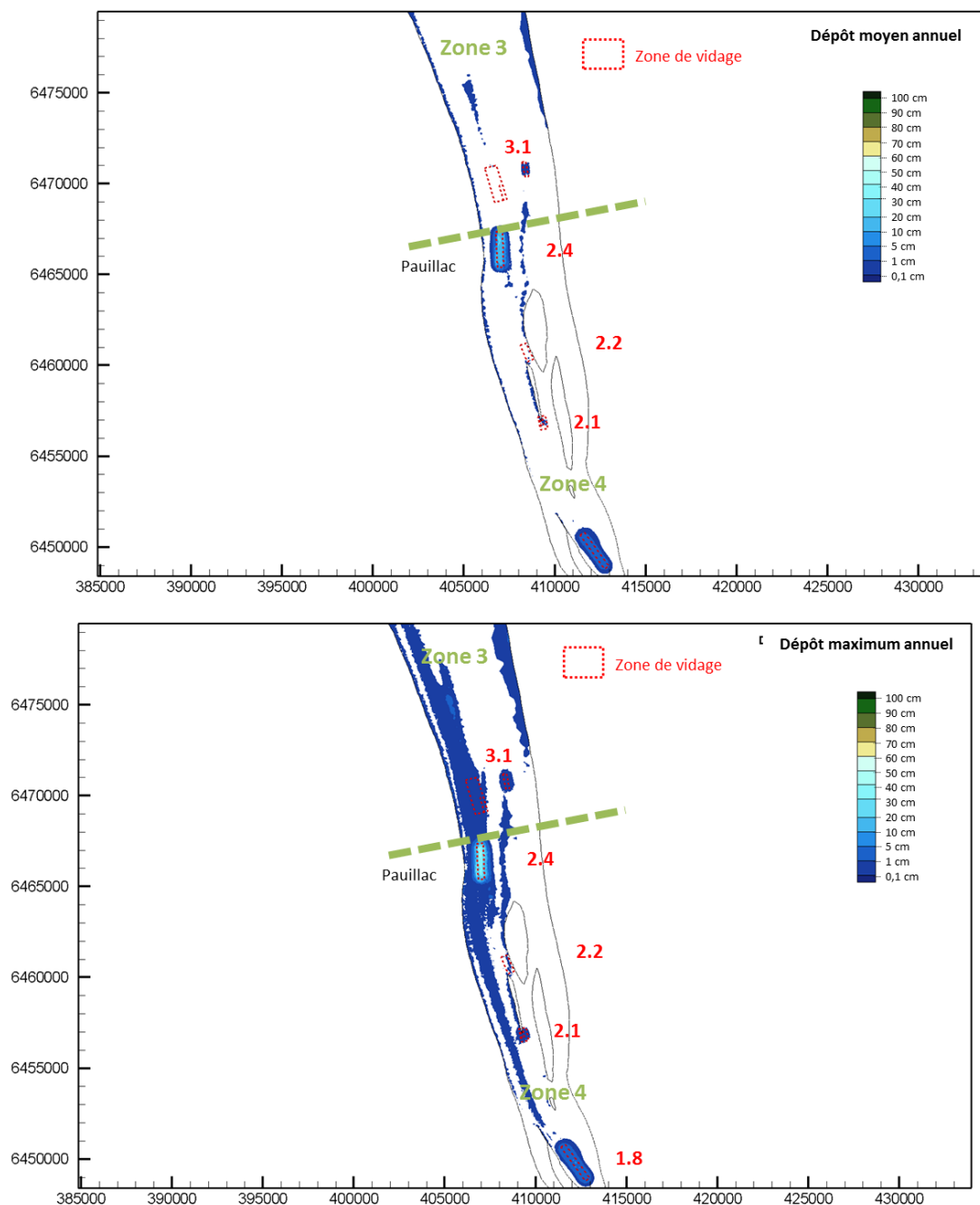
RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

**Figure 38 : Cartes de dépôt moyen et maximal -zoom Verdon Laména**

Zone	Masse clapée	Remarques - dépôt
Zone de vidage 3.7	≈ 930 000 t	Dépôt moyen : épaisseur moyenne < 1 cm Dépôt max : épaisseur max < 10 cm
Zone de vidage 3.4	≈ 715 000 t	Les masses clapées sur la zone 3.7 sont plus importantes que pour la zone 3.4, et pourtant les dépôts sur la zone 3.7 sont plus faibles ce qui suggère que la zone 3.7 est plus dispersive.
Zone de vidage 3.5, 3.3 et 3.2	≈ 30 000 t	Dépôts max et moyens essentiellement liés aux rejets sur les zones 3.7 et 3.4. Épaisseur des dépôts très faibles
Autres zones de dépôts	-	Zones intertidales : très faibles dépôts (généralement inférieurs à 1 cm). Dépôt autour des zones de vidage : dépôt moyen contenu dans l'emprise des zones de vidage ; dépôt max s'étendant dans les veines de courants essentiellement vers l'aval (jusqu'à 5 km)

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

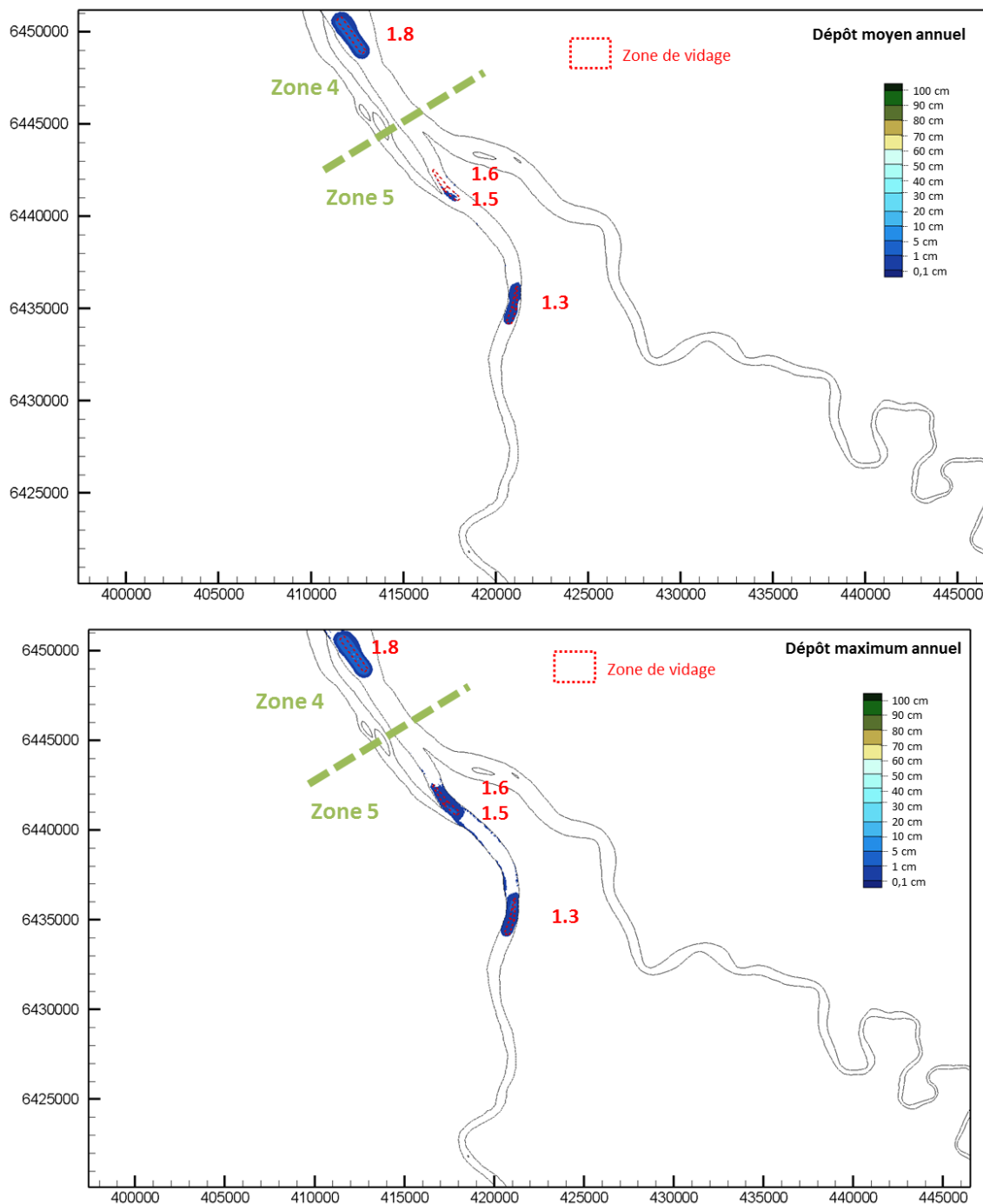
Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète**Figure 39 : Cartes de dépôt moyen et maximal zoom Laména Ambès**

Zone	Masse clapée	Remarques - dépôt
Zones de vidage 3.1, 2.2 et 2.1	≈ 13 000 t	Dépôt moyen : épaisseur moyenne < 1 cm Dépôt max : épaisseur max < 5 cm
Zone de vidage 2.4	≈ 3 600 000 t	Dépôt moyen : peut atteindre 1 m Dépôt maximum : peut atteindre 1 m Les résultats du calcul montrent que cette zone n'est pas aussi dispersive que ce qui a été observé par la comparaison des levés bathymétriques
Autres zones	-	Sur toute la section, très faibles dépôts. Emprise des dépôts moyens : essentiellement à l'aval des îles Emprise des dépôts max : dans les veines de courants à l'amont et l'aval des zones de vidage (jusqu'à 10 km) ; aval des îles notamment de Patiras (5 km)

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète**Figure 40 : Cartes de dépôt moyen et maximal - zoom Ambès-Bordeaux**

Zone	Masse clapée	Remarques - dépôt
Zone de vidage 1.8	≈ 800 000 t	Epaisseur moyenne de dépôt : < 30 cm Epaisseur max : < 60-70 cm au droit de cette zone Les résultats du modèle montrent que cette zone n'est pas aussi dispersive que ce qui a été observé par la comparaison des levés bathymétriques
Zones de vidage 1.3, 1.5 et 1.6	≈ 130 000 t	Dépôts moyens : < 5 cm Dépôt maximum : < 20 cm
Autres zones	-	Bras secondaire entre l'île Cazeau et l'île Margaux Dépôt max et moyen dans l'emprise des zones de vidage

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

Les zones de dépôts sont essentiellement localisées au niveau des zones d'immersion, les zones intertidales sur la partie aval de l'estuaire et les zones de calme hydrodynamique (au niveau des îles) :

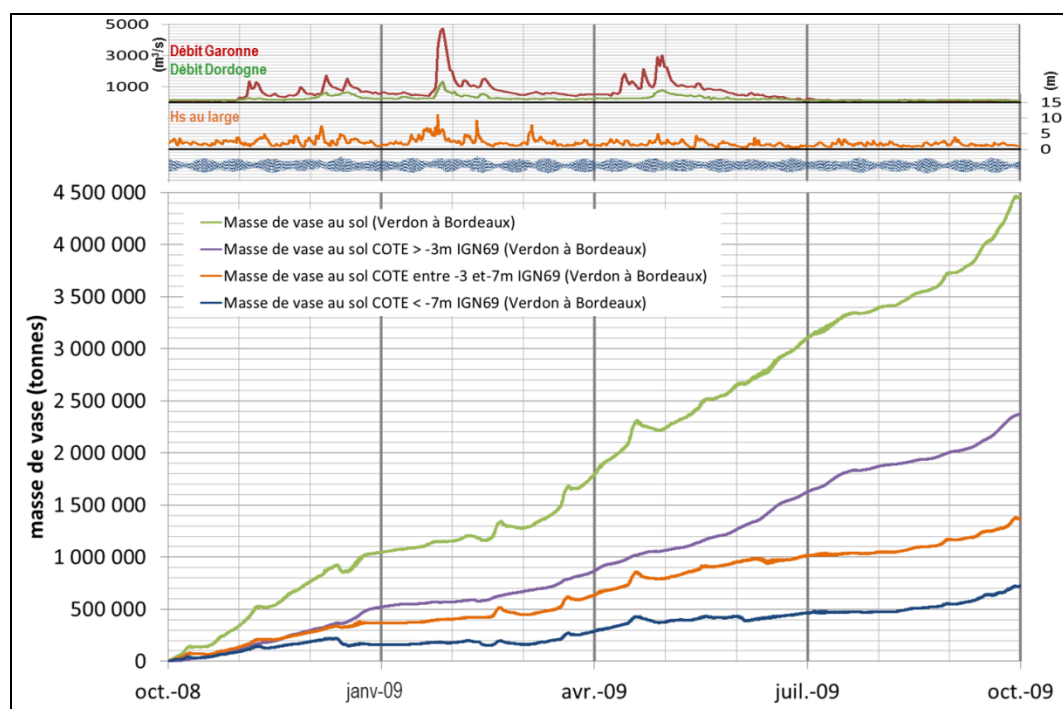
- Zones intertidales : les dépôts moyens peuvent atteindre très localement 10 cm, mais sont très généralement inférieurs à 5 cm (ce dépôt annuel ne prédit par contre pas l'effet cumulatif sur plusieurs années (tassement, agitation locale sur les estrans permettant la reprise etc..). Le maximum de dépôt pendant l'année hydrologique représentée est inférieur à 20 cm. Il s'agit d'un maximum ponctuel dans le temps et l'espace ;
- Zones au niveau des îles ou bras secondaires : les dépôts moyens peuvent atteindre très localement 10 cm, mais sont très généralement inférieurs à 1 cm. Le maximum de dépôt pendant l'année hydrologique représentée est inférieur à 20 cm. Il s'agit d'un maximum ponctuel dans le temps et l'espace.

4.1.3.2. Analyse de la répartition altimétrique des vases

Les vases étant plus dispersives, une analyse de la répartition altimétrique des vases a été réalisée. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 12 – Répartition altimétrique des dépôts de vases sur la zone Verdon-Bordeaux

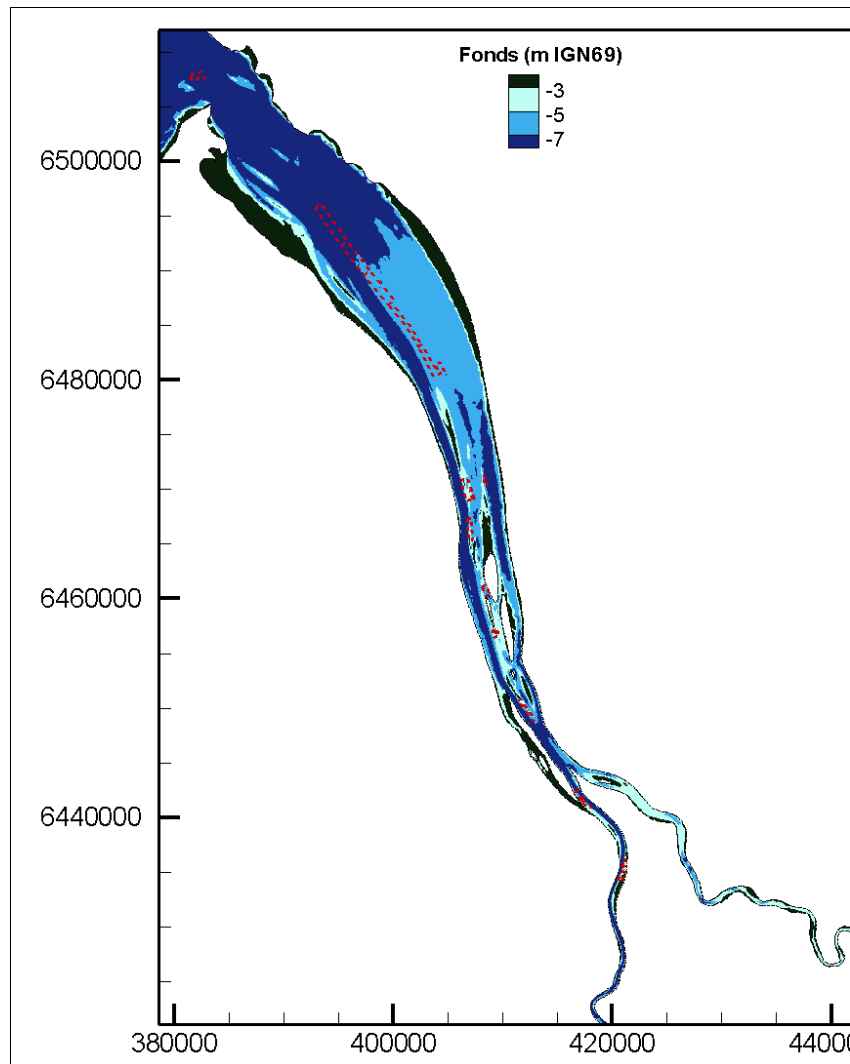
Caractéristiques des zones		Bilan des masses
Zones à faibles contraintes hydrauliques et qui constituent la plus part du temps des vasières ou des zones de dépôts naturels	Cote > -3 m IGN69	2,37 M tonnes
Zones qui peuvent être actives et peuvent potentiellement être remis en suspension	-7 m < cote < -3 m IGN69	1,37 M tonnes
Zones profondes et qui sont potentiellement des zones de dragage	Cote < -7 m IGN69	0,71 M tonnes
Masse totale (au sol et dans l'estuaire)		4,45 M tonnes



Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

Figure 41 : Répartition des masses de vases au sol dans la zone Verdon-Bordeaux suivant la bathymétrie**Figure 42 : Localisation des zones en fonction de la bathymétrie.**

Nota (sables, vases) : 2 à 13% des sédiments clapés se retrouvent dans des fonds inférieurs à -7m IGN69 et sont donc susceptibles d'être dans des zones à draguer.

Le maximum de turbidité lié aux sédiments issus des clapages suit une dynamique semblable à celle du bouchon vaseux naturel puisque le sédiment se concentre par piégeage au niveau du coin salé et oscille plus ou moins en amont en fonction des débits et marées. Cette quantité qui reste en suspension demeure faible (env 0,5Mtonnes) par rapport à la quantité clapée, puisqu'une bonne partie des sédiments (42%) se retrouvent déposés dans les petits fonds (> -3m IGN69) et 25% des sédiments dans les fonds intermédiaires qui est une zone très dynamique et peuvent donc être repris.

Les retours des sédiments clapés vers le chenal de navigation sont donc faibles (2% dans l'emprise exacte des passes et 13% pour les fonds inférieurs à -7 m IGN69), mais ne sont pas contradictoires avec le fait que le bouchon vaseux naturel qui est plutôt de l'ordre de 5M de tonnes peut apporter un dépôt massif en comparaison sur le chenal de navigation. Le fait d'avoir dragué 5,66 Mtonnes "n'épuise pas" pour l'instant le bouchon vaseux naturel, car les sources (au sol sur l'ensemble de l'estuaire) sont pour l'instant assez importantes pour nourrir et recharger le bouchon vaseux à sa capacité (1cm de vase dans le sol de l'estuaire interne correspond environ à 1,8 Mtonnes de vase).

On notera cependant que les ordres de grandeurs sont cohérents : avec un maximum de turbidité de 0,5Mtonnes qui reste donc en suspension (soit environ 10% du bouchon vaseux naturel) on obtient entre 0,1 et 0,7 Mtonnes de vases qui sont déposées au bout d'un an dans des zones susceptibles d'être draguées, ce qui correspond à une valeur comprise entre 2 et 13 % des dragages effectués.

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

*RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète***4.1.3.3. Dépôts : focus sur quelques zones à enjeux**

Certains enjeux ou usages dans l'estuaire sont sensibles aux dépôts :

- Usages : prise d'eau du Blayais aux abords de laquelle des dragages réguliers d'entretien sont nécessaires ;
- Peuplements benthiques et ressource halieutique : sur la base de la fiche RM1-E1-6 (ressources halieutiques), plusieurs zones à enjeux forts (nourricerie) ont été identifiées pour la sole, le céteau et l'esturgeon. Trois sondes ont été extraites de ces zones :

Tableau 13 – Caractéristiques des sondes à enjeux écologiques

Sonde	Enjeux écologiques	Corrélation avec les rejets
Sonde 10	Nourriceries pour la ressource halieutique en zone 2	Zone à proximité de l'embouchure et en aval des zones 3.4 et 3.7 fortement utilisées
Sonde 19	Nourriceries pour la ressource halieutique en zone 3	Proximité des zones de vidage 3.4 et 3.7
Sonde 22	Nourriceries pour la ressource halieutique en zone 4	Proximité de la zone de vidage la plus utilisée 2.4

L'évolution temporelle des dépôts a été réalisée sur ces 4 points (Blayais, 10, 19 et 22).

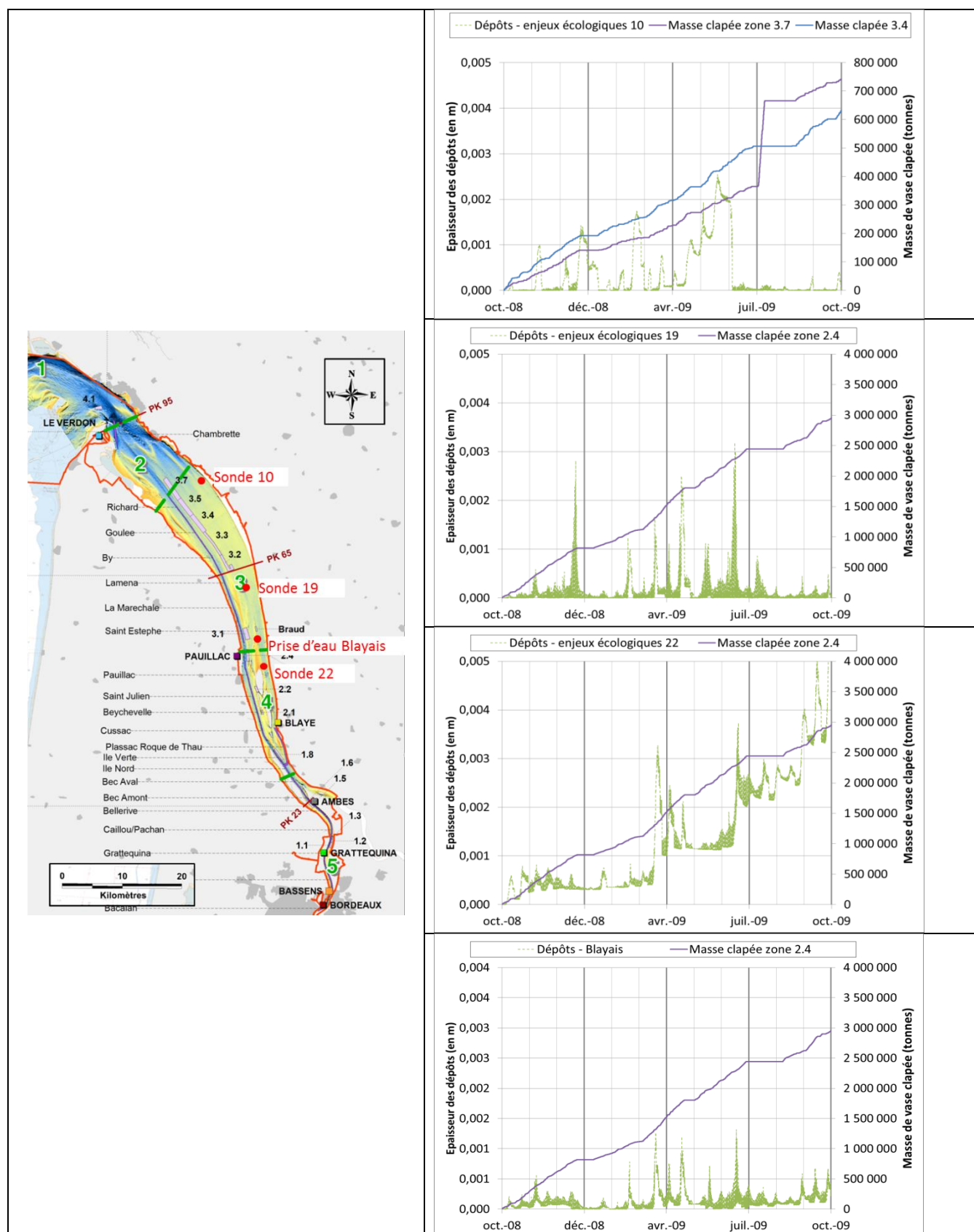
Comme précisé précédemment, les dépôts sont extrêmement faibles : les évolutions sont inférieures au demi-centimètre sur ces zones. Il est donc très délicat de corréler ces dépôts avec les opérations d'immersion réalisées à proximité. Le seul dépôt pérenne observé se situe au pont 22, en aval de l'île de Patiras (3 à 4 mm à la fin du calcul). Ces observations sont cohérentes avec la localisation des dépôts décrits dans le paragraphe 4.1.3.1 : en effet, ces dépôts sont majoritairement localisés au niveau des zones de vidage.

Au niveau de la prise d'eau du Blayais, les résultats du calcul montrent que les dépôts liés au vidage sont extrêmement faibles. Néanmoins, il convient de rappeler que le modèle ne représente pas la microbathymétrie de la prise d'eau et par conséquent d'éventuelles souilles qui augmentent inévitablement le piégeage des sédiments et donc les volumes de dragages associés.

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

**Figure 43 : Evolution temporelle des dépôts sur quatre sites de l'estuaire de la Gironde**

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

*RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète***4.2. ANALYSE DES MES**

Les MES peuvent avoir des impacts sur l'ensemble de la chaîne trophique (oxygène, benthos, ressource halieutique...). L'objectif de ce chapitre est de déterminer l'évolution spatio-temporelle des MES liées aux opérations de rejet.

Dans le cadre de ce calcul hydrosédimentaire, il convient de rappeler que les volumes de sédiments en suspension augmentent tout au long de l'année : en effet, les masses de sédiments qui sortent de l'estuaire sont plus faibles que celles qui sont introduites par les immersions-rejets. Par conséquent, il ne peut pas être réalisé une analyse comparative de de l'intensité de la masse comprise dans la zone de turbidité maximale pour les 4 saisons de l'année.

L'analyse a donc porté sur :

- La localisation des MES dans l'estuaire ;
- Les temps de dépassement en MES pour plusieurs seuils ce qui permet d'avoir une indication de durée de la présence des MES.

4.2.1. Rappel : Evolution du bouchon vaseux naturel dans l'estuaire de la Gironde (analyse bibliographique)

L'objectif de ce paragraphe est de rappeler les principales conclusions sur les MES présentes naturellement dans l'estuaire établies dans le rapport M1E1-1.

Comme précisé dans l'analyse bibliographique, les concentrations « naturelles » en MES sont très variables. Elles dépendent de :

- Des conditions hydrauliques et hydrologiques : étiage, crue, marée...
- De la position dans la colonne d'eau : fond, surface...
- De la position géographique dans l'estuaire de la Gironde.

Lorsque le bouchon vaseux est présent, les concentrations peuvent régulièrement atteindre 3 à 4 g/l en surface. Ces éléments sont détaillés dans les paragraphes suivants à partir des principales données bibliographiques existantes. Cependant ces données sur l'estuaire sont très ponctuelles géographiquement et/ou temporellement :

- Les mesures MAGEST concernent uniquement 4 stations (Pauillac, Bordeaux, Libourne et Portets) pour l'ensemble de l'estuaire. Il s'agit de mesures journalières (pas de temps : 10 min) de surface ;
- Les mesures SOMLIT concernent 3 points de l'estuaire (pk30 – Blaye ; pk52 – Pauillac ; pk86 – Le Verdon). Il s'agit de mesures mensuelles de surface et de fond ;
- Des données bibliographiques (publications, thèse...) : modélisations, images satellitaires à l'échelle de l'ensemble de l'estuaire.... Ces données concernent généralement les concentrations de MES de surface.

Ainsi, il ne peut être effectué, de manière pertinente, une comparaison précise de ces données bibliographiques avec les résultats des MES issus des rejets (modélisation). Cependant, ces données bibliographiques permettent une approche globale du bruit ambiant des MES (présentes naturellement) et ainsi de relativiser les teneurs en MES issus des rejets (modélisation).

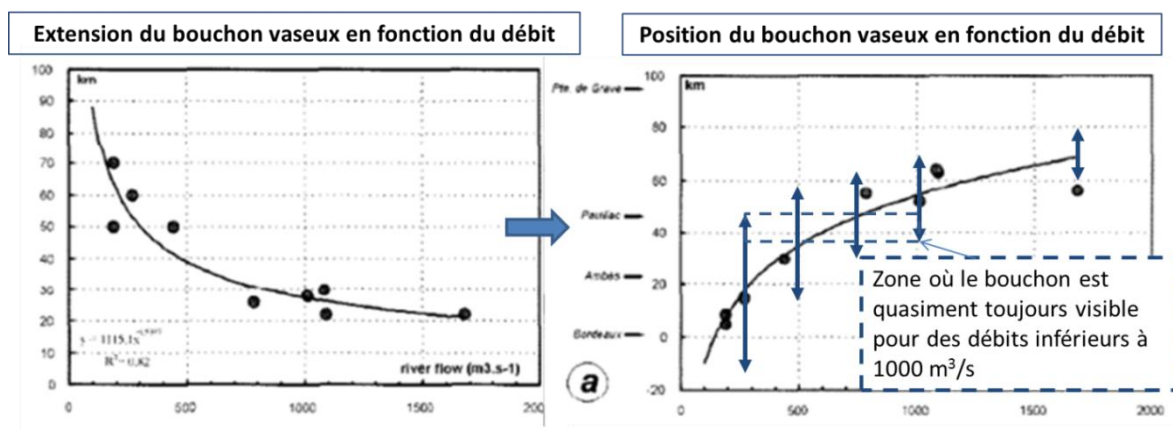
4.2.1.1. Evolution saisonnière des MES – influence des débits

Les travaux d'Aldo SOTTOLICHIO ont permis d'établir l'étendue et la position du bouchon vaseux en fonction des débits (source : Synthèse de la dynamique saisonnière des structures turbides dans l'estuaire de la Gironde, 1999).

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

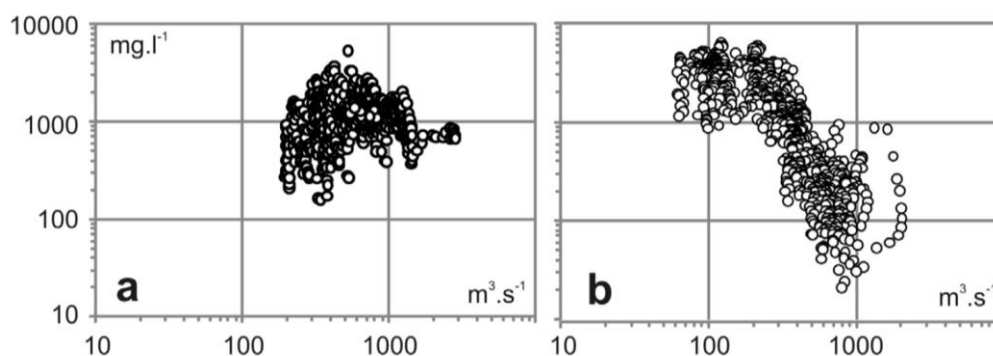
Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

**Figure 44 : Position du bouchon vaseux (source : A. SOTTOLICHIO, 1999)**

Ainsi, au niveau de Pauillac, le bouchon vaseux est présent pour des débits inférieurs à 1000 m³/s, soit une très grande partie de l'année.

Ces éléments ont été précisés quelques années après à partir des données du réseau MAGEST :

**Figure 45 : Concentration en MES en fonction du débit à Pauillac (a) et Bordeaux (b) (source : A. SOTTOLICHIO, 2011)**

Ainsi, à l'échelle de l'année, la position du bouchon vaseux dans l'estuaire varie :

- En étiage, le bouchon vaseux remonte vers l'amont de l'estuaire sous l'effet prépondérant de l'onde de marée, qui progresse vers l'amont à cause de débits fluviaux faibles.
- En crue, il descend vers l'aval de l'estuaire quand les forts débits sont présents. En cas de fortes crues, ce déplacement peut conduire à une expulsion de matières à l'extérieur de l'estuaire sous forme de panaches turbides.

De plus, plus le débit est faible, plus le bouchon vaseux est étendu.

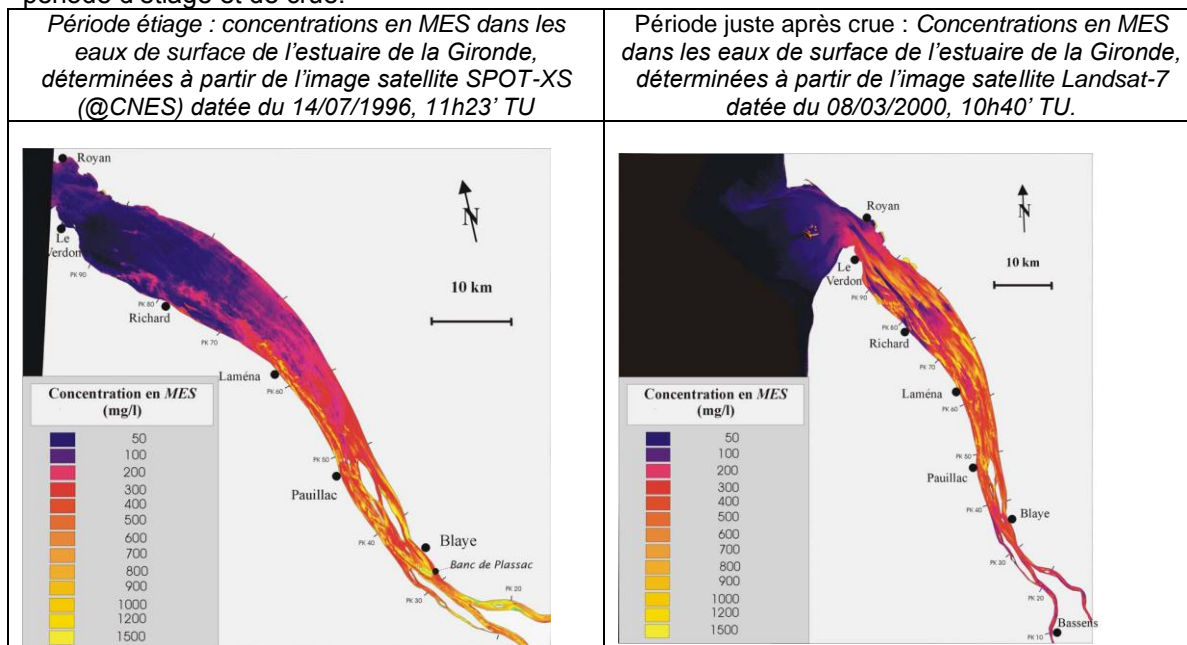
Enfin, ces graphes montrent que la concentration en MES au niveau du bouchon vaseux peut atteindre plusieurs g/l.

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

A titre d'illustration, les figures ci-dessous représentent les concentrations de MES de surface en période d'étiage et de crue.



Source : DOXARAN

4.2.1.2. Concentrations moyennes en MES au niveau de Pauillac et Bordeaux (réseau MAGEST)

Les concentrations en MES (surface) à Pauillac et Bordeaux ont été représentées pour plusieurs périodes entre octobre année n et septembre année n+1 (soit des années hydrologiques comme réalisées pour la modélisation) :

- Période 2005-2006 ;
- Période 2008-2009 ;
- Période 2010-2011 ;
- Période 2012-2013.

Les résultats montrent une grande variabilité entre les différentes années représentées. A noter que la période 2008-2009 (soit celle modélisée) présente des périodes saisonnières marquées (pour rappel : c'était un des objectifs du choix de cette période).

Tableau 14 – Concentrations en MES à Bordeaux et Pauillac déterminées à partir du Réseau MAGEST pour 4 périodes hydrologiques (2005-2006, 2008-2009, 2010-2011 et 2012-2013)

Période	Concentration	
	Bordeaux	Pauillac
Hivernale	Bouchon vaseux non présent : - Concentration en MES généralement inférieure à 0,5 g/l. Néanmoins plusieurs dépassements sont observés entre 0,5 et 1 g/l. - Dépassement très ponctuel au-dessus de 1g/l	Bouchon vaseux présent quelle que soit l'année : concentration en MES généralement comprise entre 1 et 3 g/l.
Estivale	Présence du bouchon vaseux : concentration pouvant atteindre 3,5 g/l.	Concentration autour de 0,5 g/l pour l'année 2008-2009 et 2012-2013 Concentration supérieure à 1g/l pour l'année 2010-2011

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

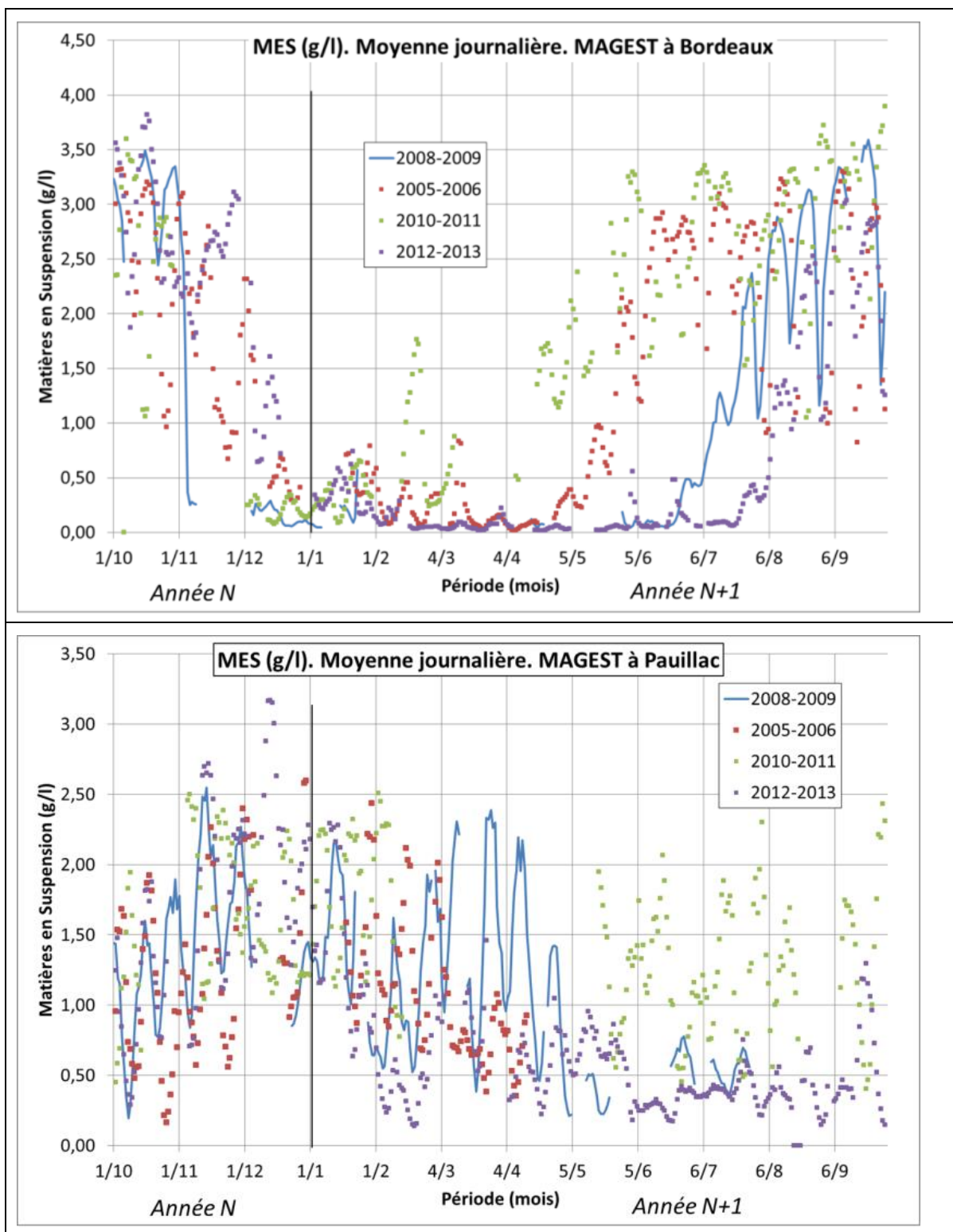


Figure 46 : Concentrations de MES à Bordeaux et Pauillac (source : d'après réseau MAGEST)

Il convient de rappeler que ces concentrations correspondent à des mesures de surface, soit des concentrations généralement plus faibles que celles observées dans le fond de la colonne d'eau.

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

4.2.1.3. Evolution des MES dans la colonne d'eau

Quelques données bathymétriques permettent d'avoir une approche très sommaire de l'évolution des MES en fonction de la profondeur d'eau :

- 1) Les mesures du réseau SOMLIT (2008-2009, 2005-2006 et 2010-2011), au fond et en surface.

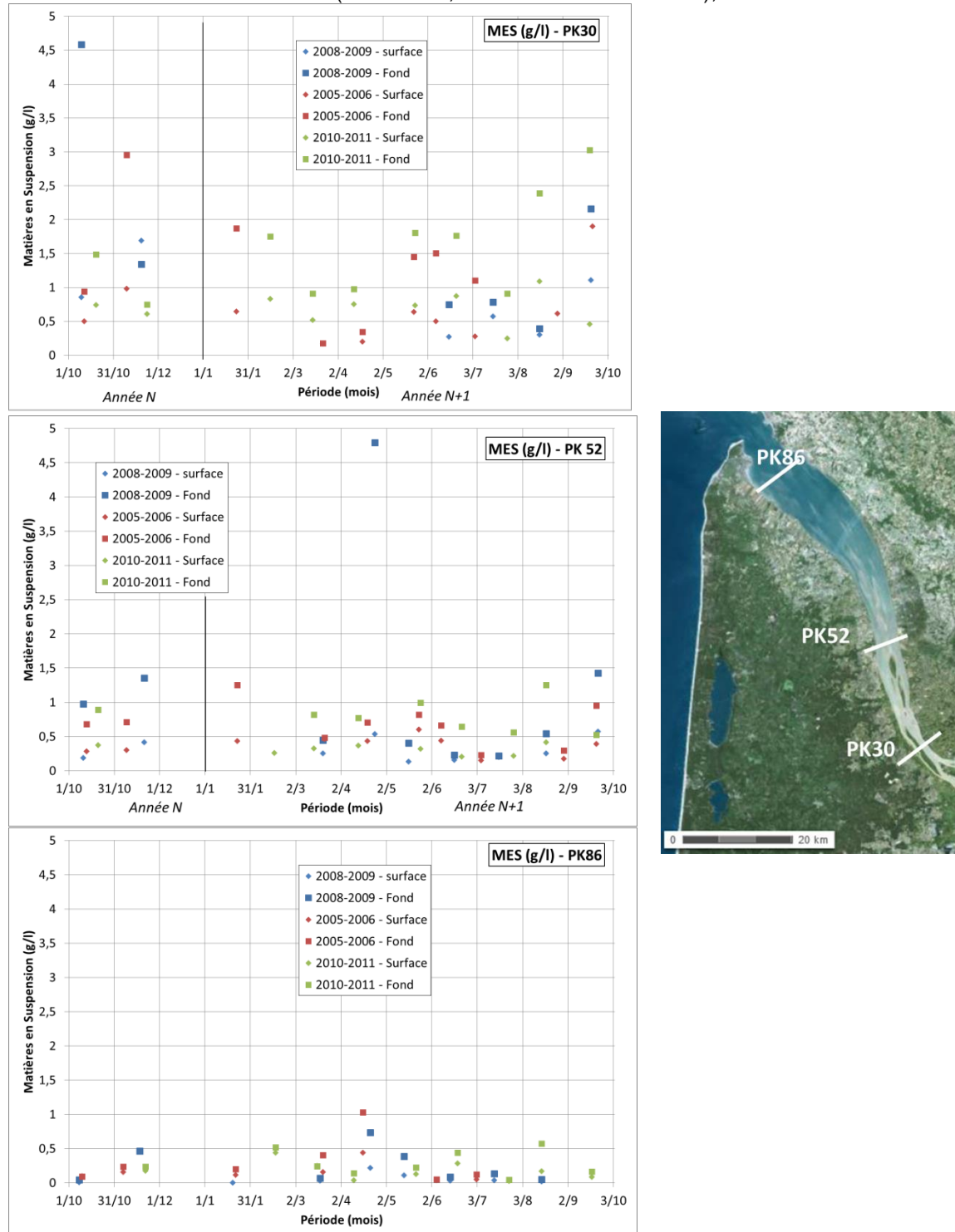


Figure 47 : Concentrations de MES en surface et fond en trois points de l'estuaire (source : d'après réseau SOMLIT)

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

Sur ces mesures, les concentrations de fond sont, en moyenne, deux fois supérieures à celles de la surface.

Dans la partie aval de l'estuaire, les concentrations en MES sont généralement inférieures à 0,5 g/l.

- 2) Les mesures réalisées lors de l'expérimentation du DIE par le GPMB dans la Garonne (source : Suivi de l'incidence de la technique de remobilisation des sédiments par injection d'eau - Essai 2011) :

Les concentrations mesurées le 14 mars 2011 (avant l'expérimentation) étaient les suivantes :

- Surface : concentrations comprises entre 0,3 et 0,7 g/l ;
- Mi-hauteur : concentrations comprises entre 0,3 et 1,2 g/l ;
- Fond : concentrations comprises entre 1 et 100 g/l (présence de crème de vase).

Ces données confirment que les concentrations sur le fond sont nettement plus importantes que les concentrations en surface. Le rapport peut être largement supérieur à 2.

4.2.2. Evolution des MES issus des rejets

L'analyse a porté sur les cartes de :

- MES moyennes sur l'année : l'objectif est de déterminer les zones impactées en lissant les pics maximums observés lors des immersions et les MES moyennes par saison ;
- MES maximum sur l'année ce qui permet de visualiser directement les panaches issus des zones de clapage

Nota : Lorsque cela n'est pas précisé, la MES correspond à la MES moyenne sur la verticale.

4.2.2.1. Répartition géographique des MES à l'échelle de l'estuaire

4.2.2.1.1. MES (moyenne verticale) à l'échelle de l'estuaire et de l'année

La figure suivante représente les MES moyennes et max à l'échelle de l'estuaire. Des zooms sur chacune partie de l'estuaire sont ensuite réalisés.

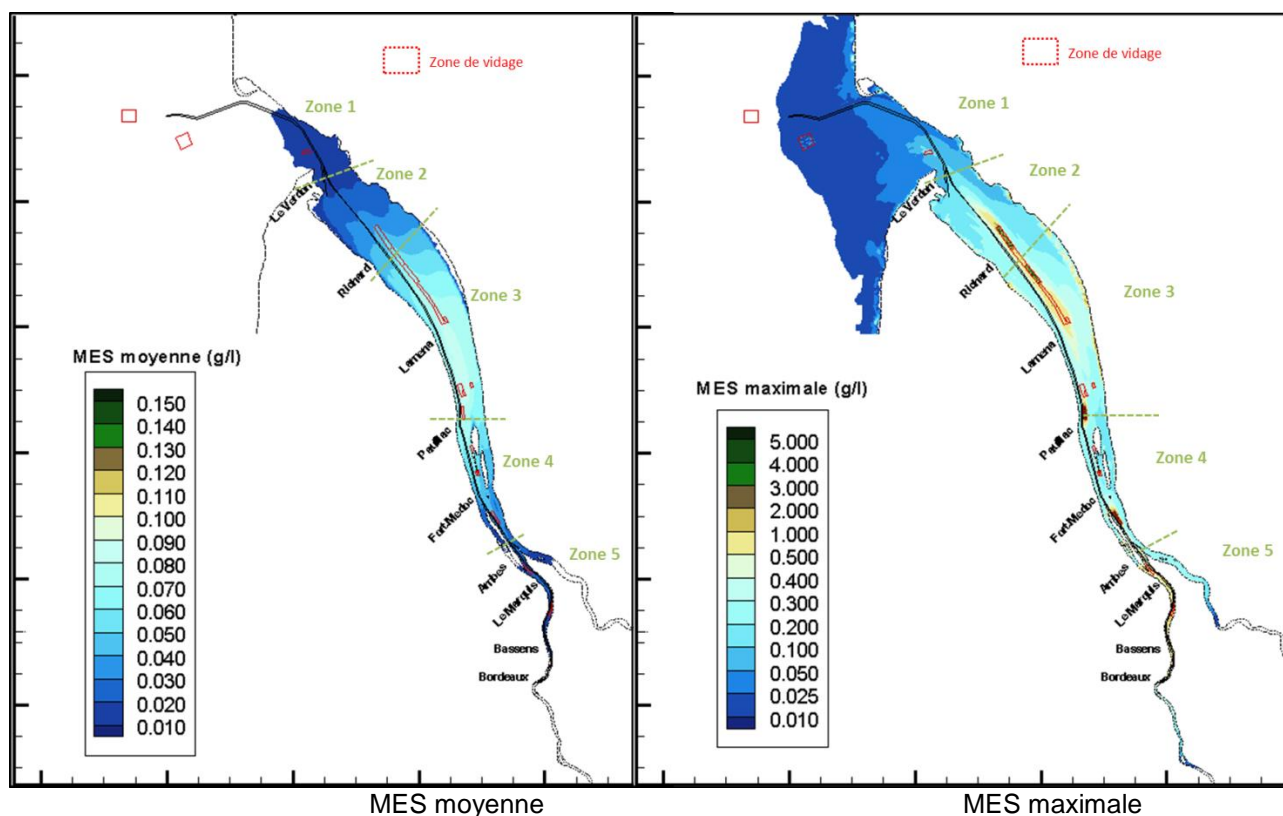
A l'échelle de l'estuaire, les « moyennes » en MES sont plus importantes entre Lamena et Pauillac (environ 0,085 g/l). Les plus faibles concentrations « moyennes » sont observées à l'aval et l'amont de l'estuaire. Ces résultats sont cohérents avec la localisation du bouchon vaseux dans l'estuaire de la Gironde.

Les concentrations MES « maximums » sont observées au niveau des zones d'immersion les plus utilisées (masses clapées les plus importantes : 3.7, 3.4, 2.4 et 1.8) et sur la zone amont de l'estuaire (Bellerive et Bec aval) correspondant à l'expérimentation du DIE.

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clavage et remise en suspension sur une année réelle complète



Attention les échelles de MES ne sont pas les mêmes pour les cartes de MES moyennes et les cartes de MES maximales.

Figure 48 : Cartes de MES MOYENNE (sur la verticale), moyenne et maximale (temporelle) en vase –vue générale

4.2.2.1.2. MES à l'échelle de l'estuaire et de l'année : variabilité verticale

Les cartes suivantes représentent les concentrations de MES au fond et en surface. D'une manière générale, elles sont qualitativement très proches spatialement des résultats intégrés sur la verticale (présentés précédemment).

Cependant, les intensités sont différentes, en particulier sur les fonds : en effet, les concentrations y sont nettement plus fortes qu'en surface. Sur les valeurs moyennes (temporelles) les concentrations sont environ 10 fois plus fortes au fond qu'en surface.

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clavage et remise en suspension sur une année réelle complète

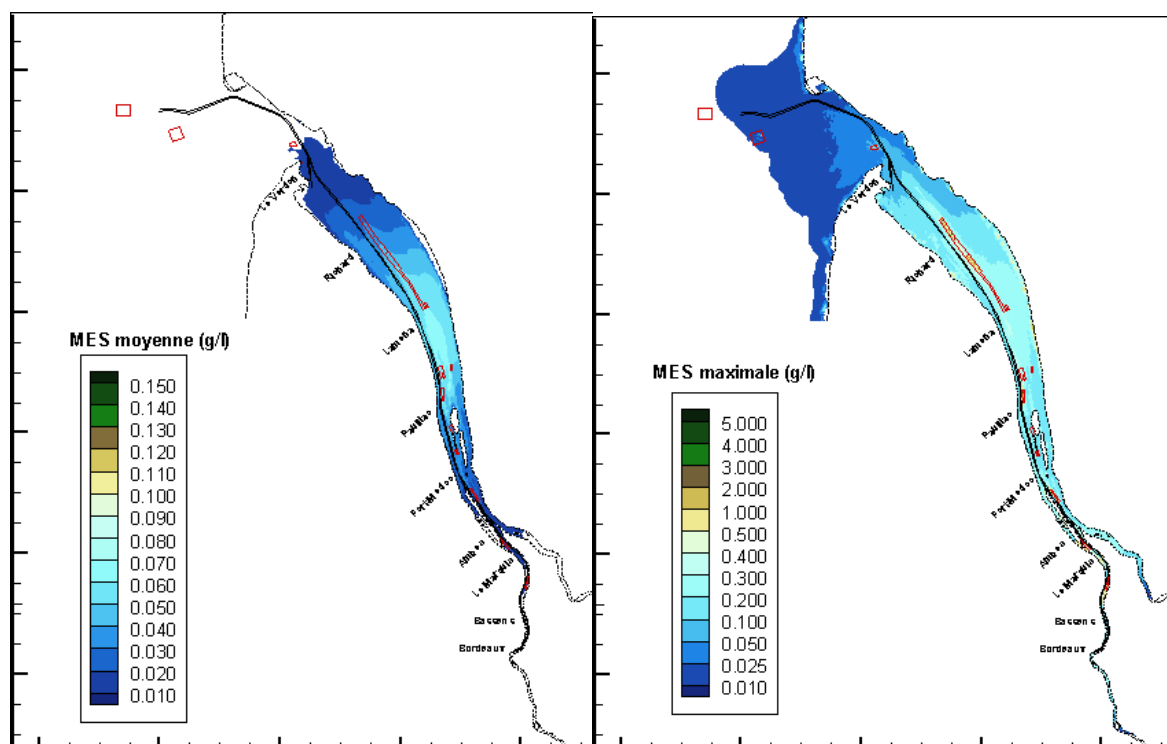


Figure 49 : Cartes de MES DE SURFACE moyenne et maximale (temporelle) en vase –vue générale

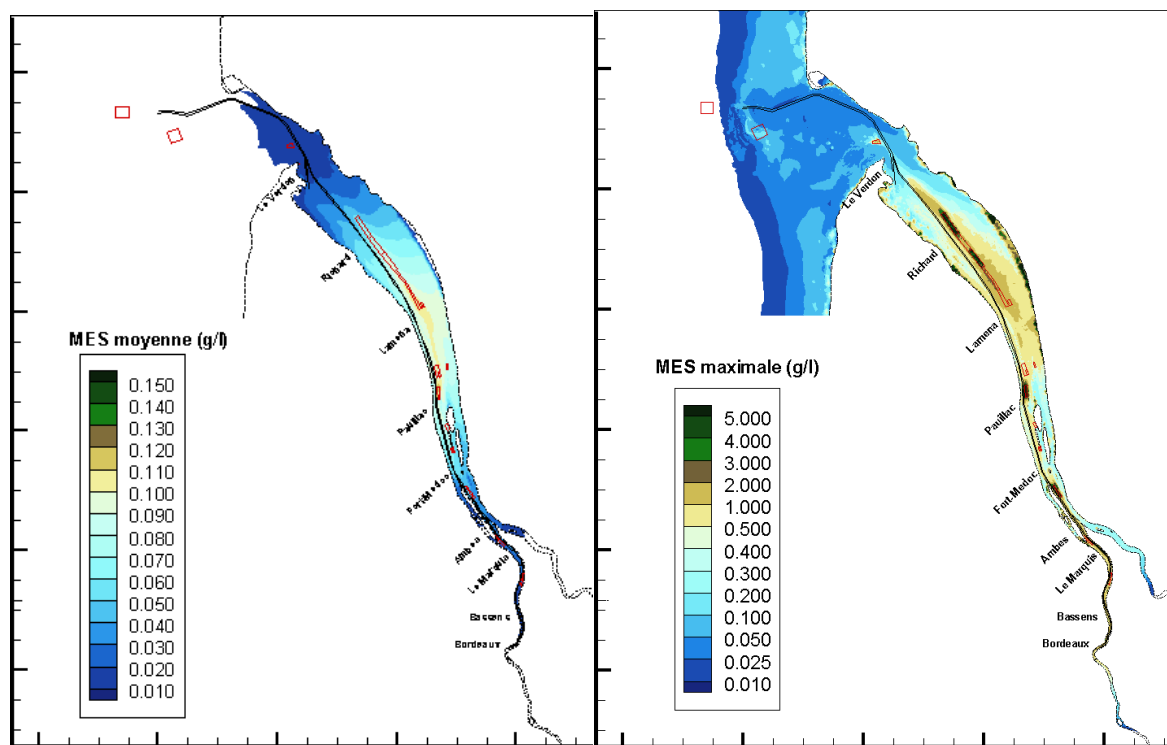


Figure 50 : Cartes de MES DE FOND, moyenne et maximale (temporelle) en vase – vue générale

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

4.2.2.2. Evolution des MES (moyenne verticale) suivant le coefficient de marée (échelle locale)

Afin de visualiser l'effet du coefficient de marée sur les panaches issues des clapages, la valeur maximale de MES a été calculée sur 2 périodes :

- Le 8-9 octobre période de Morte-eau (coef. 26-24-26-30)
- Le 15-16 octobre et en Vive-eau (coeff100-102-103-103)

Ceci pour les deux zones géographiques suivantes : zone 2.4 et zones 3.4 à 3.7

Dans les deux secteurs géographiques, le taux de MES est plus important localement dans la zone de clapage lorsque les clapages sont effectués en Morte-eau ; les conditions hydrauliques sont en effet favorables à une plus forte concentration des sédiments sur la zone.

Cependant, en raison des conditions hydrauliques, les panaches issus des rejets sur les zones de clapage sont plus importants en période de Vive-eau qu'en morte eau. Les emprises sont quasiment 2 fois plus larges et longues (pour la concentration de 100mg/l).

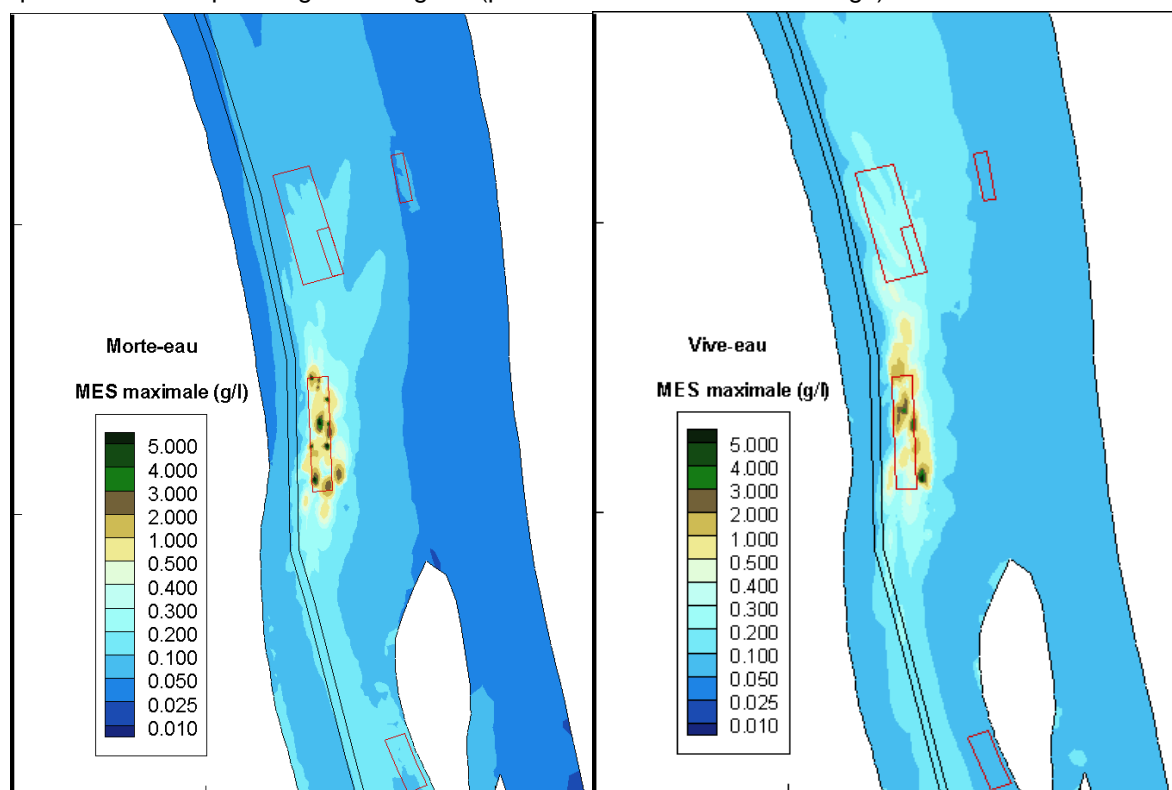


Figure 51 : Cartes de MES (moyenne verticale), moyenne et maximale (temporelle) en Morte-eau (8-9 octobre (cf26-24-26-30) et 15-16 octobre en Vive-eau (cf100-102-103-103) sur la Zone 2.4

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

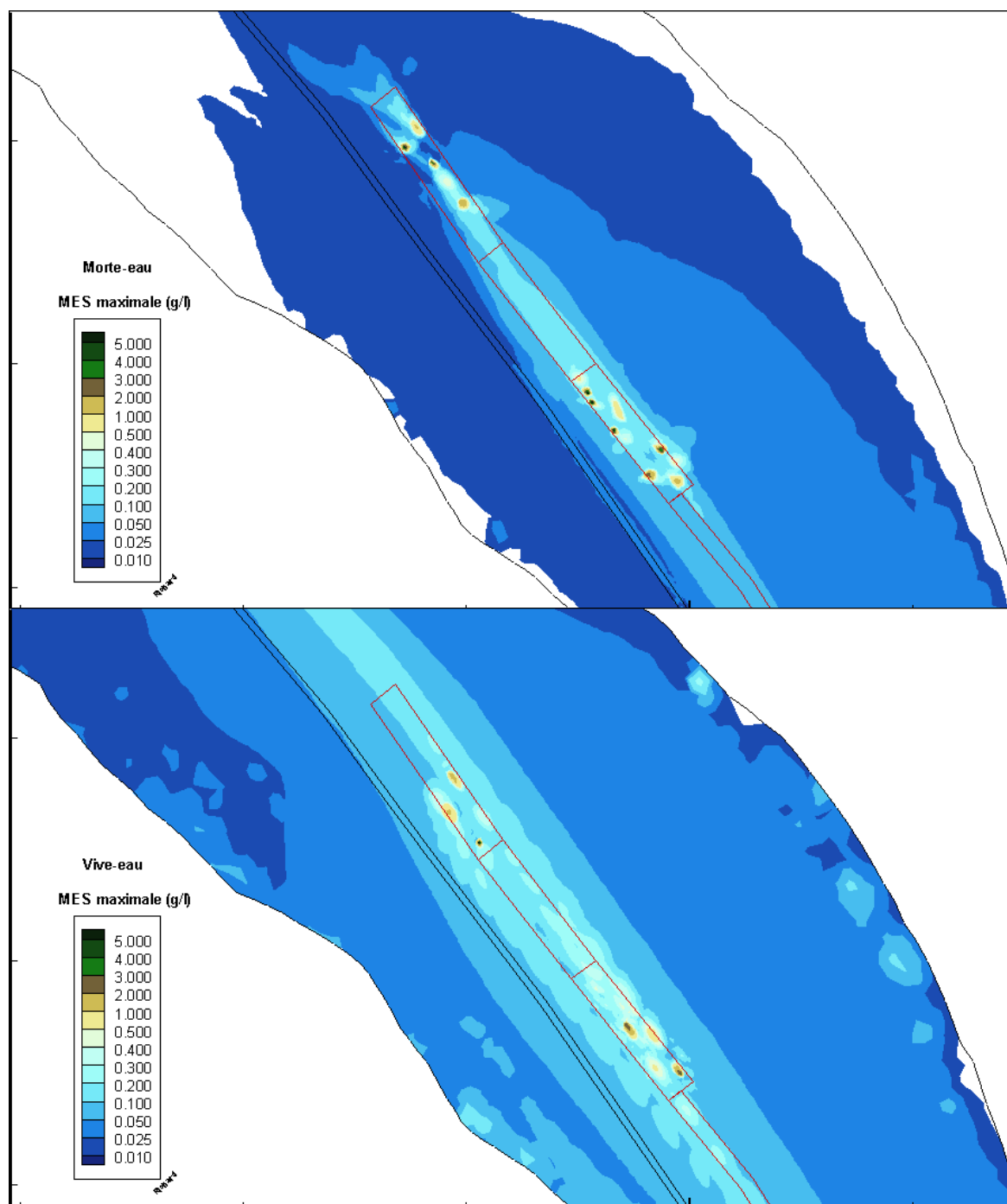
RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

Figure 52 : Cartes de MES (moyenne verticale), moyenne et maximale (temporelle) en Morte-eau (8-9 octobre (cf26-24-26-30) et 15-16 octobre en Vive-eau (cf100-102-103-103) sur la Zone 3.7 et 3.4

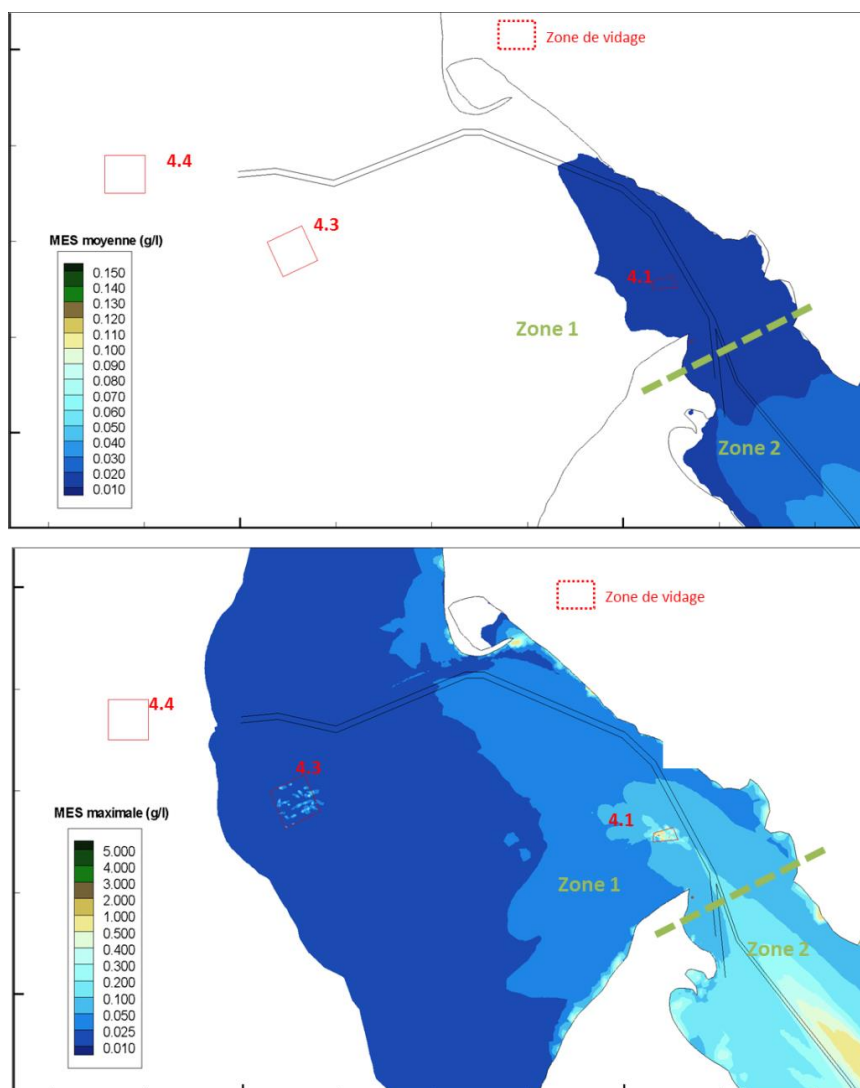
Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

4.2.2.3. Focus par zone : MES (moyenne verticale) à l'échelle de l'année**Zone Embouchure**

	Concentrations MES moyennes	Concentrations MES maximales
Zones d'immersion et abords (4.3 et 4.1)	<p>Zone 4.3 : concentrations MES négligeables</p> <p>Zone 4.1 : concentrations très faibles, inférieures à 0,01 g/l.</p>	<p>Les concentrations maximales représentant l'enveloppe des panaches maximum sont comprises (hors zone directe d'immersion) entre 0,1 g/l (à 1 km dans l'axe de dispersion pour la zone 4.1) à 0,2 g/l (aux abords des zones d'immersion)</p> <p>(rappel : nettement inférieures aux concentrations observées lors de la présence du bouchon vaseux)</p>
Autres zones	Nulles dans la partie aval de l'embouchure (à l'aval de la zone 4.1)	Concentrations maximales observées ponctuellement au niveau des plages de Soulac (Nord Médoc) et de la Palmyre



Attention les échelles de MES ne sont pas les mêmes pour les cartes de MES moyennes et les cartes de MES maximales.

Figure 53 : MES MOYENNE (sur la verticale), moyenne et maximale en vase -zoom embouchure

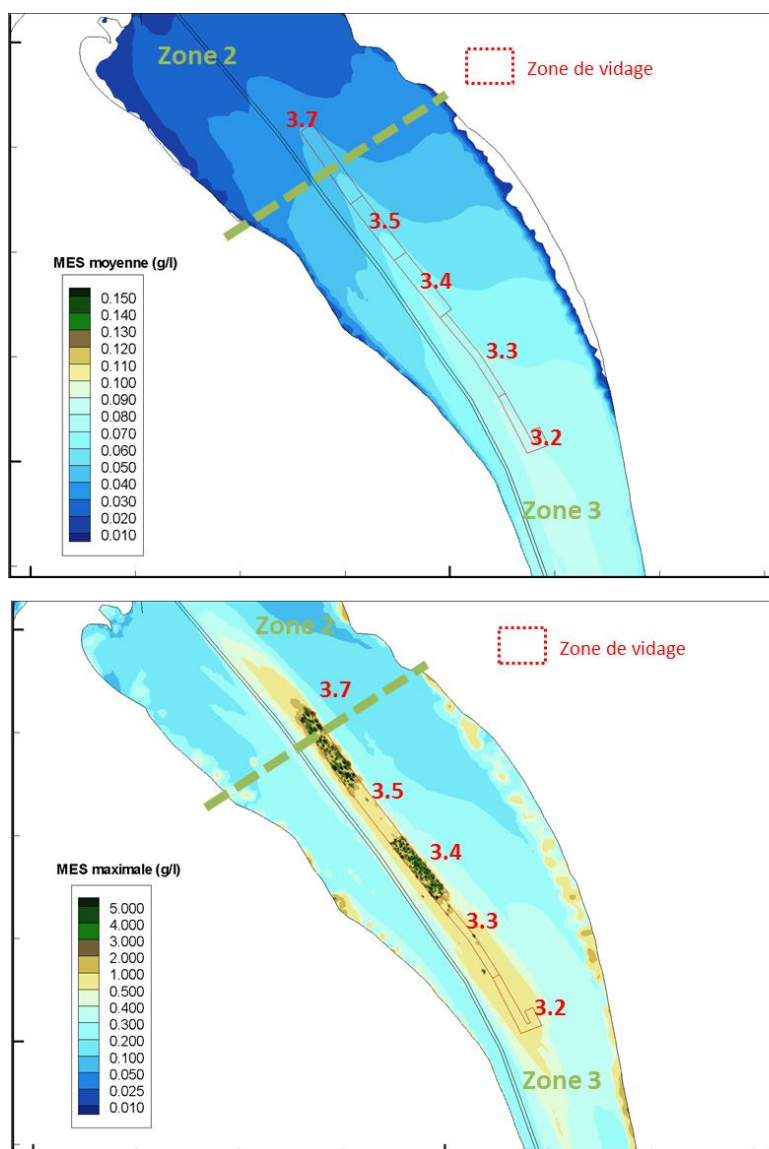
Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

Zone Verdon –Lamena

	Concentrations MES moyennes	Concentrations MES maximales
Zones d'immersion et abords	<p>Gradient de concentration décroissant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - De l'amont vers l'aval ; - Des zones d'immersion vers les deux rives. <p>Concentrations très faibles, inférieures à 0,01 g/l (donc largement inférieures aux concentrations du milieu naturel)</p>	<p>Les concentrations maximales représentant l'enveloppe des panaches maximum sont comprises (hors zone directe d'immersion) entre 1 g/l (aux abords des zones d'immersion) à 0,5 g/l (à 5 km dans l'axe de dispersion, dans le sens jusant ou flot). Les concentrations maximales décroissent donc assez rapidement. L'axe de ces panaches est bien parallèle au chenal de navigation</p> <p>Emprise des concentrations supérieures à 1g/l : dans les veines de courant à l'amont et à l'aval des zones de vidage (jusqu' 3,5 km) ; extension quasi nulle transversalement autour des zones de vidage.</p> <p>Concentration maximales au niveau des zones de vidage 3.7 et 3.4 : > 4-5 g/l</p>
Autres zones		Concentrations maximales observées ponctuellement sur la rive droite de l'estuaire (concentration maximale pouvant atteindre 1 à 2 g/l)



Attention les échelles de MES ne sont pas les mêmes pour les cartes de MES moyennes et les cartes de MES maximales.

Figure 54 : MES MOYENNE (sur la verticale), moyenne et maximale en vase -zoom Verdon Lamena

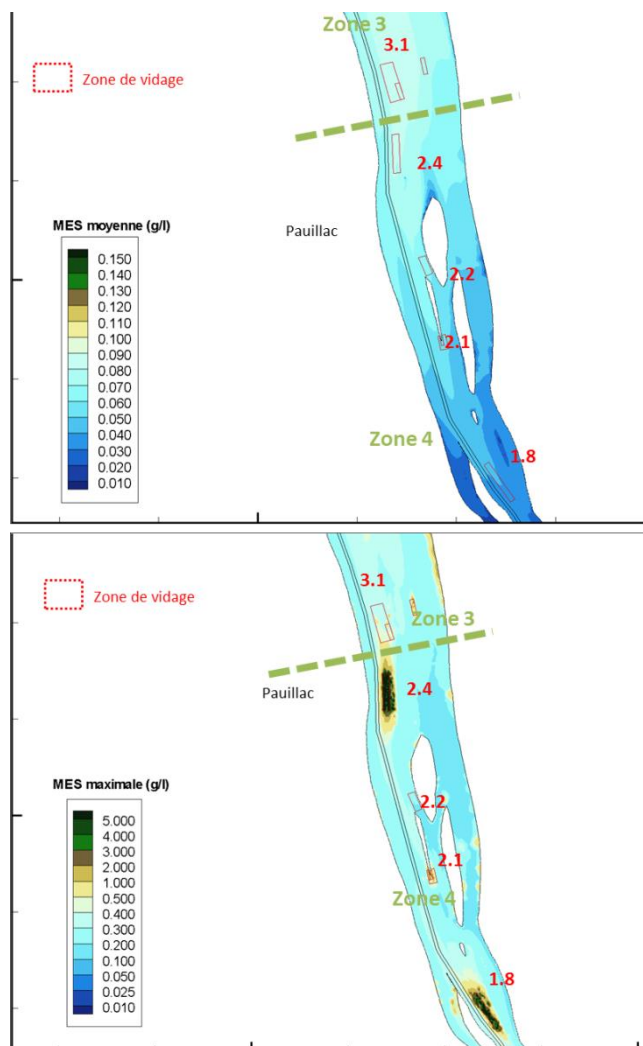
Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

Zone Lamena-Ambes

	Concentrations MES moyennes	Concentrations MES maximales
Zones d'immersion et abords	Concentrations très faibles, inférieures à 0,01 g/l (donc largement inférieures aux concentrations du milieu naturel) Gradient de concentration décroissant de l'aval vers l'amont. Profil transversal : concentration plus faible à l'Est des îles qu'au niveau du chenal	Les concentrations maximales représentant l'enveloppe des panaches maximum sont comprises (hors zone directe d'immersion) entre 3 g/l (aux abords des zones d'immersion) à environ 0,5 g/l (à 2,5 km dans l'axe de dispersion, dans le sens jusant ou flot). Les concentrations maximales décroissent donc assez rapidement. L'axe de ces panaches est bien parallèle au chenal de navigation Concentration maximale au niveau des zones de vidage 2.4 et 1.8 : > 4-5 g/l Les concentrations supérieures à 1g/l restent dans l'emprise des zones de vidage
Autres zones		Concentrations maximales observées ponctuellement au niveau de la rive droite, à l'aval de la zone de vidage 3.1 (concentration autour de 1 g/l)



Attention les échelles de MES ne sont pas les mêmes pour les cartes de MES moyennes et les cartes de MES maximales.

Figure 55 : Cartes de MES MES MOYENNE (sur la verticale), moyenne et maximale en vase -zoom Lamena Ambes

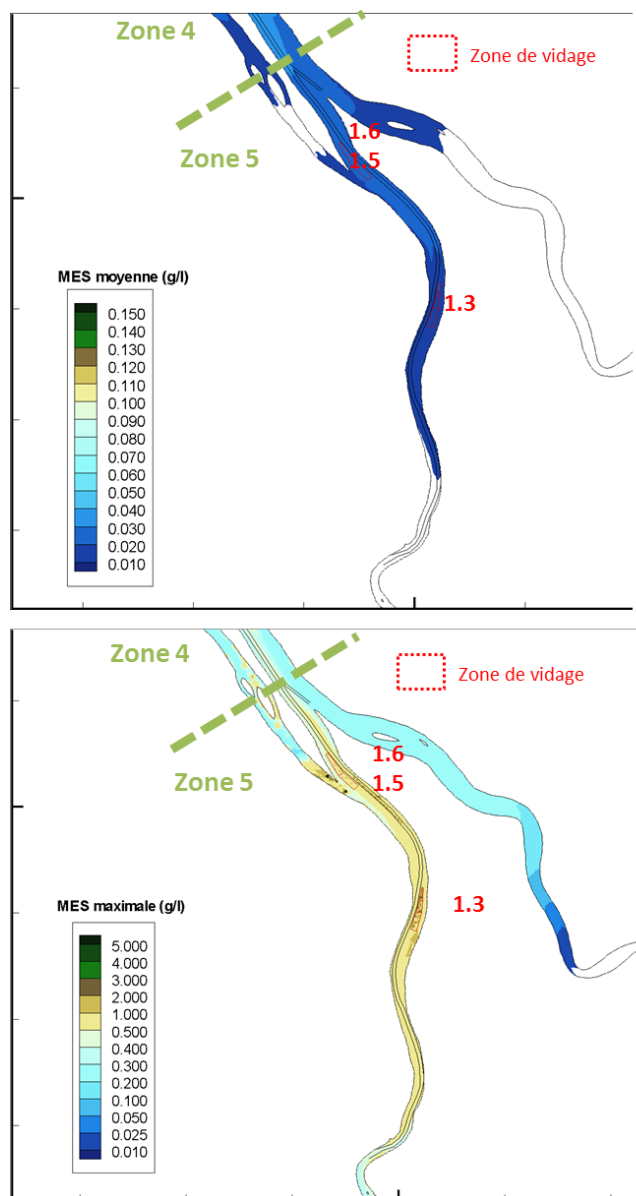
Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

Zone Ambes-Bordeaux

	Concentrations MES moyennes	Concentrations MES maximales
Zones d'immersion et abords	Gradient de concentration décroissant de l'aval vers l'amont.	Les concentrations maximales sont observées sur une grande partie de la Garonne (entre Ambes et Bordeaux). Les concentrations moyennes sur la verticale sont autour de 0,5 et 1 g/l. Ceci résulte directement des pratiques de dragage à injection d'eau. Cependant, on voit sur les figures suivantes (Fond et surface) que les concentrations les plus importantes sont localisées sur le fond et surtout dans le chenal de navigation et non sur toute la colonne d'eau (concentration très faible à la surface).
Autres zones		



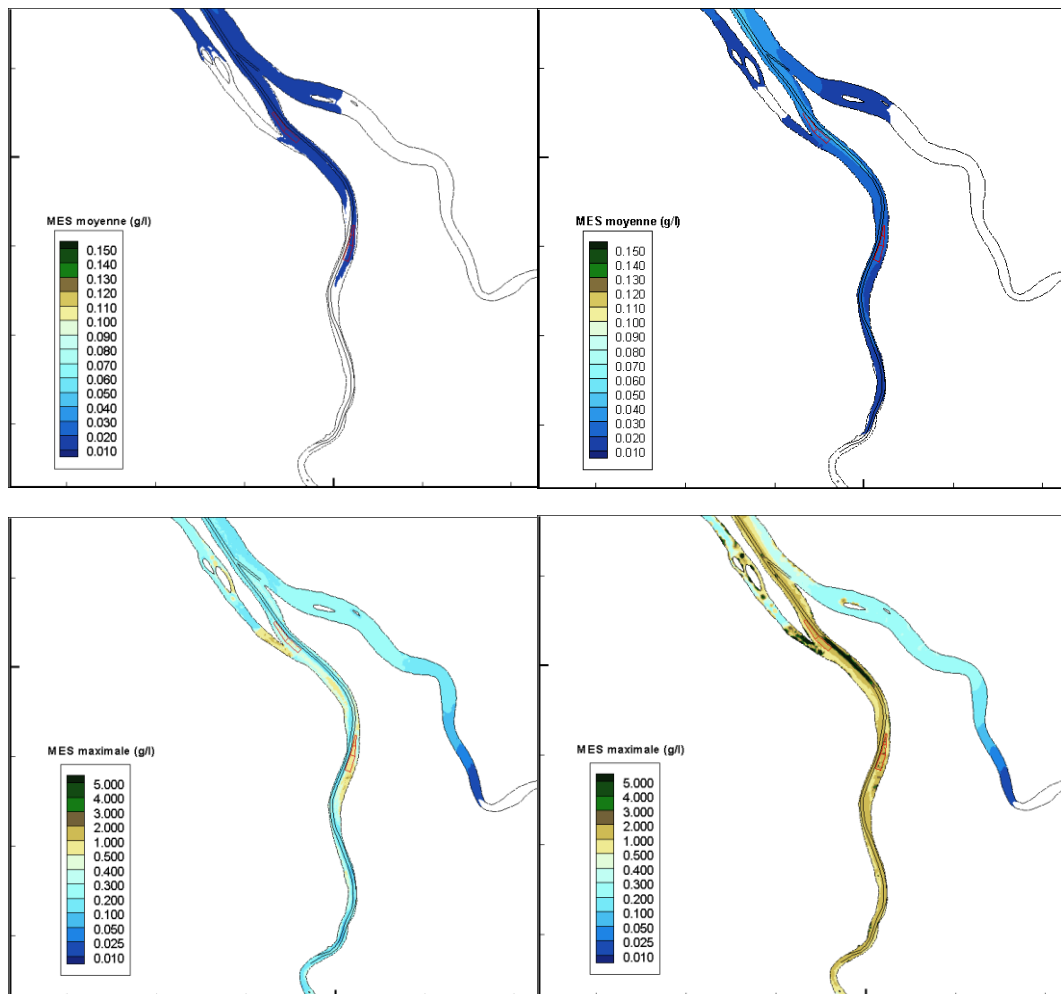
Attention les échelles de MES ne sont pas les mêmes pour les cartes de MES moyennes et les cartes de MES maximales.

Figure 56 : Cartes de MES MOYENNE (sur la verticale), moyenne et maximale en vase -zoom Ambes –Bordeaux

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète



Attention les échelles de MES ne sont pas les mêmes pour les cartes de MES moyennes et les cartes de MES maximales.

Figure 57 : Cartes de MES en SURFACE (à gauche) et au FOND (à droite), moyenne et maximale en vase -zoom Ambes –Bordeaux

Ainsi, les concentrations moyennes en MES (moyenne verticale) issues des rejets (modélisation) sont très faibles, inférieures à 0,1 g/l. Elles sont donc nettement inférieures aux concentrations moyennes de surface (approximativement autour de 0,5 g/l) dans l'estuaire en l'absence du bouchon vaseux.

Les concentrations maximales liées au rejet (modélisation) sont observées temporairement (lors des opérations de rejet) dans l'emprise des zones de vidage. Elles peuvent atteindre 3 à 5 g/l soit une concentration équivalente à celle de surface en présence du bouchon vaseux.

4.2.3. Temps de dépassement des MES par rapport à plusieurs seuils

4.2.3.1. Méthodologie

Les cartes de MES moyennes ne reflètent pas la variabilité des écarts à cette valeur. De même, les cartes de MES maximales représentent des valeurs qui n'arrivent qu'une fois dans l'année (pas de temps de 10 secondes).

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

Par conséquent, pour approcher la variabilité de ces concentrations, nous avons réalisé des cartes de temps de dépassement de seuils (soit le nombre de jours dans l'année où les seuils sont dépassés). L'objectif est d'aider à la compréhension des évolutions de MES liées aux rejets.

Détermination des seuils de dépassement pour l'analyse

Comme précisé précédemment, les concentrations en MES sont très variables. Face à cette grande variabilité des concentrations observées dans l'estuaire, nous avons choisi deux seuils de dépassement pour aider à la compréhension des phénomènes hydrosédimentaires. Ces seuils ont été ainsi déterminés en fonction des résultats analysés ; il ne s'agit pas de limites ou seuils particuliers (type seuils de danger) à ne pas dépasser, mais plutôt de seuils qui permettent d'encadrer le minimum et maximum d'impact en MES :

- Seuil bas de 50 mg/l ;
- Seuil maximal de 500 mg/l qui permet d'approcher l'effet maximum.

4.2.3.2. Résultats de l'analyse des temps de dépassement**Temps de dépassement par rapport au seuil de 50mg/l**

Le seuil bas de 50mg/l permet de visualiser la position de la zone maximale de turbidité liée aux rejets. Il se trouve entre Pauillac et Lamena ce qui correspond bien à ce qui est observé pour le bouchon vaseux de l'estuaire en nature et en moyenne dans l'année:

Effectivement, en nature, une partie du bouchon vaseux se trouve à un moment de la marée aux alentours de Pauillac pour quasiment tous les débits hors mis les périodes de crue.

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

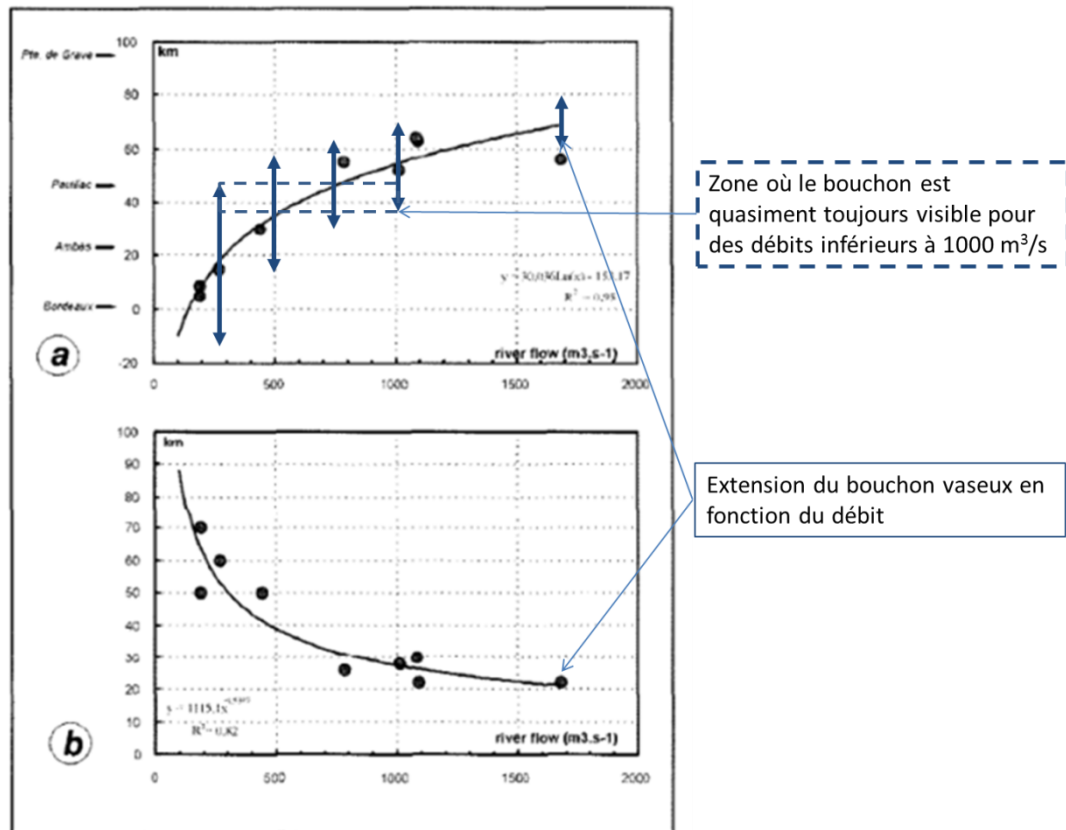


Figure 4. Characteristics of the turbidity maximum as a function of the river flow: a) position of the core (in km downstream from Bordeaux); b) length of the high-concentrated area.

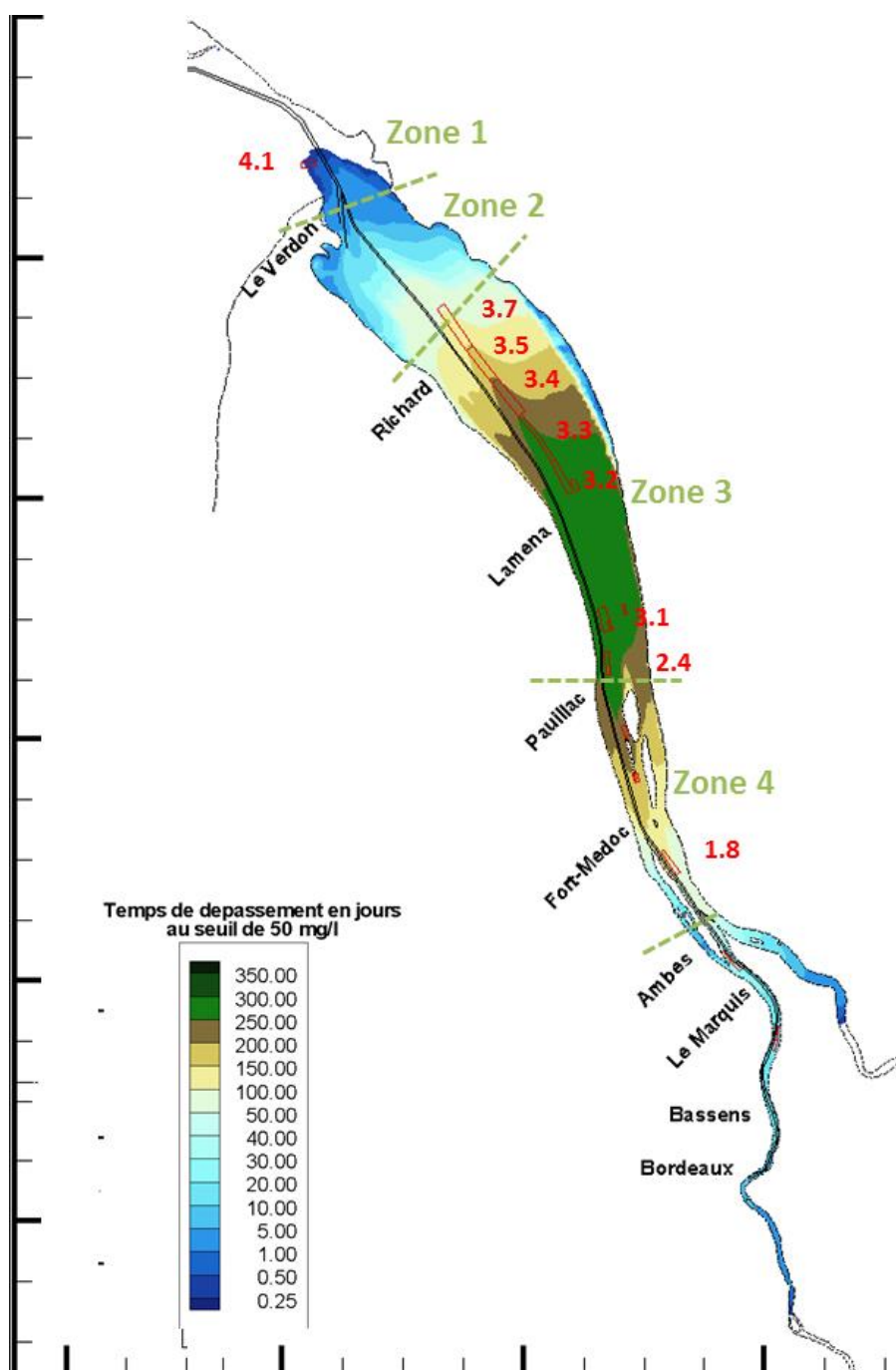
Caractéristiques du bouchon vaseux en fonction du débit fluvial :
a) position du centre (en km en aval de Bordeaux) ; b) longueur en km.

Figure 58 : Position et extension du bouchon vaseux en fonction du débit d'après Aldo Sottolichio, Patrice Castaing - « A synthesis on seasonal dynamics of highly-concentrated structures in the Gironde estuary » - Surface Geosciences – Oceanography – 1999

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

**Figure 59 : Temps de dépassement au seuil de 50 mg/l –estuaire**

Le nombre de jours par an pour lesquels la concentration est supérieure à 50 mg/l est de 300. A l'aval, ce nombre de jours de dépassement décroît progressivement pour atteindre au niveau de l'embouchure (Verdon) moins d'un jour par an.

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clavage et remise en suspension sur une année réelle complète

Temps de dépassement au seuil 500mg/l

Ce seuil de dépassement de 500 mg/l montre que les plus fortes concentrations sont localisées autour des principales zones de vidage et sur la zone Ambès-Bordeaux :

	Nombre de jours par an de dépassement du seuil 500 mg/l
Zones de vidage 3.1 à 3.7	< 0,5 jr
Zone de vidage 2.4 et 1.8	1 jr
Zone Ambès-Bordeaux	1 jr

Pour la zone Ambès-Bordeaux, les forts temps de dépassement du seuil 500 mg/l s'explique par :

- La méthode de rejet réalisé (DIE) réalisé sur 15 jrs ;
- La dispersion des MES qui est plus faible en raison de la configuration du site et des faibles débits observés pendant l'expérimentation.

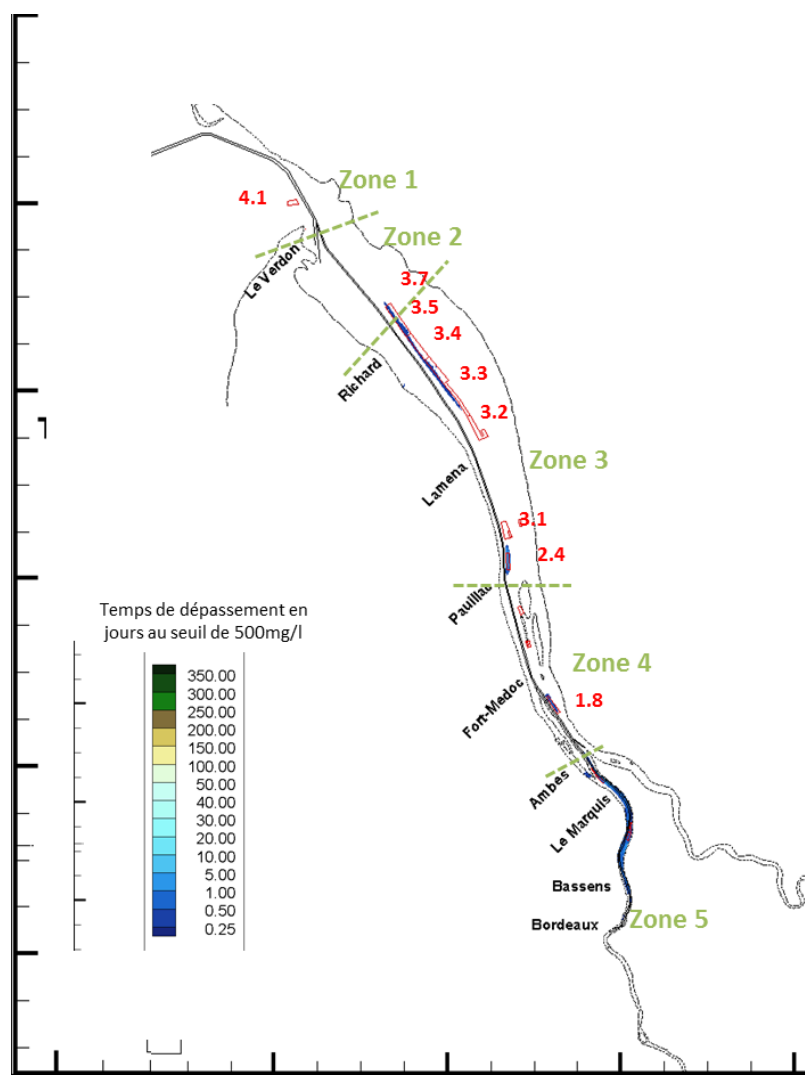
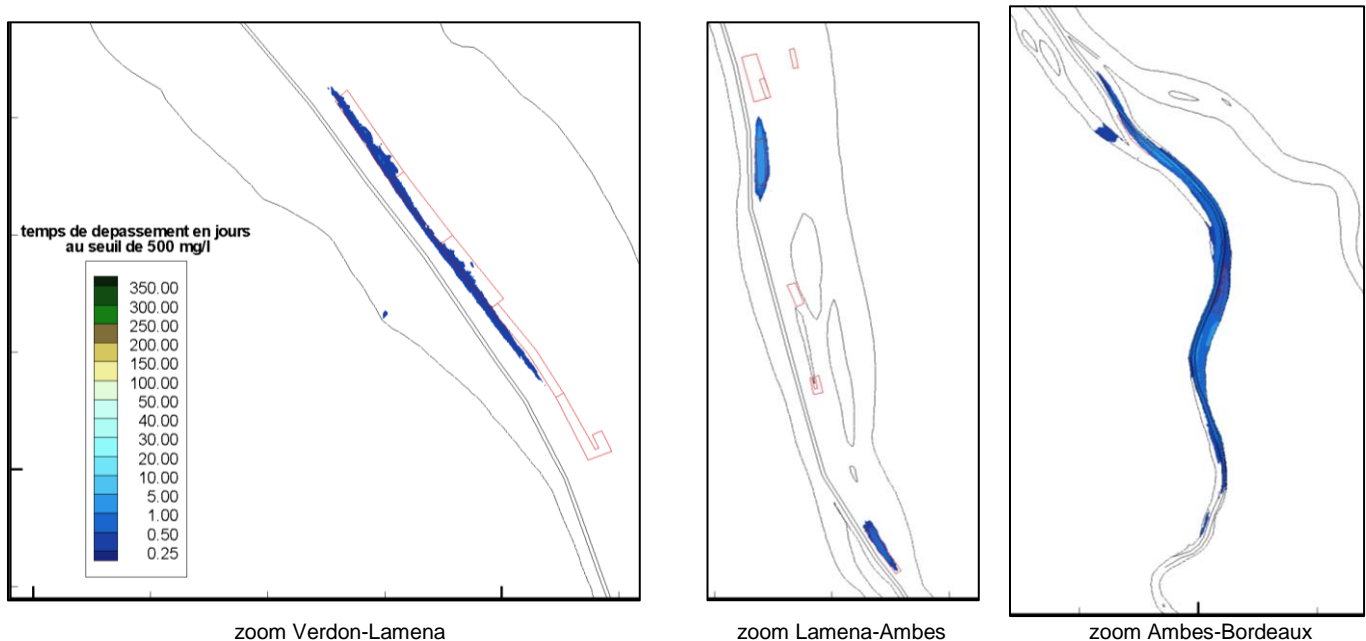


Figure 60 : Temps de dépassement au seuil de 500 mg/l -estuaire

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

**Figure 61 : Temps de dépassement au seuil de 500 mg/l -zoom****4.2.4. Influence des techniques de rejet sur les concentrations en MES**

Le but est d'estimer l'impact des principales pratiques de rejet de sédiment : immersion, rejet au fil de l'eau et DIE.

Pour cela nous nous sommes basés sur des points de sondes de MES aux alentours des zones étudiées (quelques centaines de mètres à l'amont et l'aval des zones...).

La difficulté est que la MES mesurée ne provient pas forcément uniquement du rejet effectué puisque l'année entière est simulée et que l'estuaire cumule du sédiment en mouvement. C'est pourquoi nous nous sommes attachés à étudier l'impact:

- Dans le premier mois lorsque l'estuaire est encore « peu » chargé par les rejets de dragage ;
- Lorsqu'il y a des arrêts francs de rejet ce qui permet de visualiser directement l'impact en comparant les valeurs obtenues avant et après arrêt des clapages.

L'analyse a porté sur deux types d'évolutions temporelles :

- Evolution temporelle, avec une sortie par $\frac{1}{4}$ d'heure : ceci permet de visualiser les pics de concentrations en MES (graphe en haut) ;
- Evolution temporelle lissée sur la marée (12h30) : ceci permet de visualiser les tendances et moyennes de concentration en MES (graphe en bas).

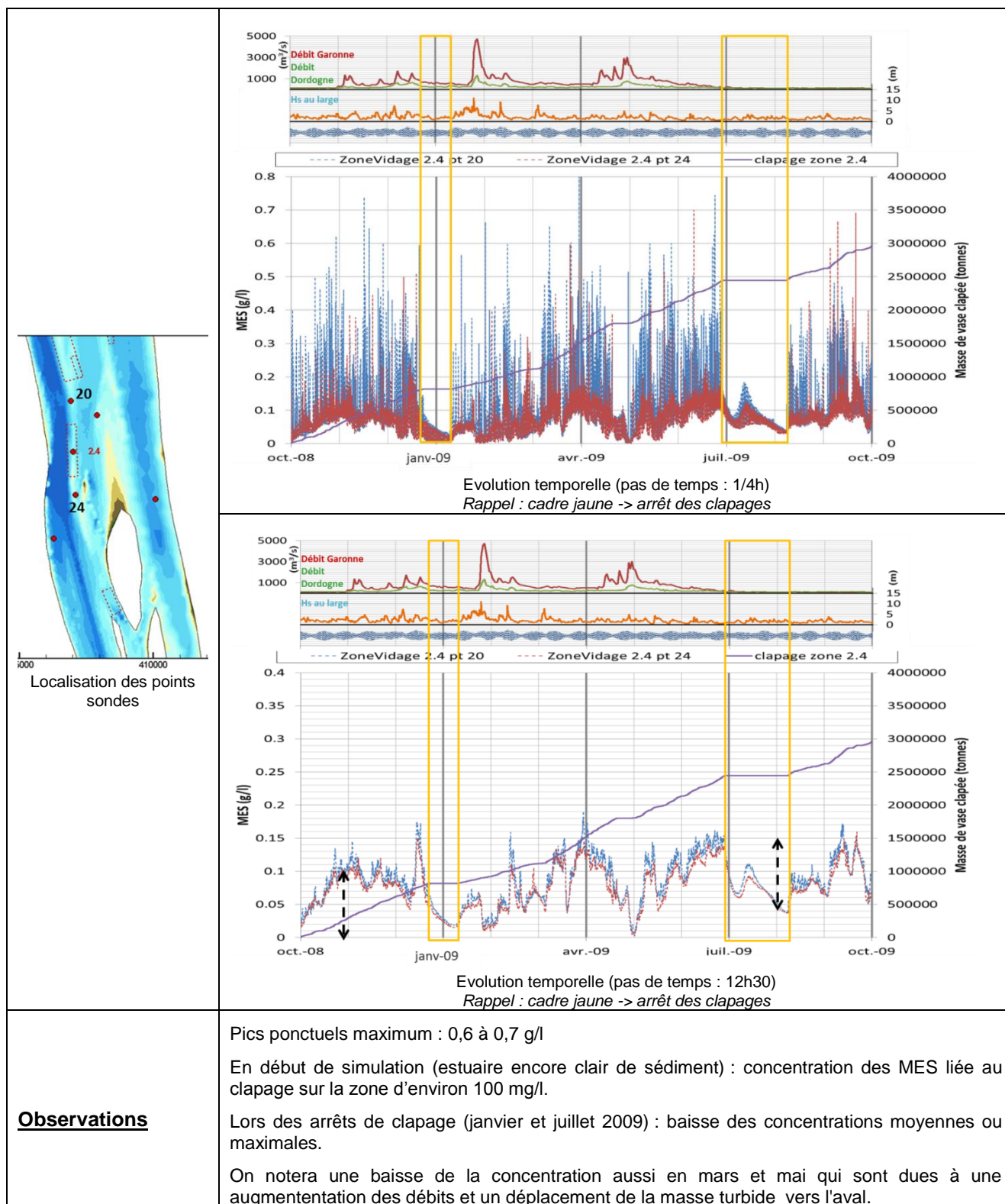
Ainsi, pour chacune des techniques, ont été représentés sur un même graphe :

- Les cumuls de clapage sur la zone (représenté en violet) et les conditions hydrodynamiques ce qui permet de corréler les concentrations en MES observées avec les opérations de rejet ;
- Les évolutions temporelles (le pas est le $\frac{1}{4}$ d'heure ou 12h30) des MES pour différentes zones à proximité immédiate. La localisation de ces points-sondes est précisé sur la carte en médaillon ;
- Des **cadres jaunes** permettent de localiser les périodes d'arrêt notable des clapages sur cette zone.

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

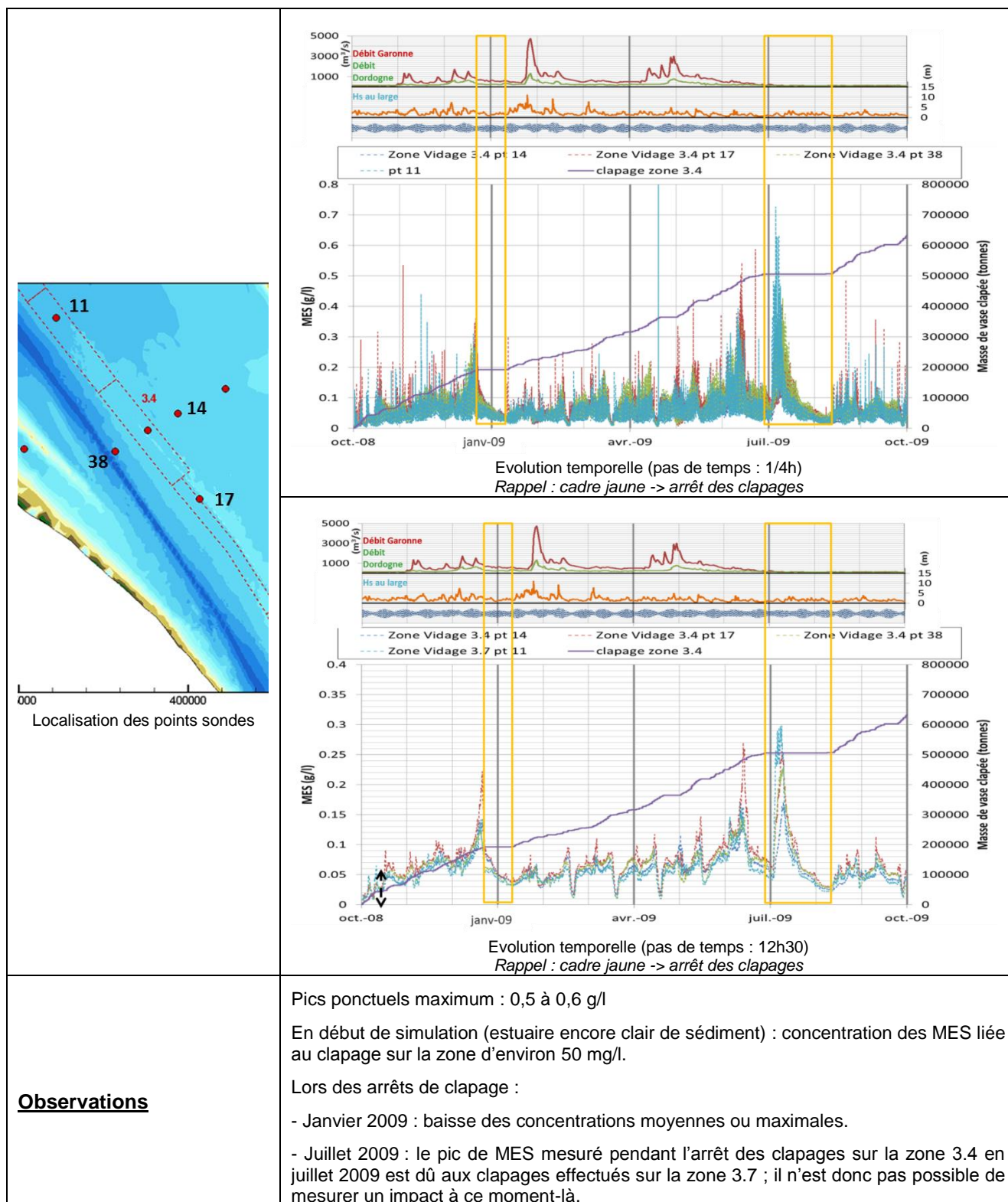
RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

Zone de vidage 2.4

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

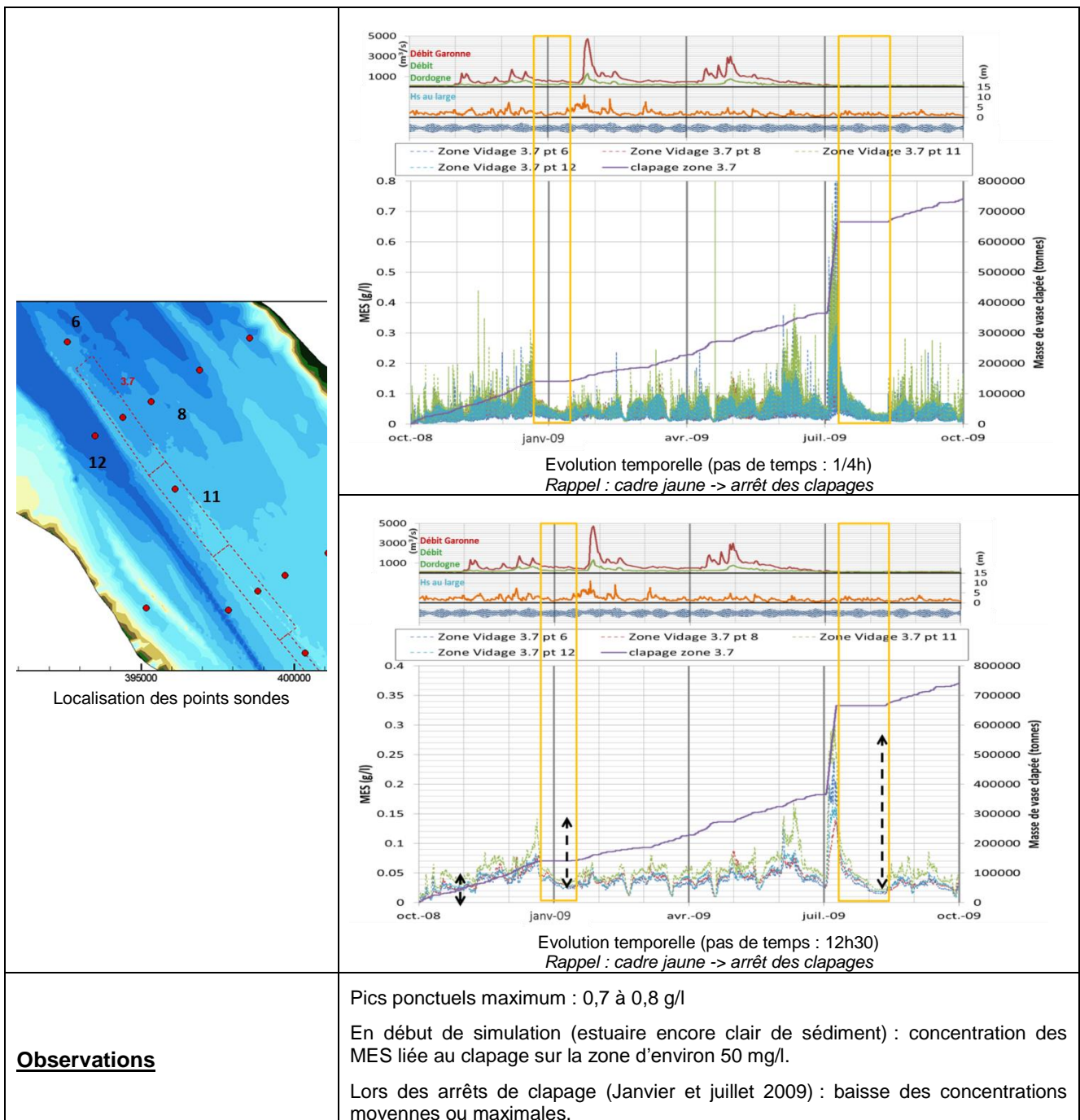
RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

Zone de vidage 3.4

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

Zone de vidage 3.7**Bilan pour la technique d'immersion par clapage**

L'analyse de cette technique a porté sur les principales zones de vidage qui sont dispersives. Il existe un lien entre les opérations de vidage et la concentration de MES autour de ces zones.

Dans l'ensemble, les concentrations observées (moyenne sur la verticale) restent faibles (inférieures généralement à 0,1 g/l), soit inférieures aux concentrations de surface (réseau MAGEST). Elles sont plus importantes au droit des zones, ainsi qu'en amont et aval des zones de vidage (soit dans les veines de courant comme déjà observé précédemment). Cette intensité s'explique également par la configuration des sites qui permet, dans cette partie de l'estuaire

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

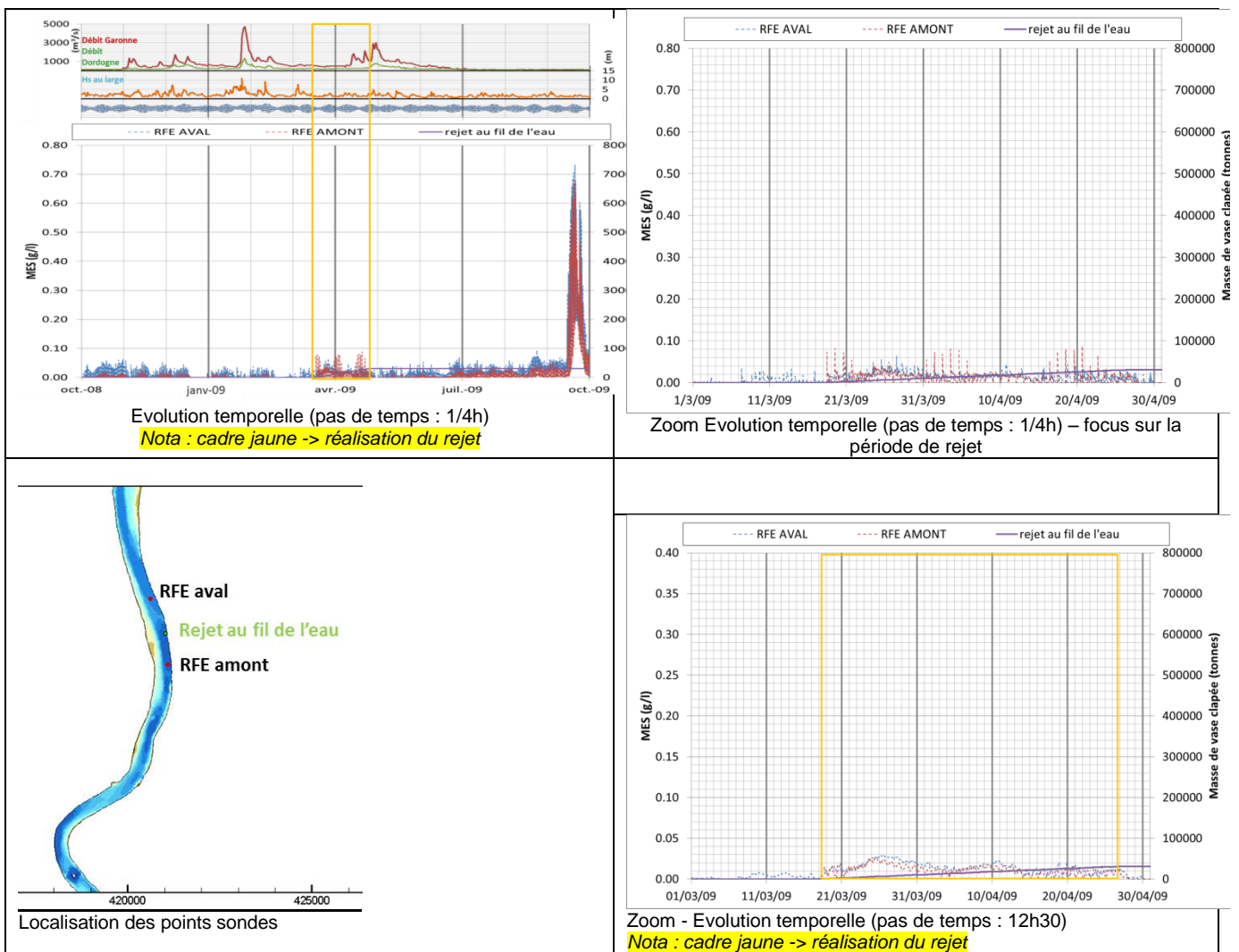
RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

(zones 1 à 4), une dilution importante des MES. Néanmoins même les maximums temporaires de concentrations en MES liées aux rejets restent inférieures aux concentrations de surface en présence du bouchon vaseux.

Nota : les données de mesures MES sont trop ponctuelles (cf. paragraphe 4.2.1) pour permettre de comparer précisément les gammes de concentration ambiantes au moment des clapages.

4.2.4.2. Rejet au fil de l'eau (RFE)

Le rejet au fil de l'eau a été réalisé du 18 mars au 26 avril 2009 dans la partie amont de l'estuaire (Garonne). La masse rejetée (vases) sur cette période est d'environ 30 000 tonnes.

**Observations**

Pics ponctuels maximum : 0,8 g/l

Impact moyen sur la marée est alors estimé à 30 mg/l.

Les concentrations observées restent relativement faibles, d'autant que l'expérimentation a porté sur une zone resserrée de l'estuaire. Cependant, ces résultats doivent être mis en perspective avec les masses également très faibles (environ 110 t - 30,7 kg/s sur une journée de 7h-). Par conséquent, il est délicat de tirer des conclusions sur les conséquences de cette technique en terme de MES.

Nota : Le pic observé à la fin de la simulation (septembre) est à mettre en relation avec les expérimentations de dragage à injection qui ont lieu à cette période sur le secteur de Bellerive et Bec aval

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

4.2.4.3. Dragage par Injection d'eau (DIE)**4.2.4.3.1. Rappel**

Des opérations de dragage par injection d'eau ont été réalisées au niveau des zones de Bellerive et Bec aval (distance entre ces deux expérimentations : < 5 km) (cf. paragraphe 2.3.3). Elles ont concerné environ 270 000t.

Le dragage par injection d'eau a été effectué, sur Bellerive, entre le 14 et 25 septembre 2009. Dans le même temps, l'expérimentation sur Bec Aval a été effectuée pendant la journée du 22 septembre.

Il est donc difficile de déterminer l'augmentation liée à l'opération spécifique de Bec aval car :

- L'expérimentation a été réalisée au milieu de celle de Bellerive. Par conséquent, l'impact en MES est noyé dans celui du secteur Bellerive.
- Les volumes considérés sont nettement plus important pour Bellerive.

Par conséquent, seule l'analyse du rejet de Bellerive a pu être réalisée.

Le caractère particulier de dragage par injection d'eau, qui permet de remobiliser du sédiment sur la partie basse de l'écoulement et de le déplacer principalement par effet de densité, mérite que l'analyse des concentrations de MES soit effectuée aussi au fond et en surface, car la concentration moyenne sur la verticale donne un effet trompeur, puisque la majeure partie se trouve sur les premiers mètres au fond.

Nous avons vérifié la modélisation de cette pratique par rapport à des mesures effectuées lors de l'expérimentation de DIE de septembre 2009 dans l'estuaire de la Gironde.

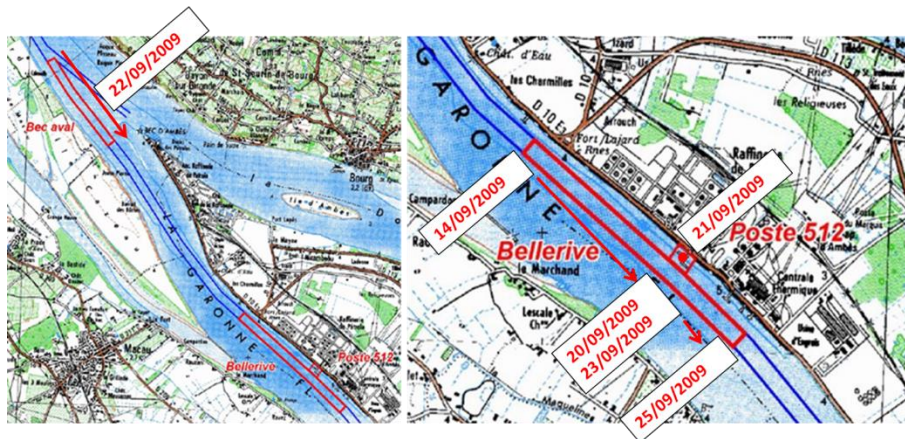


Figure 62 : déplacement temporel du point de rejet modélisé pour simuler les activités de Jetsed

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

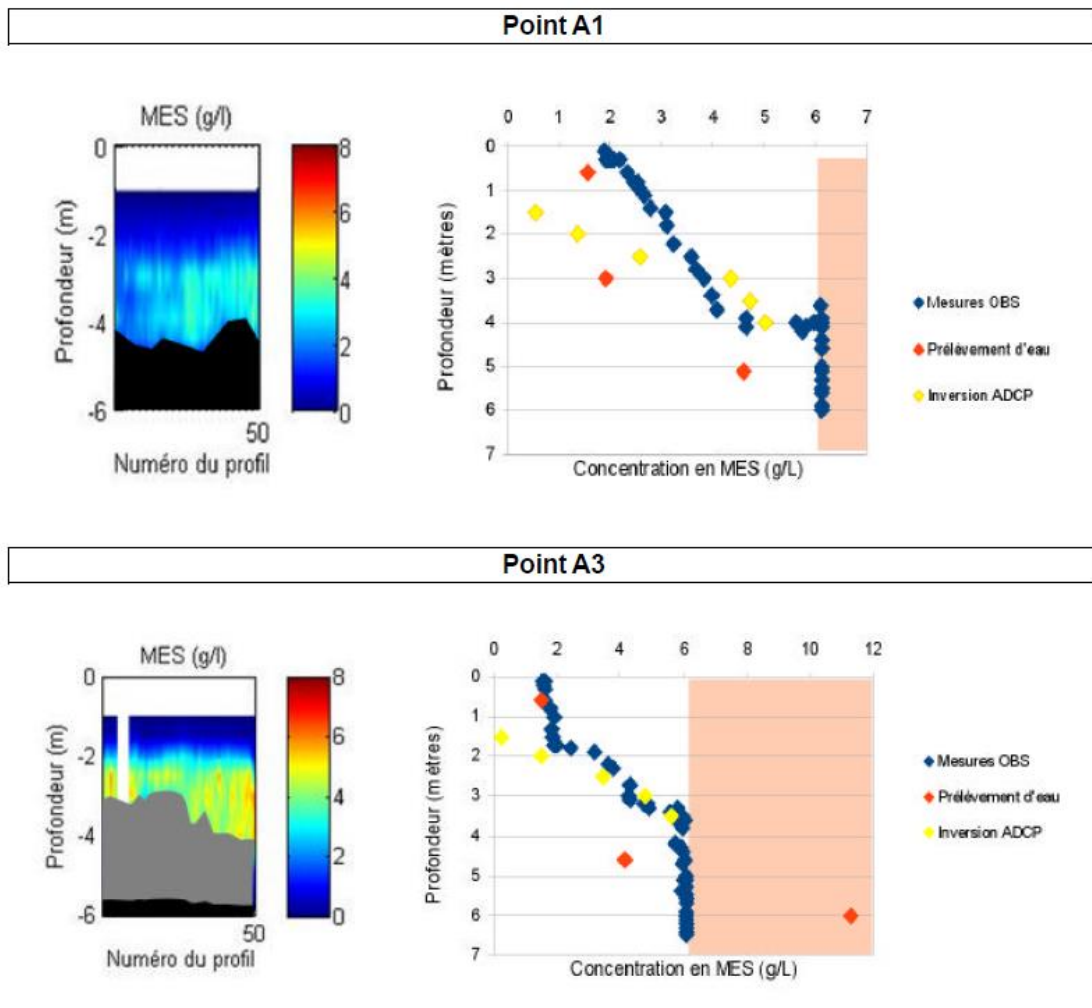


Figure 63 : étude d'incidence de la technique de remobilisation des sédiments par injection d'eau - essai 2009 : Mesures du courant et de la turbidité par les techniques OBS et ADCP

Les profils verticaux de MES donnent des concentrations maximales d'environ 6g/l sur une couche d'environ 2 à 3 mètre sur le fond puis on obtient une décroissance rapide de la concentration jusqu'à la surface.

Nous avons extrait des profils verticaux au niveau d'une simulation de dragage par injection d'eau et 200 m à l'aval. On voit que les ordres de grandeurs mesures sont assez similaires. Les concentrations au fond sont de l'ordre de 6g/l sur une couche d'environ 1 à 2m. Les concentrations chutent fortement au-dessus de cette couche vers de faibles valeurs à la surface (pas de milieu ambiant dans le cas de la modélisation). On notera que quelques heures après l'arrêt des dragages, l'impact n'est quasiment plus perceptible comme ce qui est indiqué dans le rapport : « ETUDE D'INCIDENCE DE LA TECHNIQUE DE REMOBILISATION DES SEDIMENTS PAR INJECTION D'EAU - ESSAI 2009 : Mesures du courant et de la turbidité par les techniques OBS et ADCP ».

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

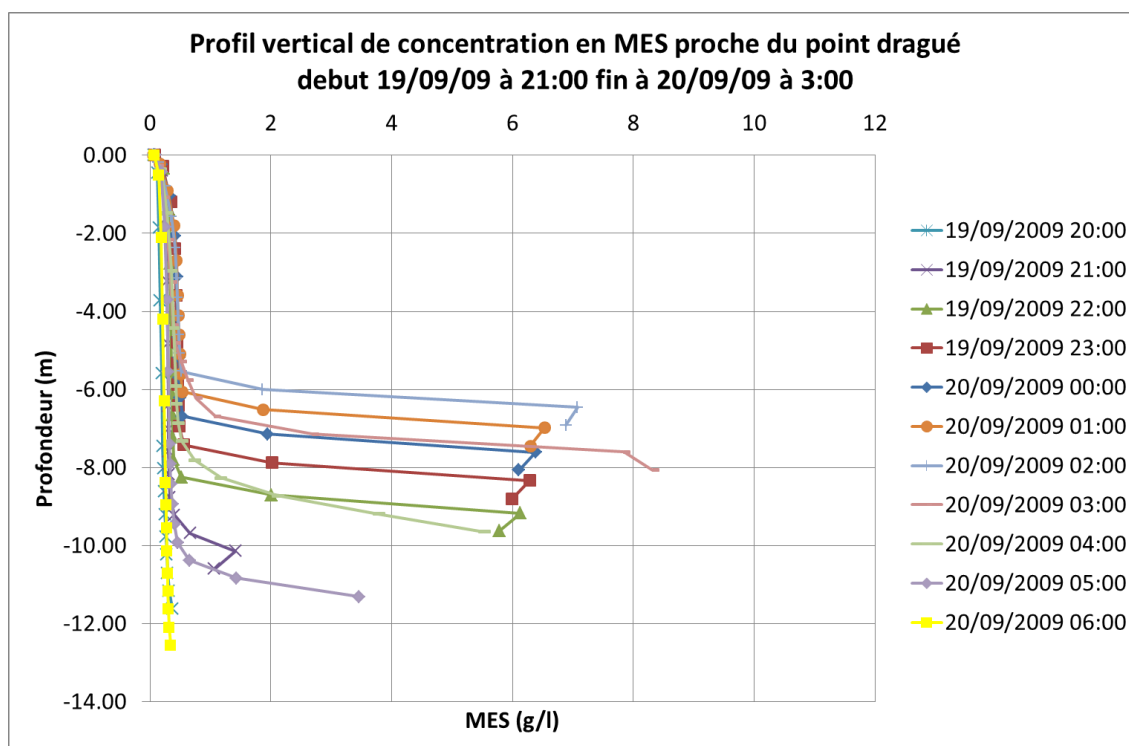


Figure 64 : profils verticaux calculés dans le modèle aux abords d'un point dragué par DIE

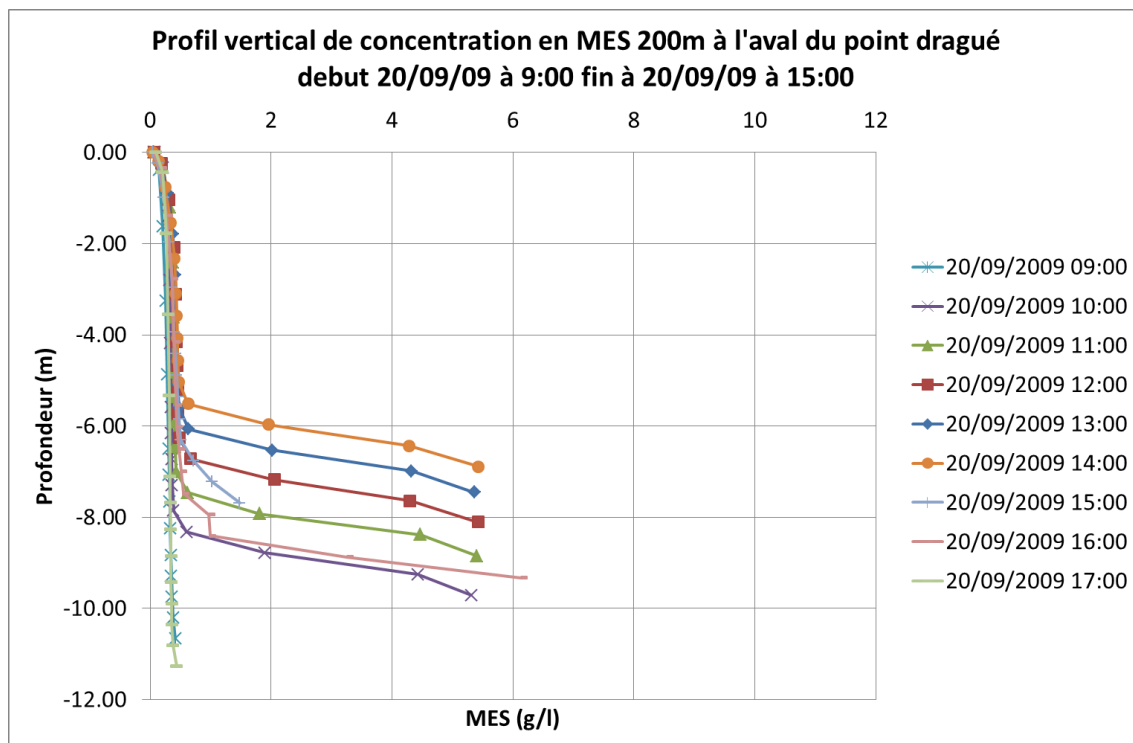


Figure 65 : profils verticaux calculés dans le modèle à 200m à l'aval d'un point dragué par DIE

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

4.2.4.3.2. Analyse des résultats

L'impact moyen sur la marée a été estimé à 0,7 g/l au fond et 0,1 g/l en surface (0,3 g/l en moyenne sur la verticale). Cet impact assez marqué s'explique par le fait que :

- Le dragage par injection est une remobilisation du sédiment en continu sur plusieurs heures, en période de jusant ;
- Le sédiment reste dans la partie basse de l'écoulement et il est concentré dans le chenal de navigation
- Le dragage par injection a été effectué sur une période d'étiage, dans une zone où le sédiment en suspension a tendance à s'accumuler pour ce type de débit (ce qui est en accord avec le besoin de draguer en cette période). On voit d'ailleurs que sur les 3 derniers mois, la MES augmente sur ces points alors qu'il n'y a pas de dragage par injection d'eau. Cette dynamique estuarienne en période d'étiage ne favorise donc pas la dispersion du sédiment.

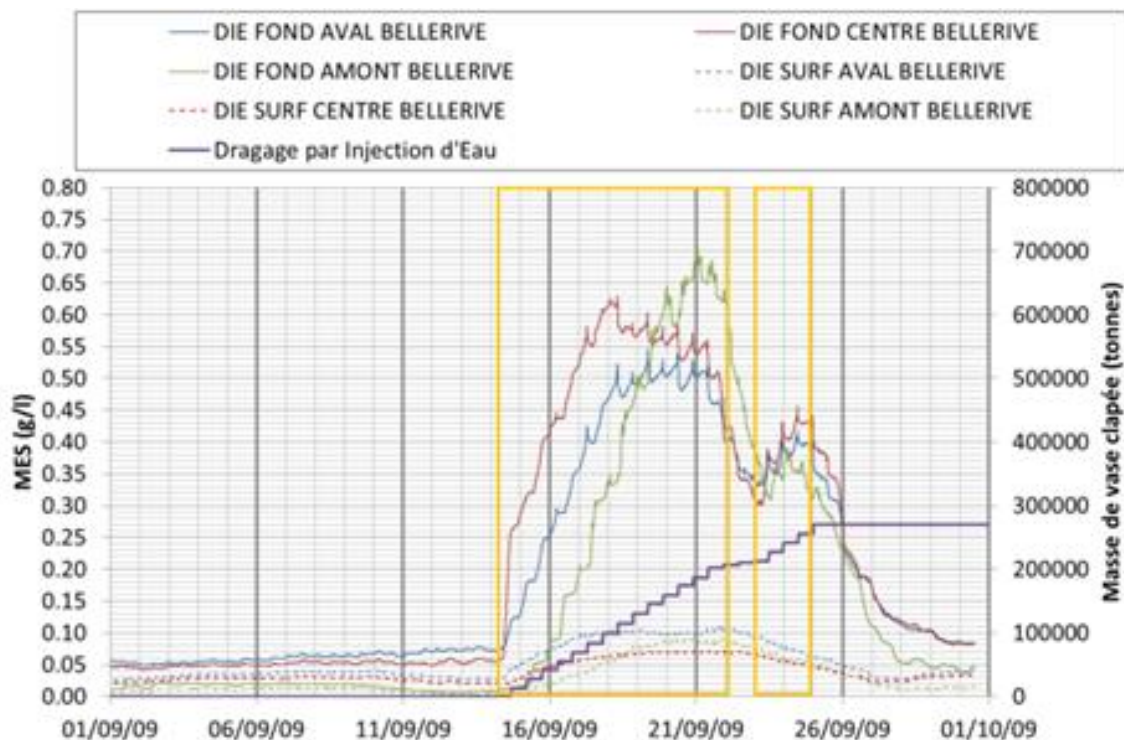


Figure 66 : Concentration en MES au fond et en surface lors de l'expérimentation DIE de Bellerive

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

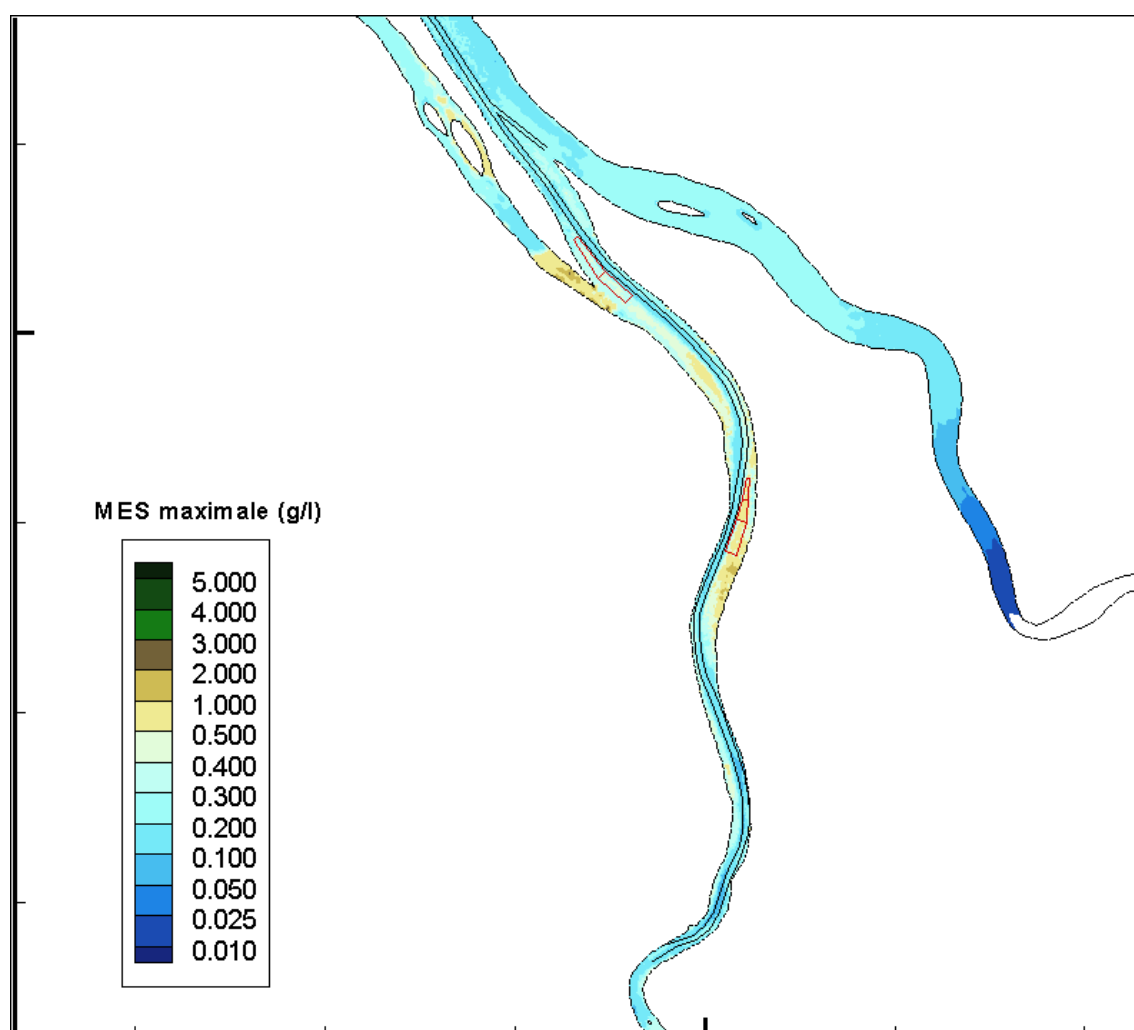
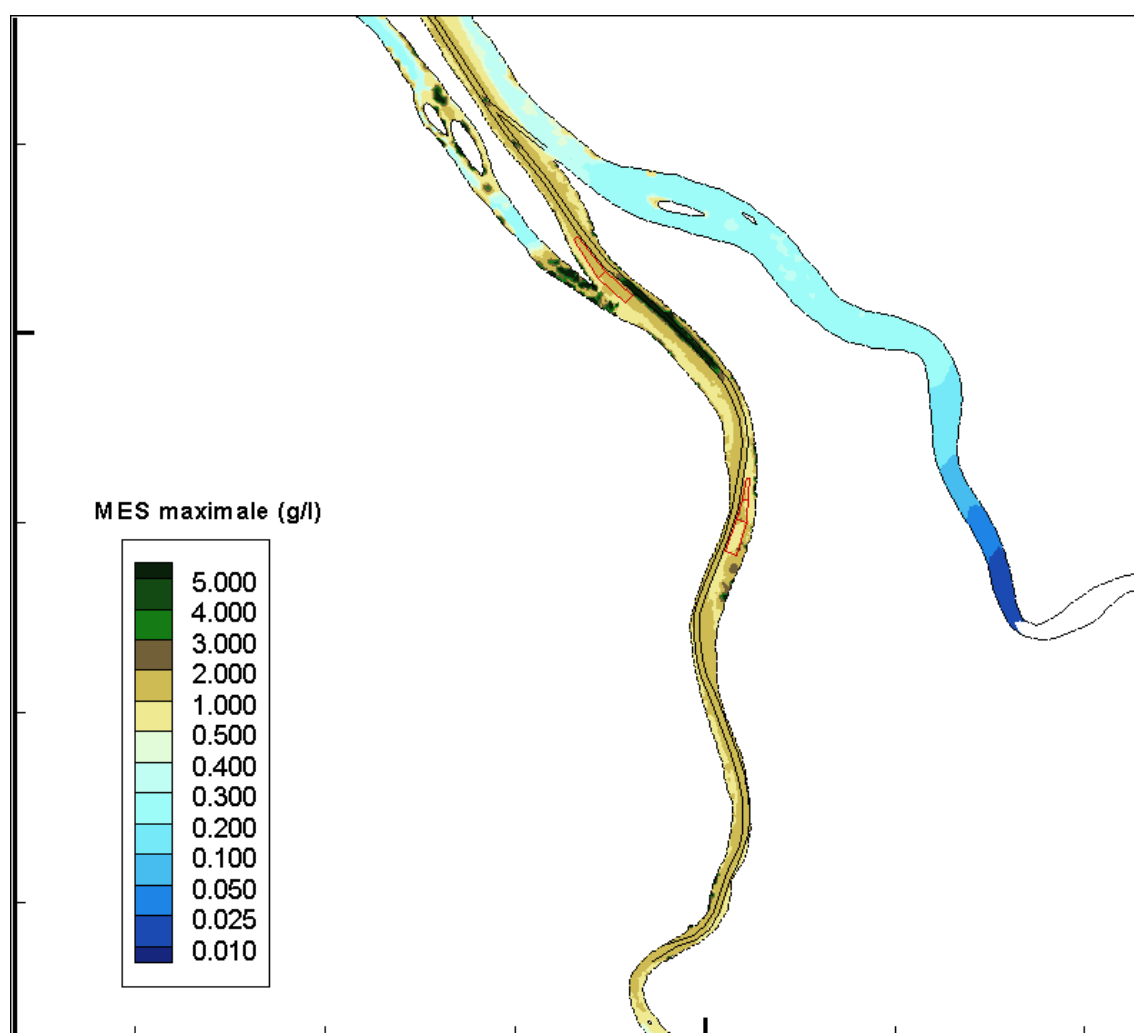


Figure 67 : Maximum de concentration en MES en surface lors de l'expérimentation DIE de Bellerive

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

**Figure 68 : Maximum de concentration en MES au fond lors de l'expérimentation
DIE de Bellerive**

Le DIE a un fort rendement (environ 600 kg/s), soit près de 20 fois celui du rejet au fil de l'eau. Très peu de sédiments reviennent dans les passes draguées. Par conséquent, sur la base de cette expérimentation, d'un point de vue technique (hors considération des MES), le DIE semble très efficace.

Remarque : les expérimentations de dragage par injection d'eau ont été effectuées en Garonne, donc dans une zone resserrée ce qui favorise la concentration des sédiments ; il n'est pas certain que le résultat ait été le même plus en aval dans l'estuaire.

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

4.2.5. Quelles sont les zones impactées par les MES ?

Certains enjeux ou usages dans l'estuaire sont sensibles à la qualité de l'eau, et plus précisément à la turbidité de l'eau :

- Enjeux écologiques (ressource halieutique, oxygène dissous) : les sondes considérées sont celles décrites précédemment pour les dépôts. Il s'agit de zones de nurseries à enjeux pour la ressource halieutique.
- Usages : l'analyse a été réalisée au niveau de la plage de la Grande Conche et à proximité des marais Nord-Médoc (enjeu MES et contamination associée par rapport à l'aquaculture).

L'évolution temporelle des MES a été extraite pour 5 sites localisés ci-après :

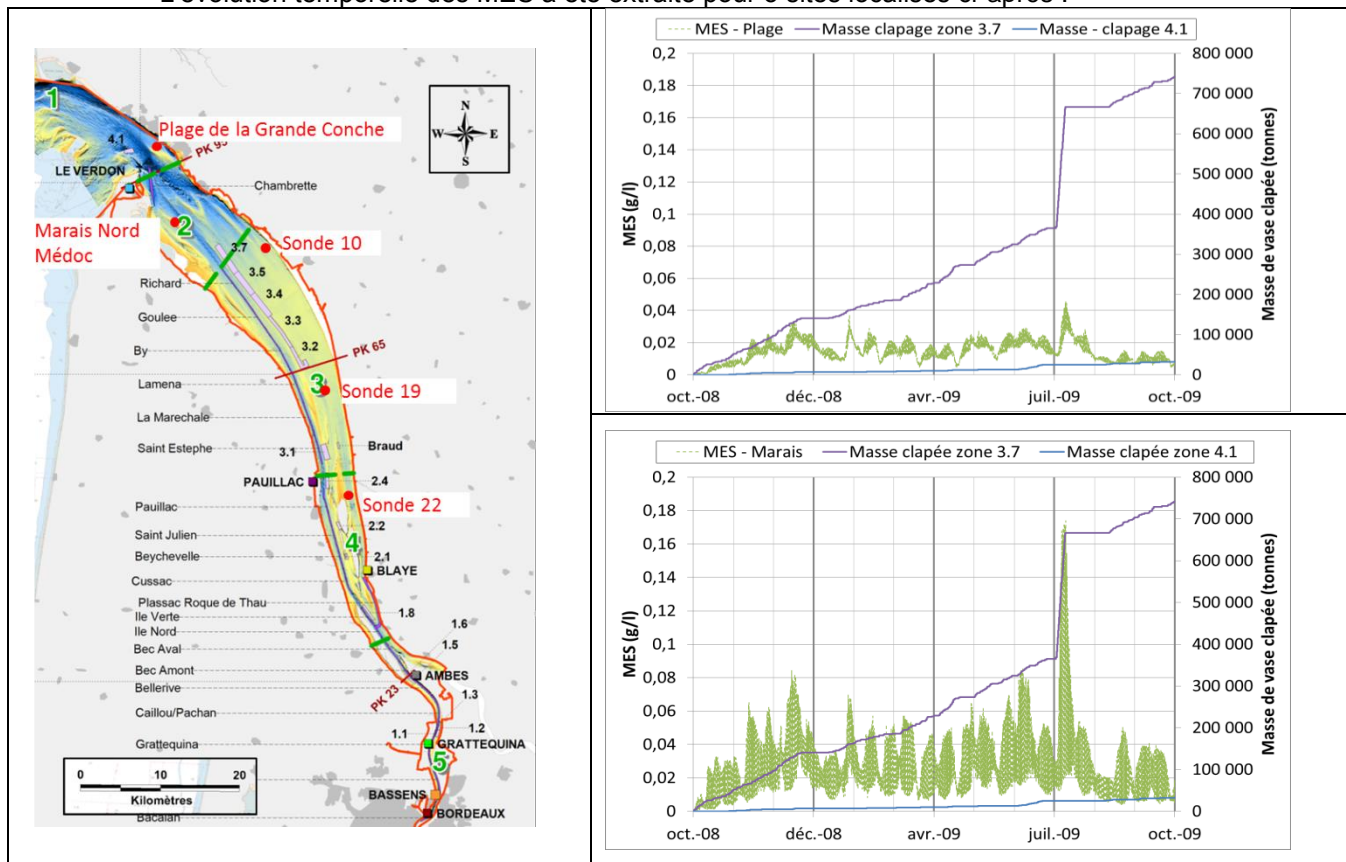
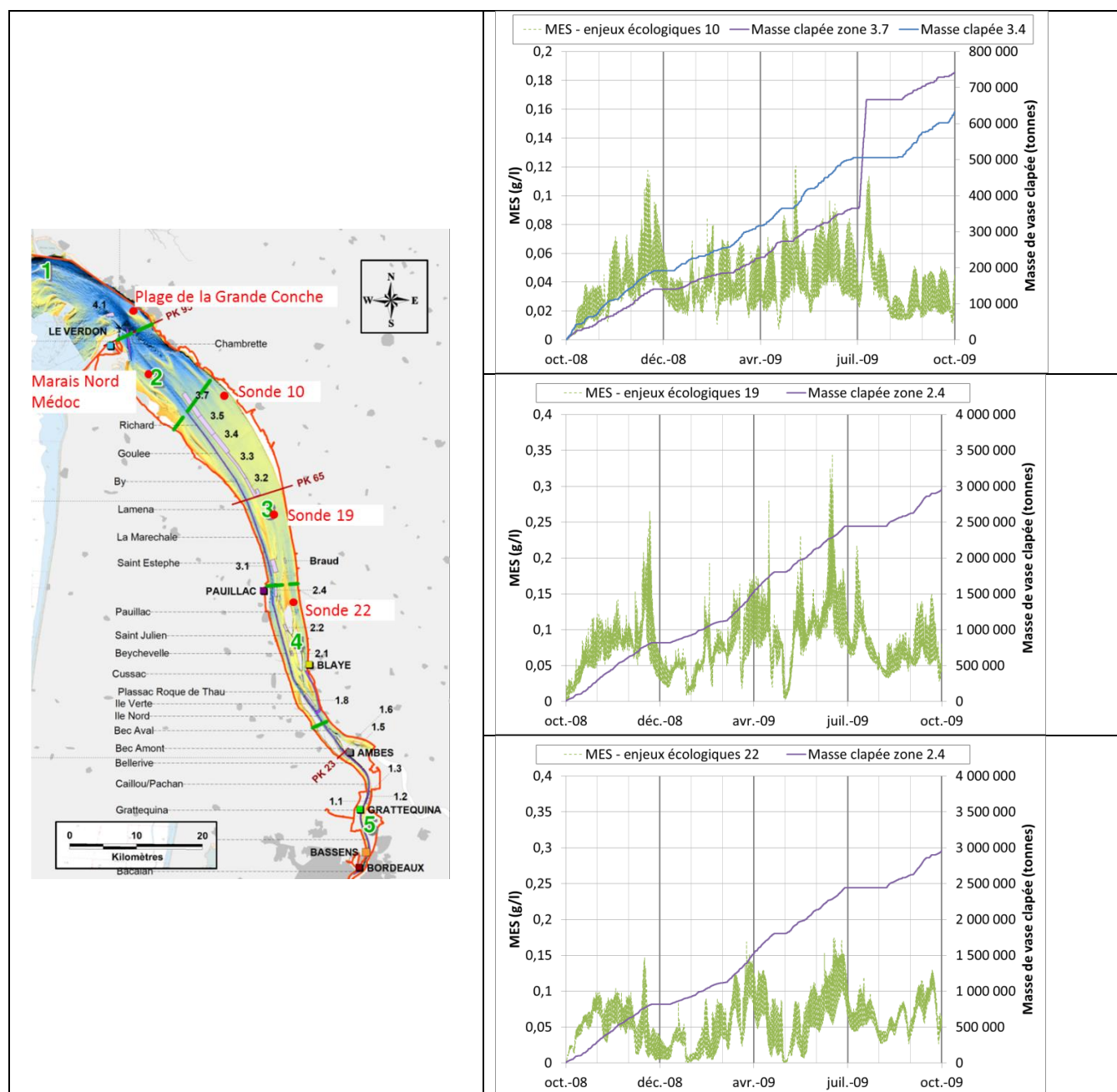


Figure 69 : Evolution temporelle des MES pour les usages – sites Plage de la Grande Conche et Marais Nord Medoc

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

**Figure 70 : Evolution temporelle des MES – sites enjeux écologiques**

D'une manière générale, les concentrations en MES liées aux rejets sont très faibles.

Tableau 15 – Concentration observée sur plusieurs sites

Site	Concentration en MES	
	Moyenne annuelle	Max
Plage de la Grande Conche	0.014 g/l	0.046 g/l
Marais Nord médoc	0.026 g/l	0.174 g/l
Sonde 10	0.037 g/l	0.121 g/l
Sonde 19	0.08 g/l	0.343 g/l
Sonde 22	0.059 g/l	0.174 g/l

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

Quels que soient les 5 sites analysés, il existe une corrélation directe entre les clapages effectués à proximité et les concentrations maximales observées sur ces sites. Ainsi, par exemple, pour les marais, le pic maximum est observé à l'issue de la période de clapage de plus de 300 000 t.

De manière schématique, ces concentrations dues aux immersions semblent très faibles au regard des maximums de concentrations qui peuvent être observées dans l'estuaire (avec ou sans présence du bouchon vaseux).

Nota : la sensibilité de la ressource halieutique aux concentrations de MES est très variable en fonction des espèces, de leur âge ou de leur capacité d'adaptation. Par conséquent, il est impossible de déterminer des seuils de sensibilité au MES pour les différentes espèces de l'estuaire et ainsi de préciser l'impact direct des MES rejetées.

5. SYNTHÈSE

Dans le cadre de cette mission, une modélisation des rejets effectués par le GPMB a été réalisée pour l'année hydrologique 2008-2009.

Dynamique générale des sédiments clapés sur une année – répartition des masses

Un bilan des masses clapées sur cette période a été réalisé sur l'ensemble de l'estuaire. Il ressort que la très grande majorité des sédiments (environ 80%) restent dans l'estuaire.

Tableau 16 – Bilan des masses rejetées dans l'estuaire

Sédiments	Dans l'estuaire		Hors estuaire	Rappel : masse totale
	Dépôts	Remise en suspension		
Vases	4,2 à 4,5 M tonnes	0,1 à 0,4 M tonnes (2 à 10%)	1 M tonnes (18%)	5,66 M tonnes
Sables	0,9 M tonnes	Négligeable	0,3 M tonnes (25%)	1,2 M tonnes
Total	5,1 à 5,4 M tonnes	0,1 à 0,4 M tonnes (2 à 8%)	1,3 M tonnes (19%)	6,9 M tonnes

Les sédiments sont essentiellement localisés sur les zones 3 (Richard Pauillac) et 4 (Pauillac-Ambès) (zones principales de clapage, présence du bouchon vaseux naturel).

Il a été également examiné l'influence de différents facteurs :

- Influence de la saisonnalité : un bilan de flux a été réalisé à l'échelle de l'année et des 4 saisons. Il ressort :
 - Période estivale (faible débit) : elle est propice à la conservation des sédiments à l'intérieur de l'estuaire (11% des masses clapées de vases sont expulsées) ;
 - Période hivernale (fort débit) : elle est favorable pour expulser les sédiments au large (27% des vases sont expulsés).
- Influence d'une crue : l'analyse a porté sur la crue de janv.-fév. 2009. Le flux sortant calculé sur cette période est de 216 000 tonnes. Il correspond à :
 - 72 % du flux sortant calculé sur la période d'hiver (1er janvier au 1er avril) ;
 - 77% du flux sortant calculé sur la période d'automne ou de printemps ;
 - 122% du flux sortant calculé sur la période estivale.

Ceci montre l'influence des crues et donc des forts débits dans l'expulsion des sédiments.

- Influence de la marée : les opérations de clapage se font indifféremment au flot et au jusant (sauf pour le DIE). Par conséquent, il est délicat de pouvoir distinguer l'influence du flot et jusant. L'expertise montre que l'influence de la marée est temporaire, non significative à l'échelle de l'année. Les zones de clapage étant dispersives, il n'y a pas de différence importante entre un clapage en morte-eaux ou en vives-eaux.

Analyse des dépôts

A l'échelle de l'estuaire

Les zones de dépôts sont essentiellement localisées au niveau des zones d'immersion, les zones intertidales sur la partie aval de l'estuaire et les zones de calme hydrodynamique (au niveau des îles) :

- Zones intertidales : les dépôts moyens peuvent atteindre très localement 10 cm, mais sont très généralement inférieurs à 5 cm (ce dépôt annuel ne prédit, par contre, pas l'effet cumulatif sur plusieurs années (tassement, agitation locale sur les estrans permettant la

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

reprise etc.). Le maximum de dépôt pendant l'année hydrologique représentée est inférieur à 20 cm. Il s'agit d'un maximum ponctuel dans le temps et l'espace ;

- Zones au niveau des îles ou bras secondaires : les dépôts moyens peuvent atteindre très localement 10 cm, mais sont très généralement inférieurs à 1 cm. Le maximum de dépôt pendant l'année hydrologique représentée est inférieur à 20 cm. Il s'agit d'un maximum ponctuel dans le temps et l'espace.

Focus sur les zones de vidage

L'analyse du comportement des zones de vidage a été réalisée à partir des résultats de ce calcul :

- Contraintes critiques d'érosion générées par les forçages hydrodynamiques (approche hydrodynamique).
- Dépôts observés sur les zones de vidages (approche hydrosédimentaire).

Dans l'ensemble, à l'exception des zones d'immersion 1.1, 1.2, 1.3, 1.8 et 2.4, les zones d'immersion sont très dispersives.

Tableau 17 – Bilan de la stabilité des zones de vidage – vases et sables

Zone de vidage	Dispersion par rapport		Remarque
	Vases	Sables	
4.3, 4.1, 3.7, 3.5, 3.4, 3.3, 3.1, 2.1, 1.6, 1.5	Dispersion forte	Dispersion forte	Conforme à l'expertise hydrosédimentaire et/ou les observations du GPMB
2.4, 1.8	Dispersion modérée	Dispersion modérée	Les résultats du calcul indiquent une dispersion qui semble plus faible que celle constatée par l'expertise hydrosédimentaire (différentiel bathymétrique)
1.3, 1.1	Dispersion modérée	Dispersion forte	En adéquation avec les observations du GPMB : engraissement de ces zones.

Nota : Les quantités de vases clapées qui se déposent dans les passes (chenal) sont minimales ; sur l'ensemble des passes, cela représente moins de 2% de la quantité totale de vase clapée.

Analyse des Matières En Suspension liées aux rejets (moyenne sur la verticale)

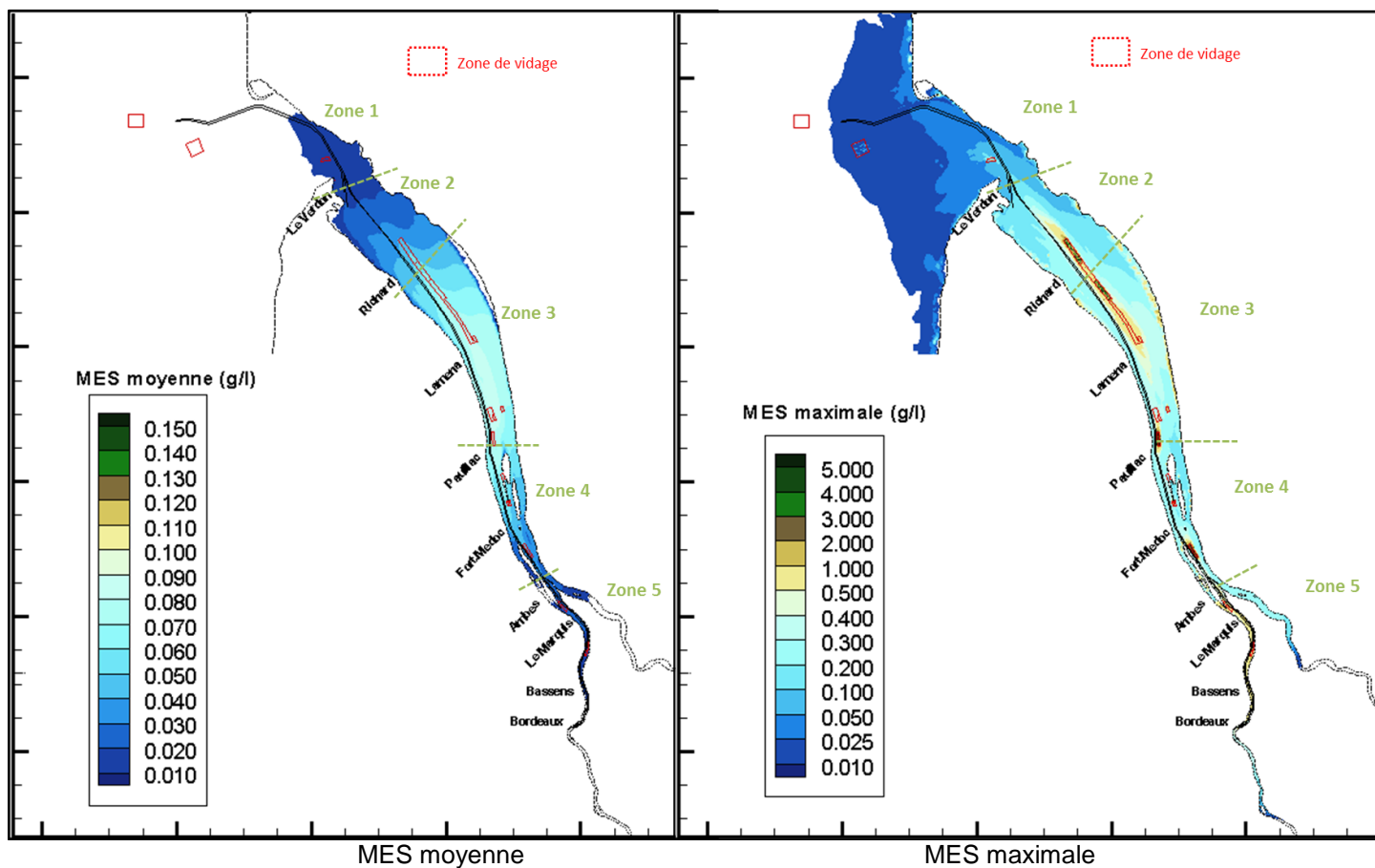
Les concentrations moyennes en MES dans l'estuaire sont logiquement observées à proximité des zones de clapage. Les MES dues aux clapages sont ensuite dispersées par les courants.

- Concentrations moyenne en MES : elles sont plus importantes entre Lamena et Pauillac (environ 0,085 g/l) et plus faibles dans les parties aval et amont de l'estuaire (cohérence avec la localisation du bouchon vaseux) ;
- Concentrations MES « maximums » : elles sont observées au niveau des zones d'immersion les plus utilisées (masses clapées les plus importantes : 3.7, 3.4, 2.4 et 1.8) et sur la zone amont de l'estuaire.

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète



Attention les échelles de MES ne sont pas les mêmes pour les cartes de MES moyennes et les cartes de MES maximales.

Figure 71 : Cartes de MES moyenne et maximale en vase –vue générale

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

RÉFÉRENCES

- [Ref.1]: Lan Anh VAN, Catherine VILLARET, Damien PHAM VAN BANG, Holger SCHUETTRUMPF, Erosion and deposition of the Gironde mud, ICSE6 Paris - August 27-31, 2012
- [Ref.2]: Boutin, R. (1993). Etude et caractérisation des processus de dépôt, tassement et consolidation d'une vase de Gironde. D.E.A Report, Ecoles Nationale des Travaux Maritimes, 104 p.
- [Ref.3]: Migniot, C., Bellessort, B., (1970). - Etude des propriétés physiques de la vase de la Gironde - Tassement et rigidité initiale - Laboratoire Central d'Hydraulique de France – 1970
- [Ref.4]: Gratiot N., Michallet H, Mory M. (2005) On the determination of the settling flux of cohesive sediments in a turbulent fluid. Journal of Geophysical Research, Vol. 110, C06004
- [Ref.5]: Sottolichio A., Hurther D., Gratiot N., Bretel P. (2011) Acoustic turbulence measurements of near-bed suspended sediment dynamic in highly turbid waters of a macrotidal estuary. Continental Shelf Research 31S36-S49
- [Ref.6]: Lan Anh VAN, Thèse : Modélisation du transport des sédiments mixtes sable-vase et application à la morphodynamique de l'estuaire de la Gironde, Laboratoire d'Hydraulique Saint – Venant, Université Paris-Est, 2013
- [Ref.7]: Manning, A.J. et K.R. Dyer, 2007. Mass settling flux of fine sediments in northern european estuaries: measurements and predictions. Marine Geology, 245, 107-122
- [Ref.8]: Verney, R., 2006. Processus de contrôle de la dynamique des sédiments cohésifs. Thèse de doctorat de l'Université de Rouen, soutenue en avril 2006
- [Ref.9]: Verney, R., R ; Lafite, J.C. Brun-Cottan et P. Le Hir, 2011. Behaviour of a floc population during a tidal cycle : laboratory experiments and numerical modelling. Continental Shelf Research, 31 (10), supplement 1, S64-S83
- [Ref.10]: Van Rijn, L. C, 2007. Unified View of Sediment Transport by Currents and Waves. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE
 Part I: Initiation of Motion, Bed Roughness, and Bed-Load Transport, 133(6), 649-667
 Part II: suspended Transport, 133(6), 668-689
 Part III: Graded beds, 133(7), 761-775
 Part IV: application of Morphodynamic Model, 133(7), 776-793
- [Ref.11] Migniot, Synthèse des connaissances sur le tassement et la Rhéologie des vases, LCHF, 1987
- [Ref.12] A.Ferral, M.Villerot, Caractéristiques des vases et de la crème de vase du système fluvio-estuarien de la Gironde, Port Autonome de Bordeaux, 1984 ;
- [Ref.13] J.Viguié, P.Galichon, Vases Gironde, Seuils de navigabilité, LCHF pour le PAB, 1987 ;

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

-
- [Ref.14] Galissaire, De Crouette, Hamm, G8M mast2 Project4 topic B/C, Flume measurements of mud processes under steady and unsteady currents, 52184 R3, SOGREAH, 1994.
 - [Ref.15] Migniot C., Erosion et sédimentation en mer et rivière, La pratique des sols et des fondations, éditions le moniteur 1981, 103p.
 - [Ref.16] Ariathurai, K.Arulanandan, Erosion rate of cohesive soils, J. Hydraul. Div., ASCE, 104, HY2, 279-283,1978
 - [Ref. 17] Bonnefille, R., Cormault, P., Kovacs, J. (1971). - Etude expérimentale de la dynamique des sédiments fins.Rapport no. 2 (Rapport HCO42/25 de LNH, EDF).
 - [Ref. 18] Harrison and Owen, 1971, Siltation of fine sediments in estuaries, IAHR XIVCongress.
 - [Ref. 19] Cormault, P. (1971). - Determination experiment du debit solide d'érosion des sediments fins cohésifs. IAHR XIV Congress.
 - [Ref. 20] Sanchez M., Grimigni P et Delanoe Y., 2004. Distribution des sédiments cohésifs en relation avec la vitesse de la phase solide dans l'estuaire de la Loire. , VIII journées Nationales Génie Civil-Génie Côtier, Compiègne 7 et 9 septembre 2004
 - [Ref.21] : Port Autonome de Bordeaux, 2004. Demande d'autorisation pour l'entretien du chenal et des ouvrages portuaires - Etude d'impact, Troisième partie
 - [Ref.22] :Artelia, 2015. Clapages expérimentaux sur le site de Machu. Développement d'un modèle 3D de stabilité et d'un modèle 3D de dispersion pour le GPMR.
 - [Ref.23] : Ginger, 2010. Suivi de l'incidence de la technique de remobilisation des sédiments par injection d'eau - essai 2009. Rapport GEI 8346-002, Février 2010.
 - [Ref.24] : Geo-Transfert, 2010. Etude d'incidence de la technique de remobilisation des sédiments par injection d'eau - essai 2009. Mesures du courant et de la turbidité par les techniques OBS et ADCP. Février 2010.

oOo

Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde

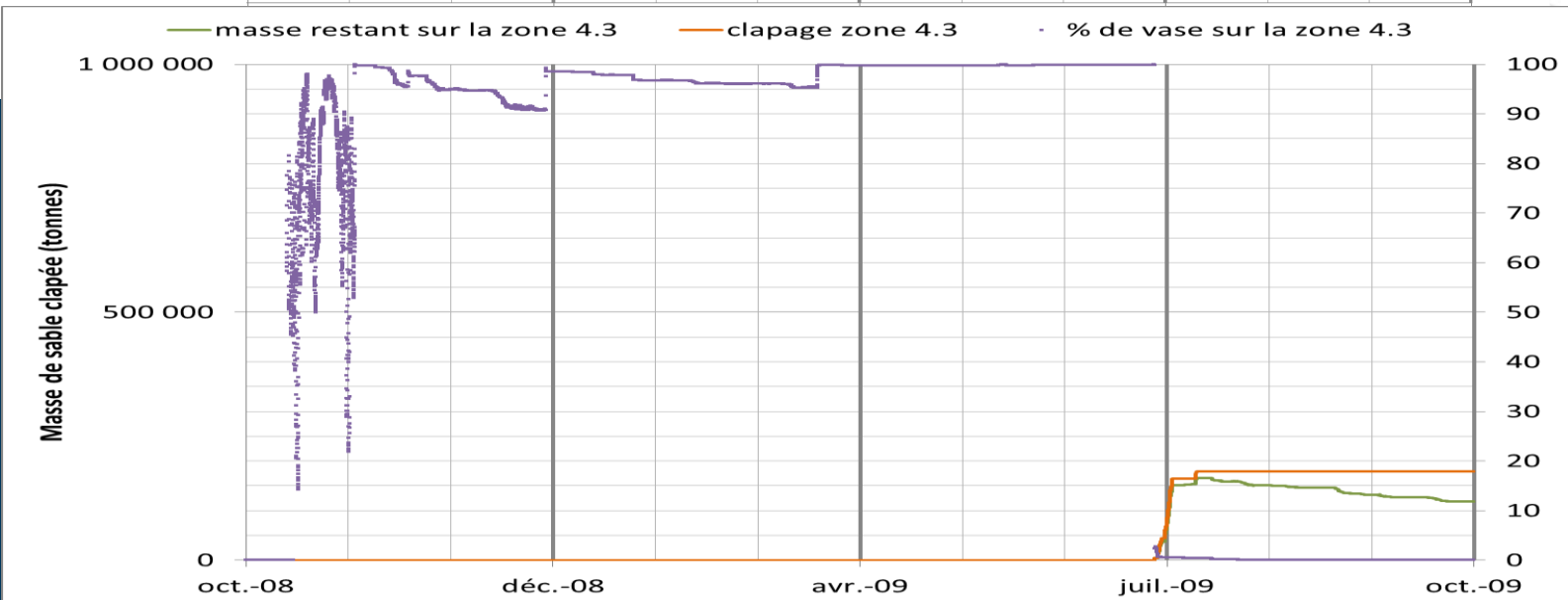
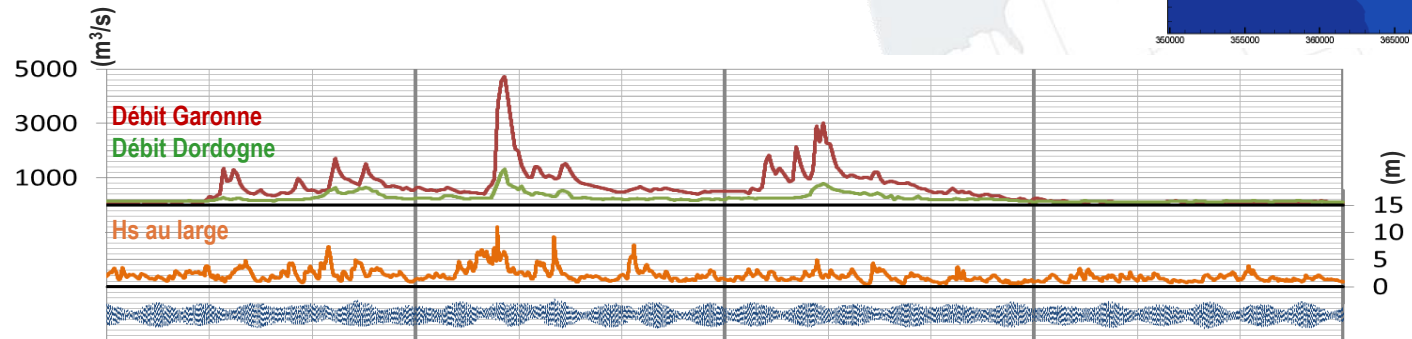
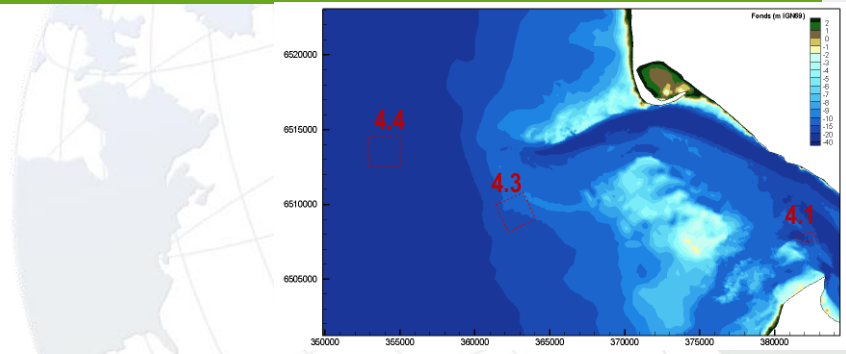
Etape 2 : Diagnostic opérationnel – définition des enjeux et des besoins

RM1-E2-4 : Exploitation du modèle : résultats du calcul hydrosédimentaire des opérations de clapage et remise en suspension sur une année réelle complète

ANNEXE 1

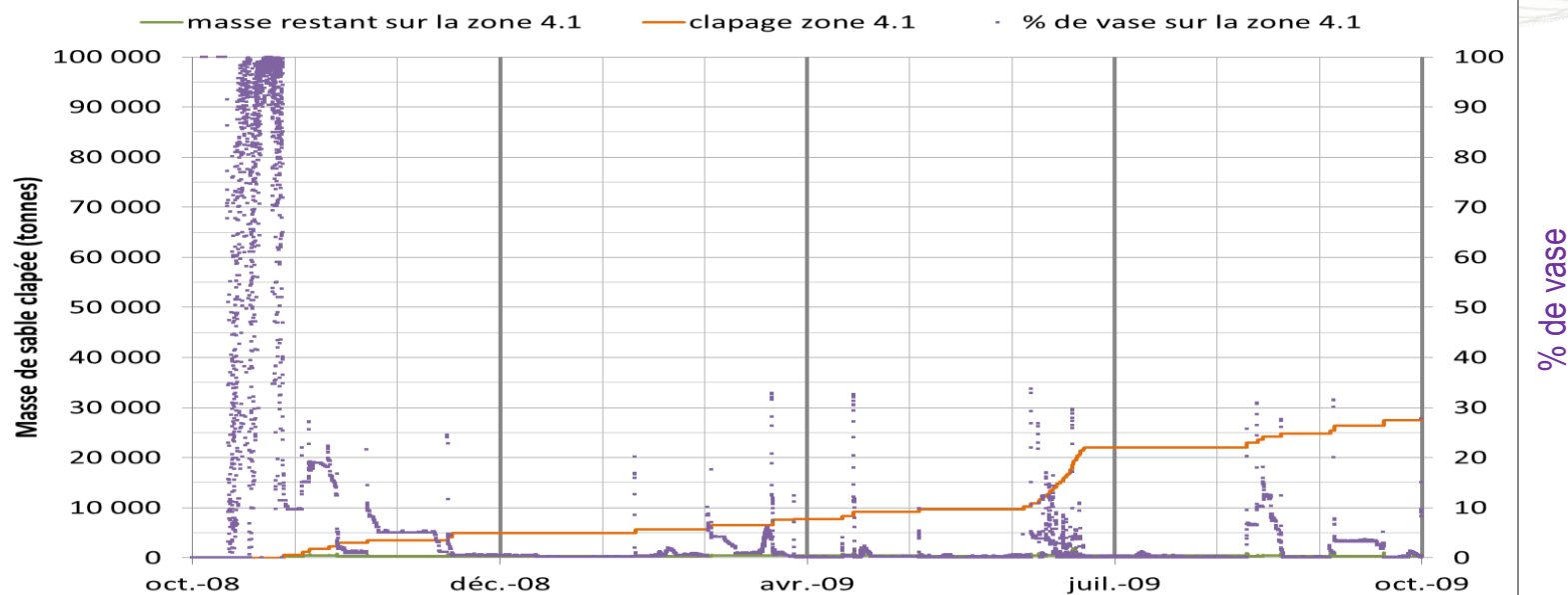
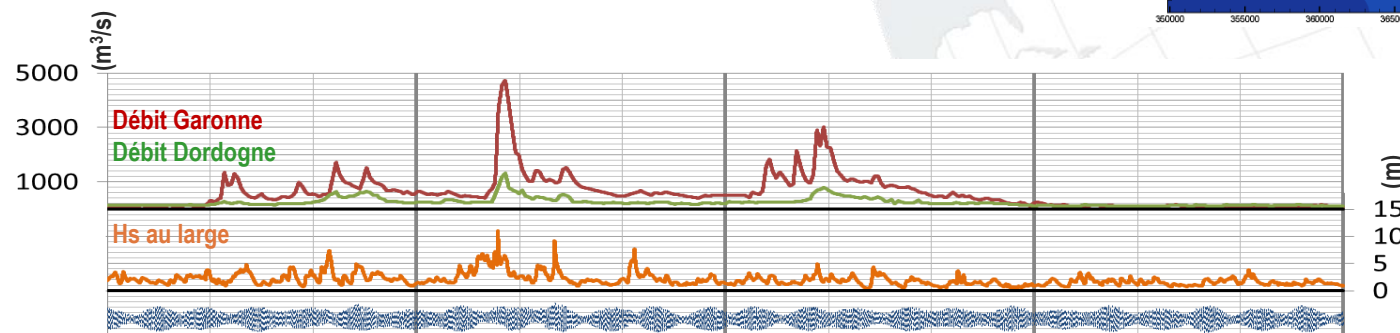
FIGURES HORS TEXTE

Fraction sableuse
Stabilité de la zone 4.3



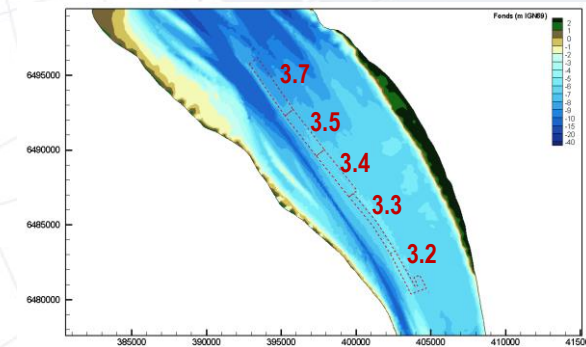
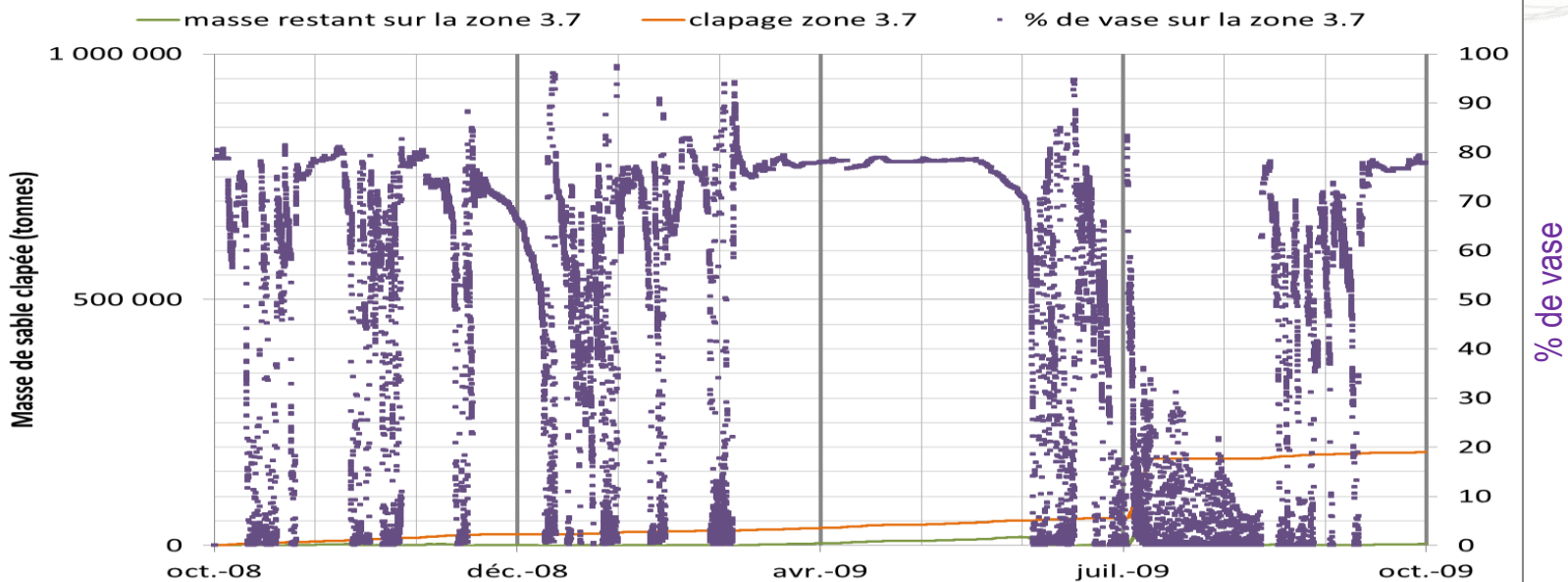
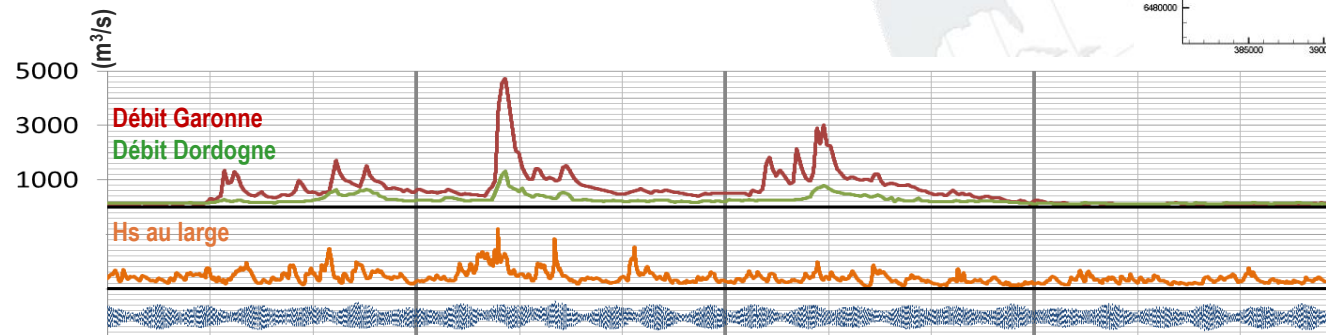
Fraction sableuse

Stabilité de la zone 4.1



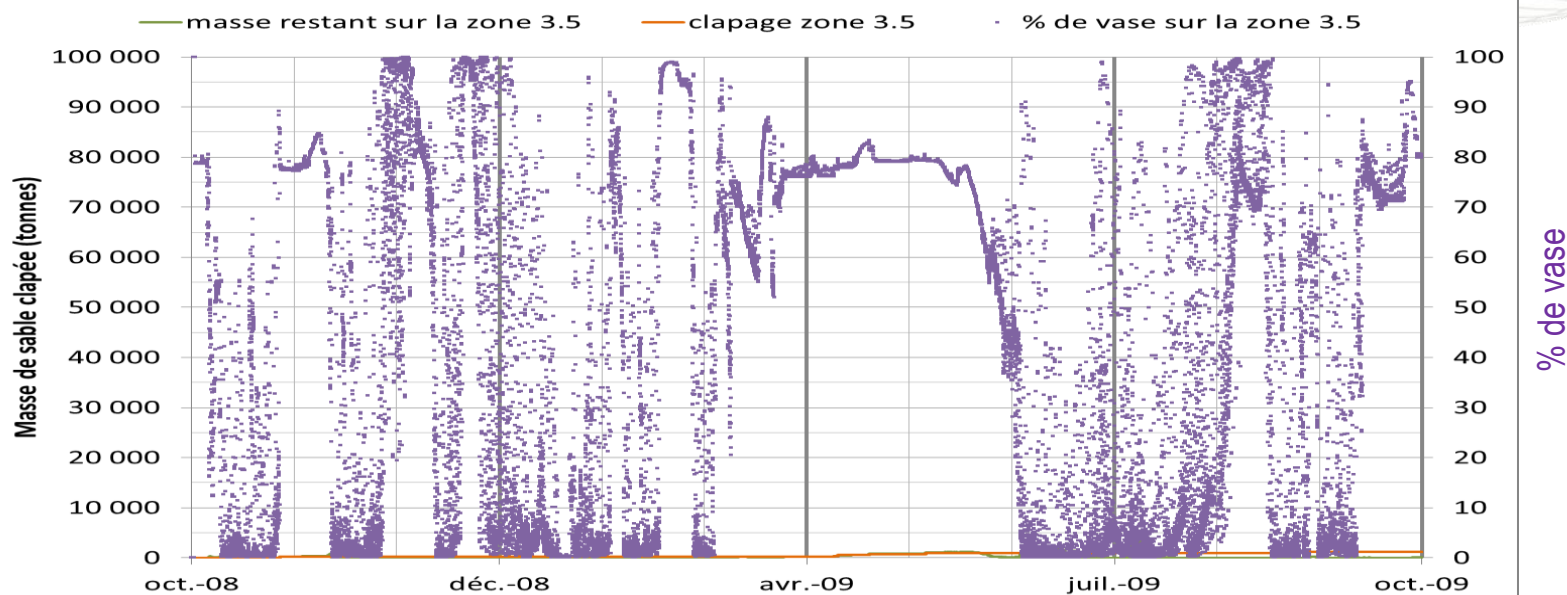
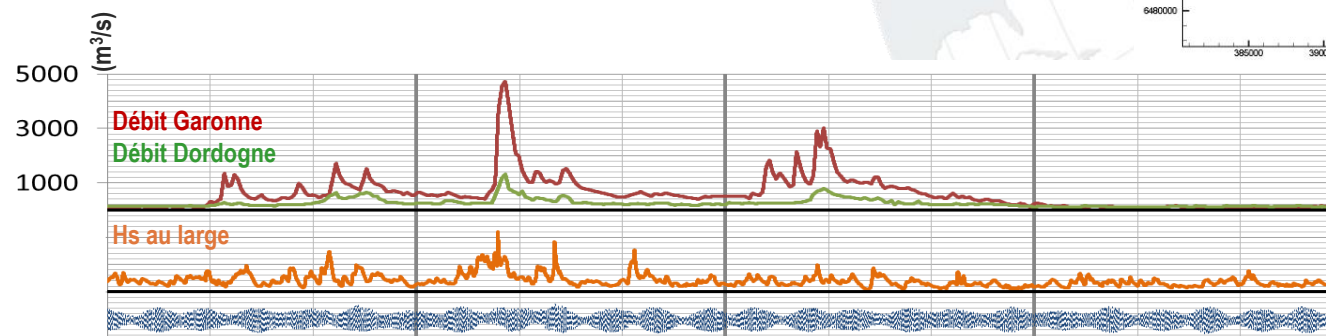
Fraction sableuse

Stabilité de la zone 3.7



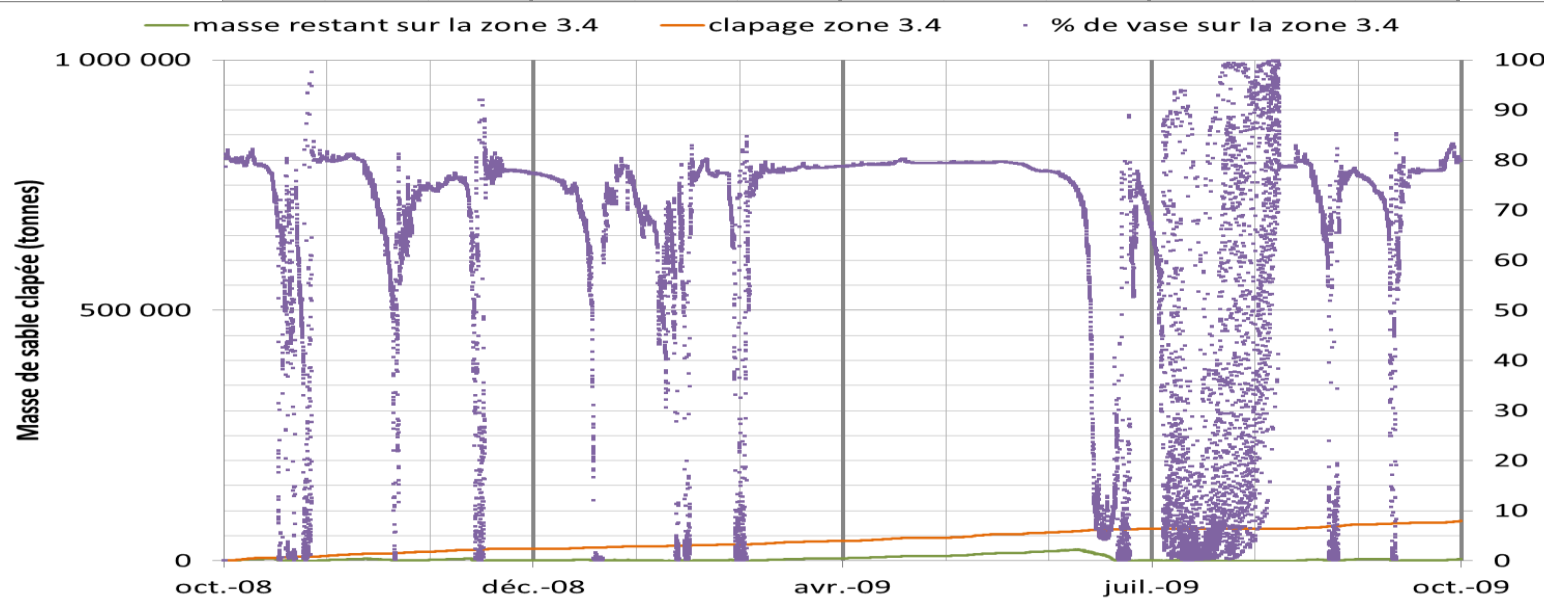
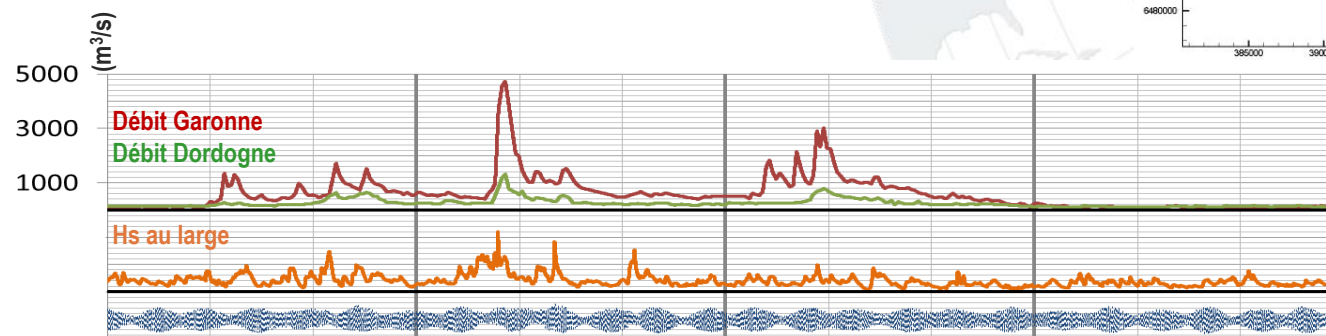
Fraction sableuse

Stabilité de la zone 3.5



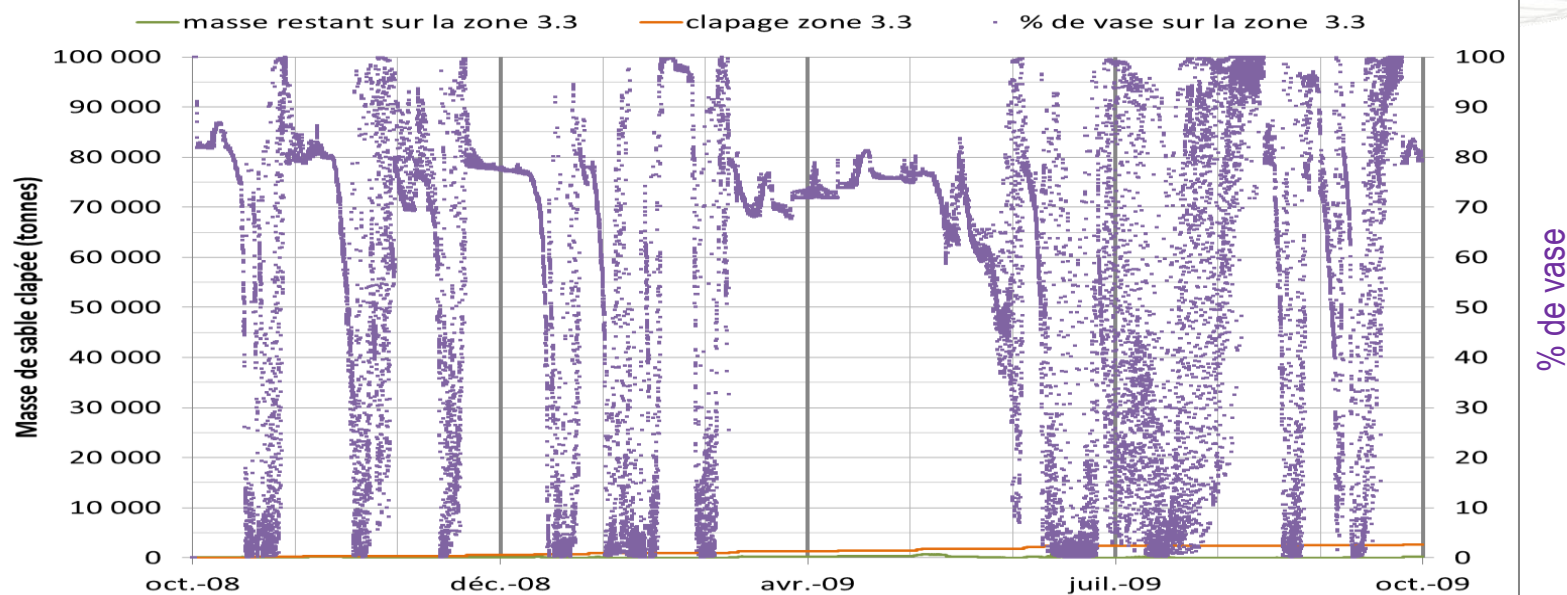
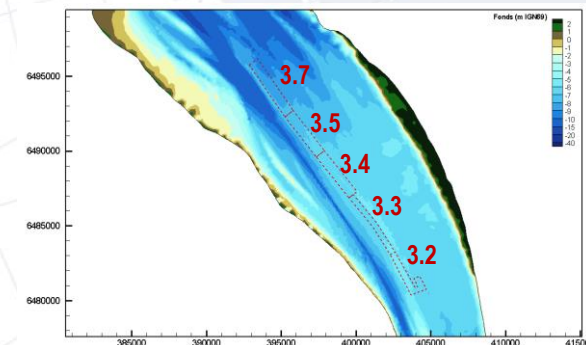
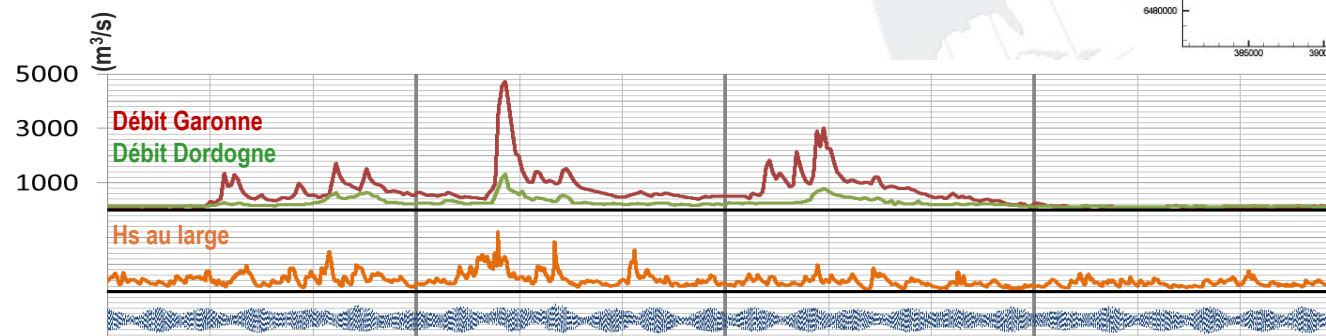
Fraction sableuse

Stabilité de la zone 3.4



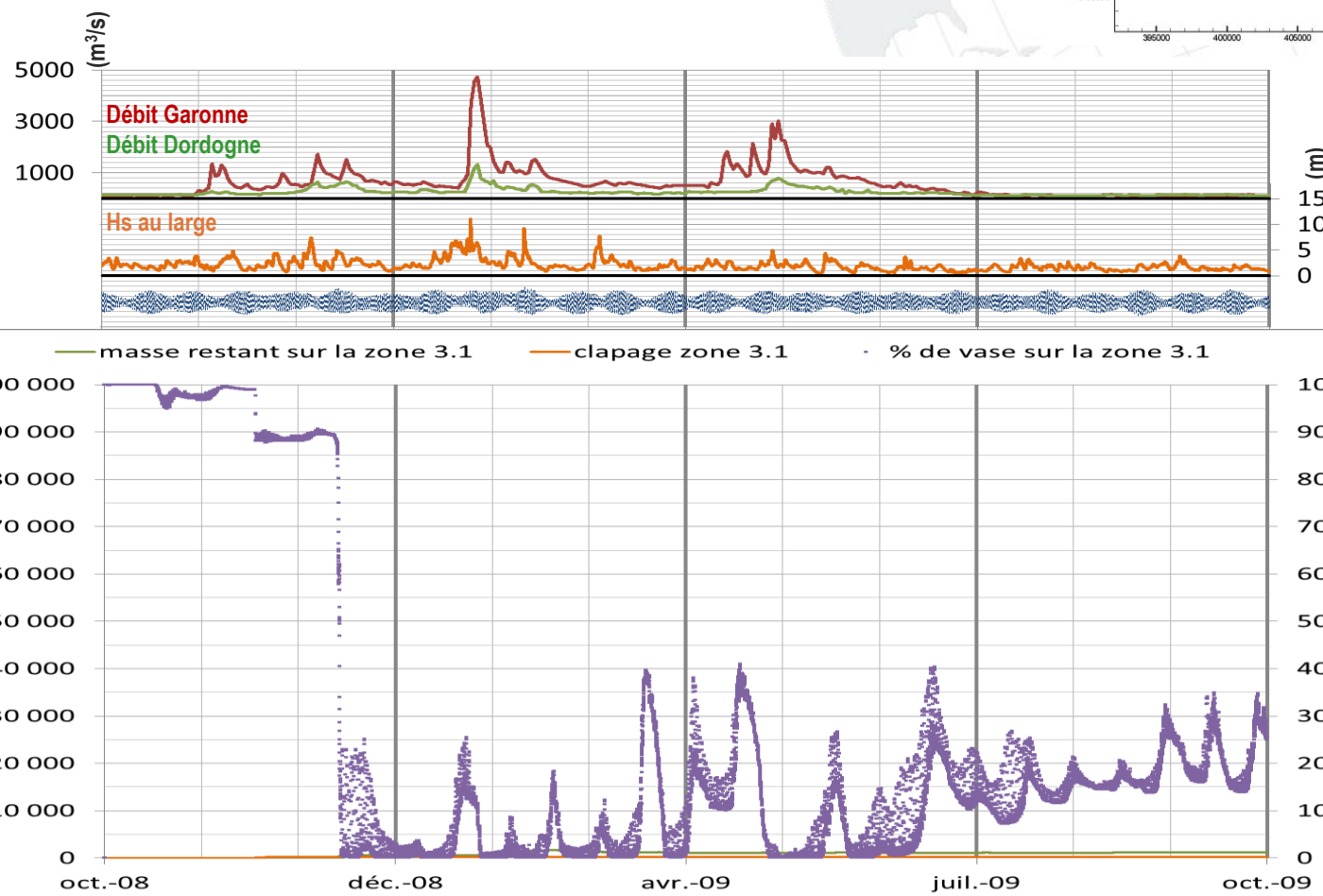
Fraction sableuse

Stabilité de la zone 3.3

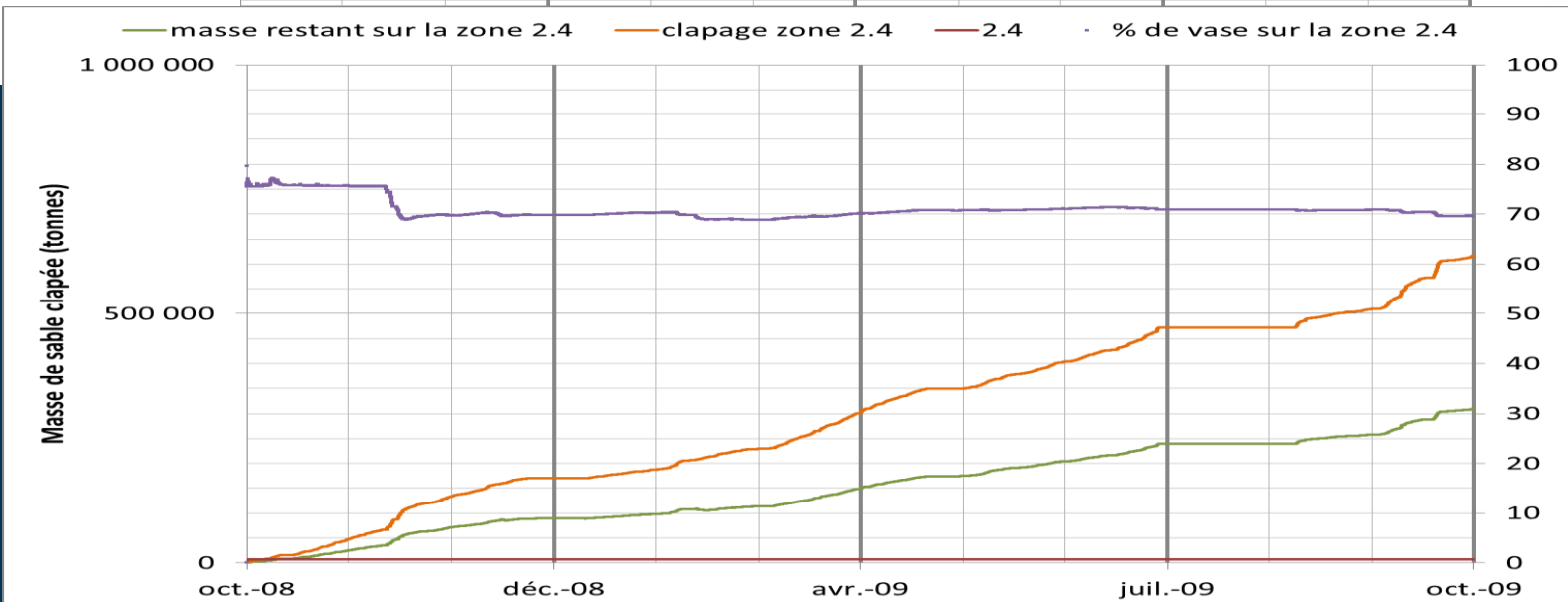
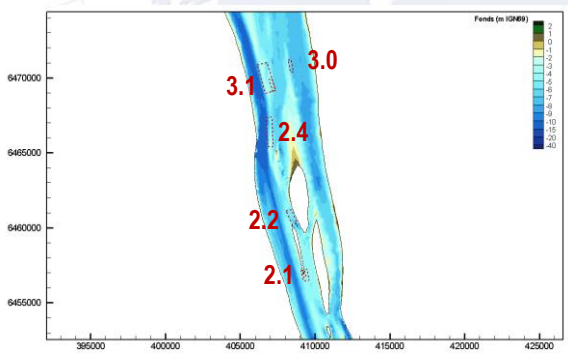
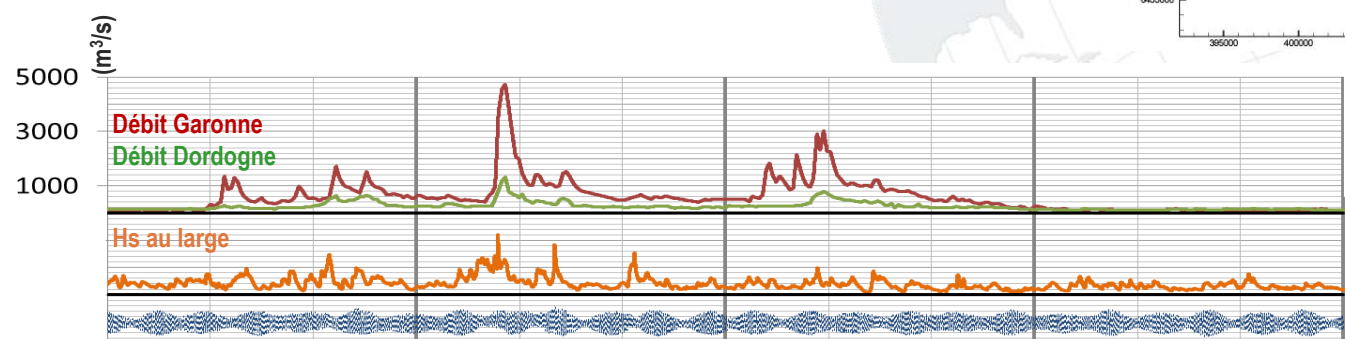


Fraction sableuse

Stabilité de la zone 3.1

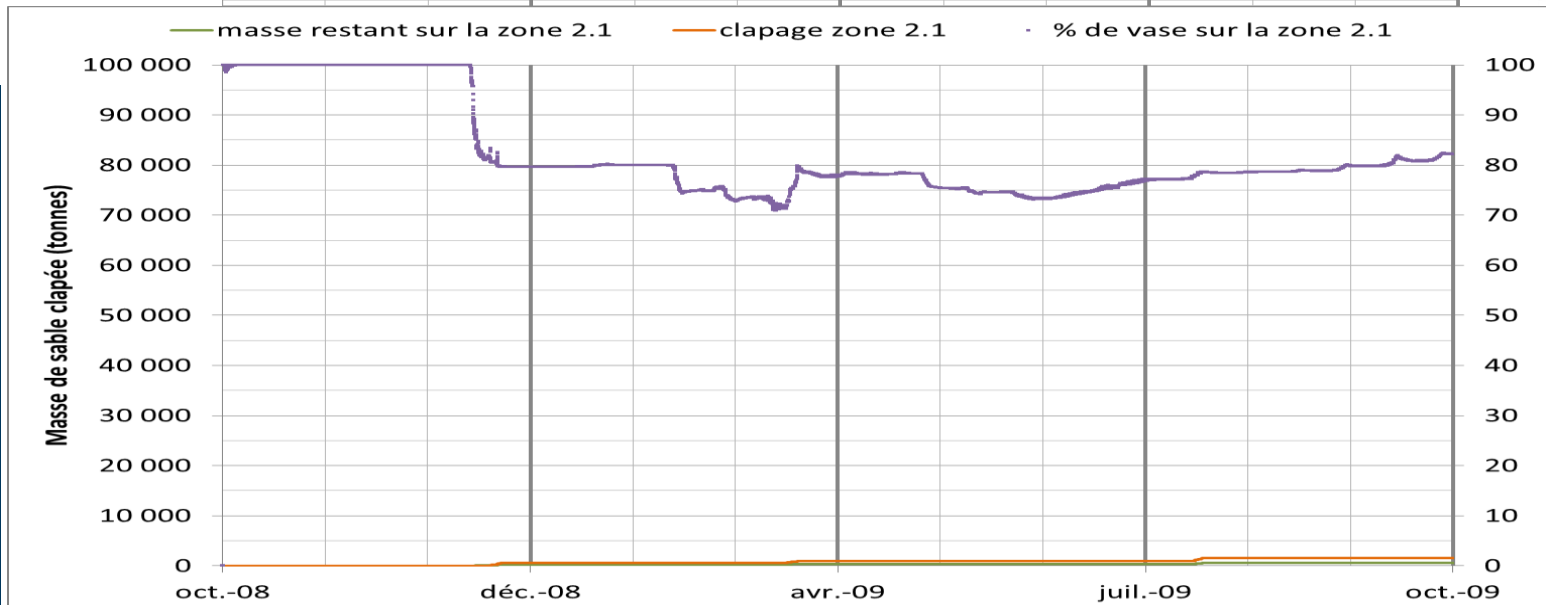
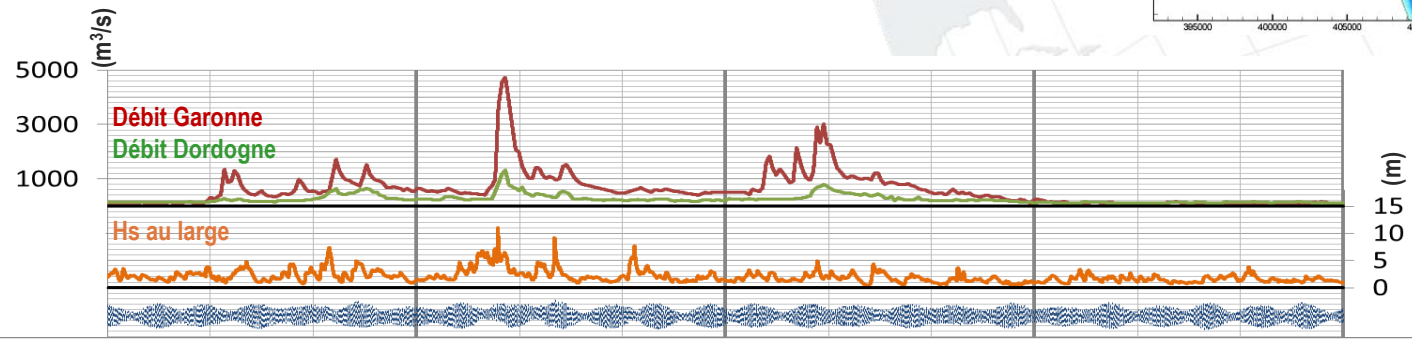
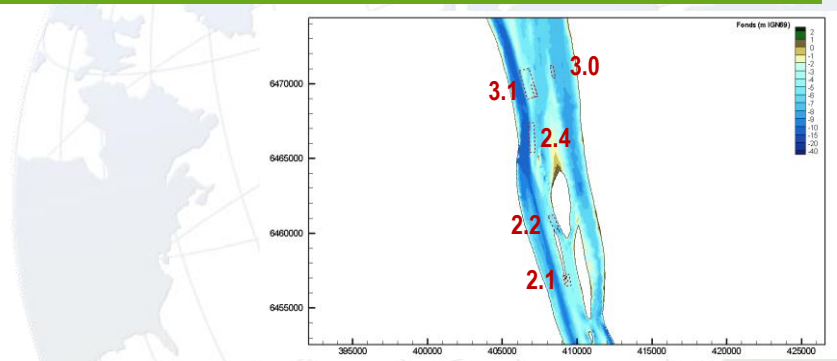


Fraction sableuse
Stabilité de la zone 2.4



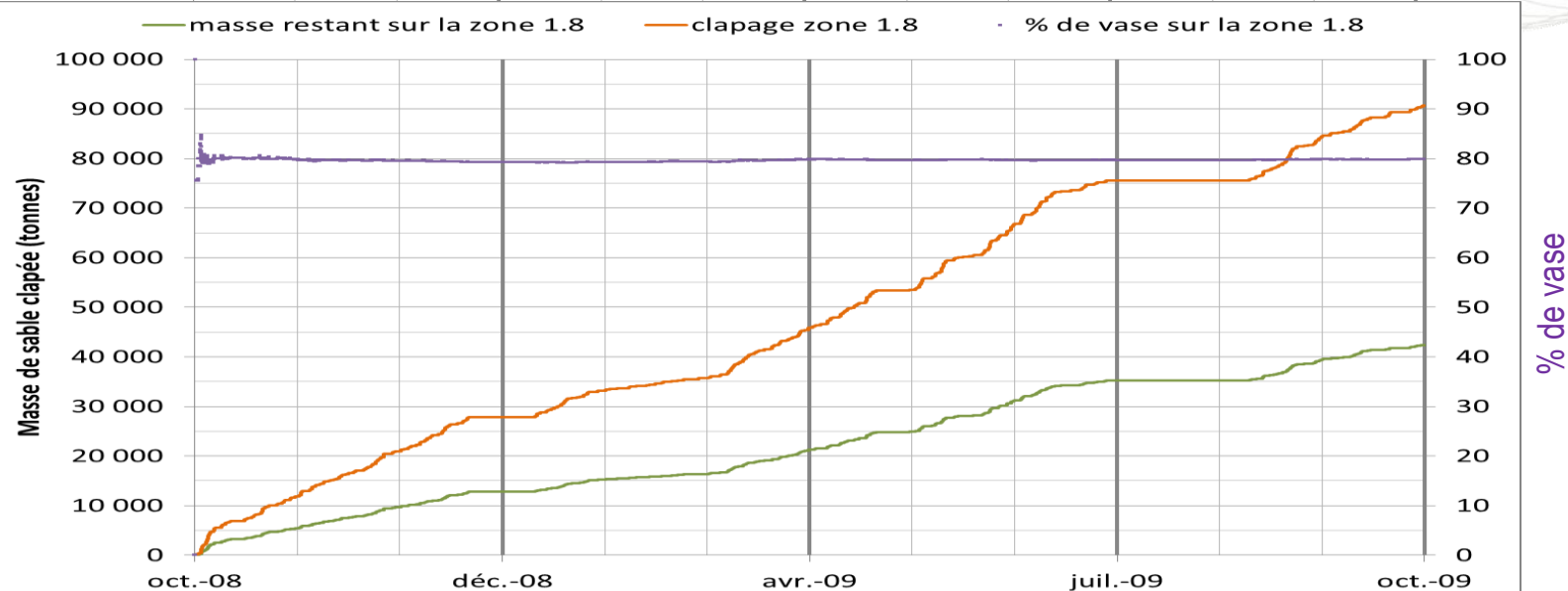
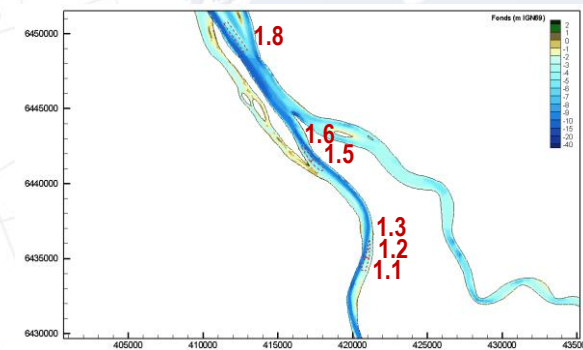
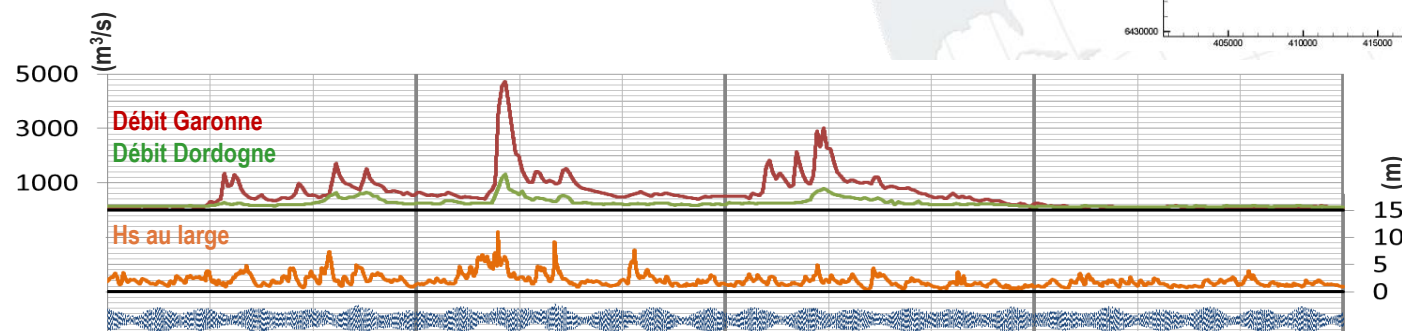


Fraction sableuse
Stabilité de la zone 2.1



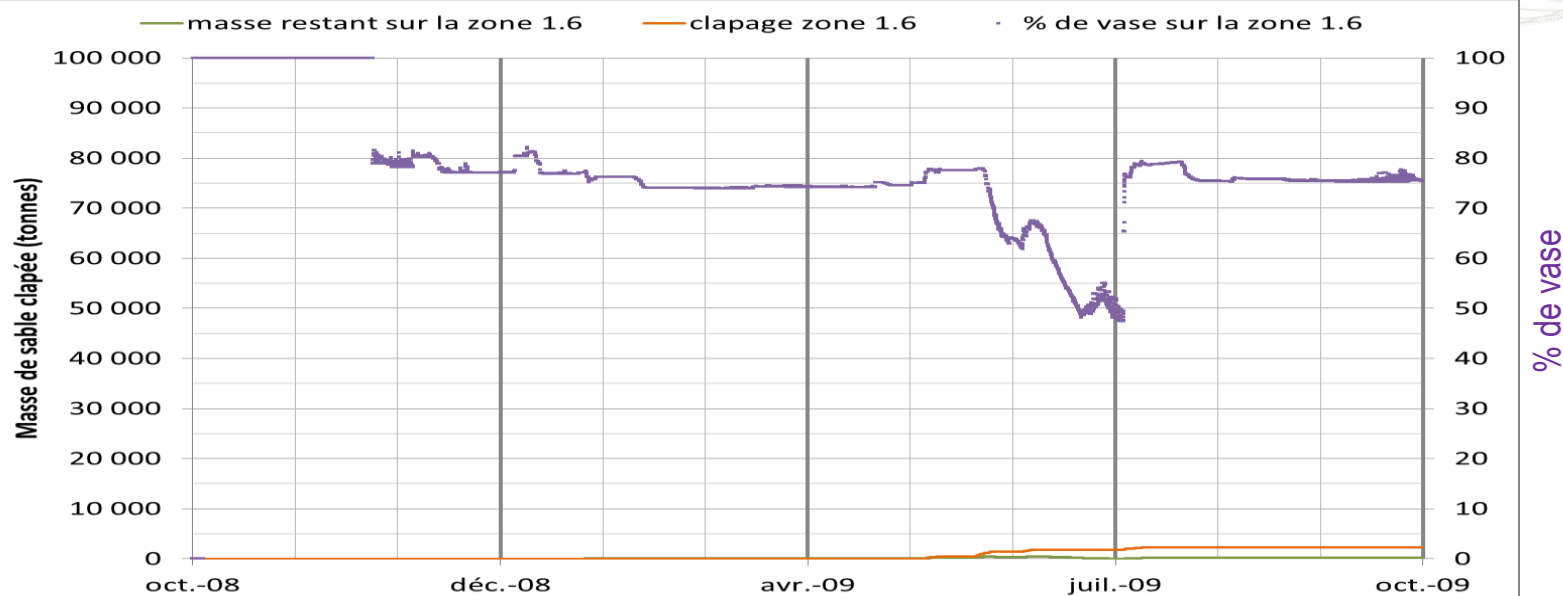
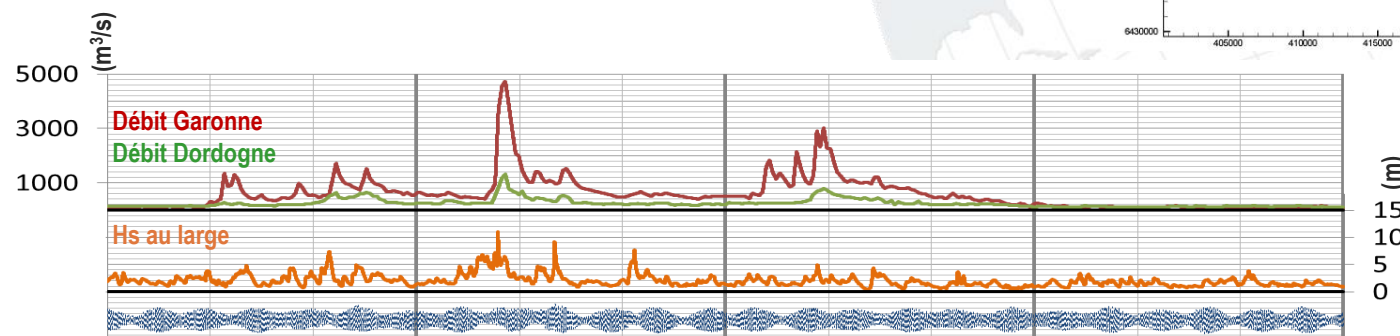
Fraction sableuse

Stabilité de la zone 1.8



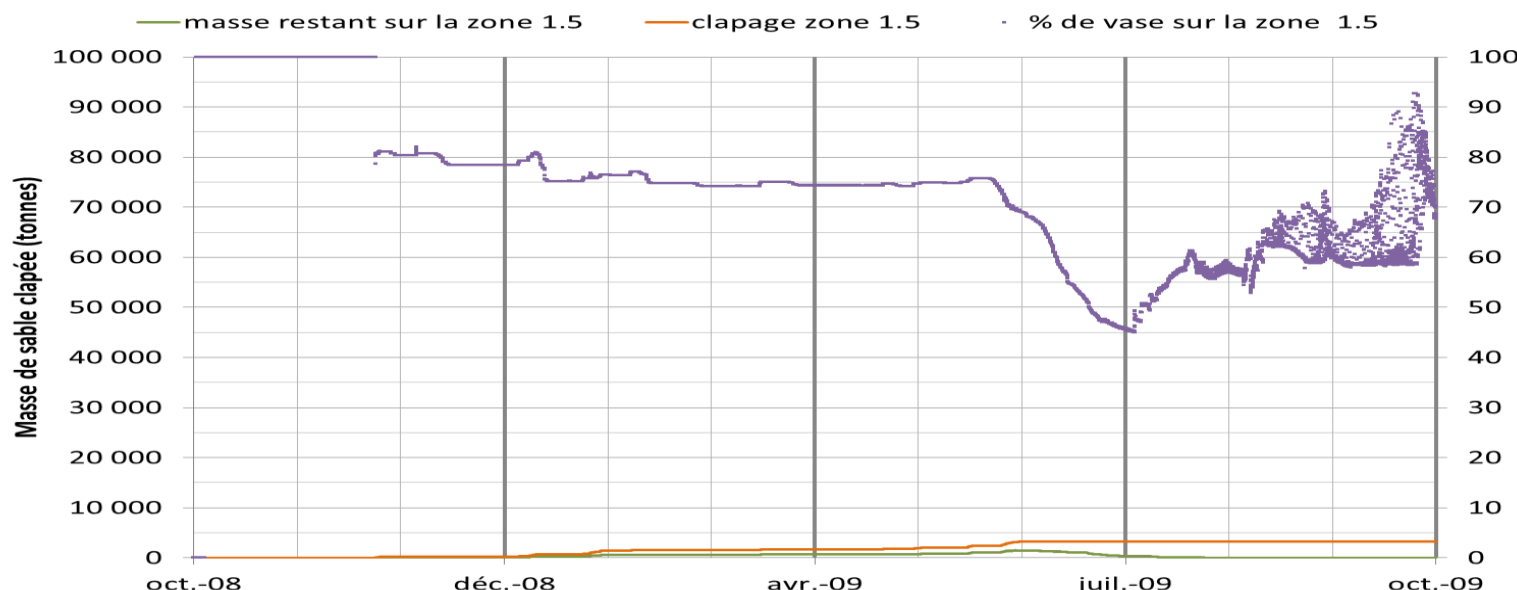
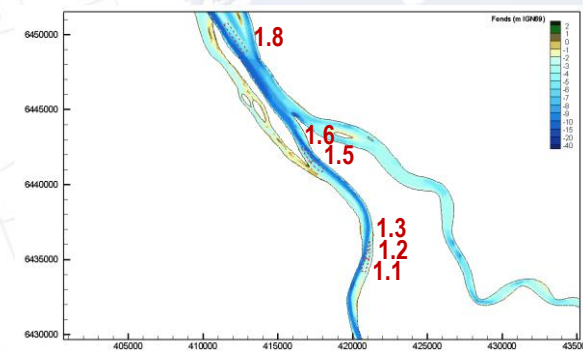
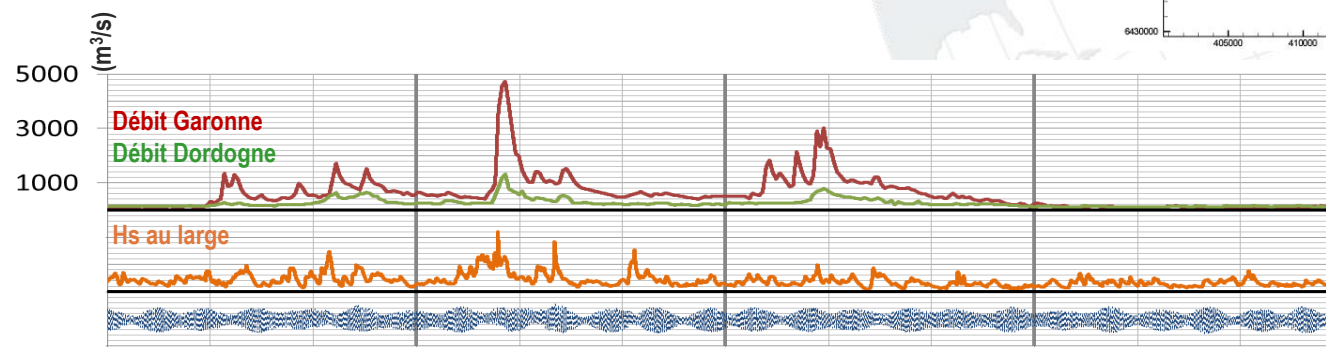
Fraction sableuse

Stabilité de la zone 1.6



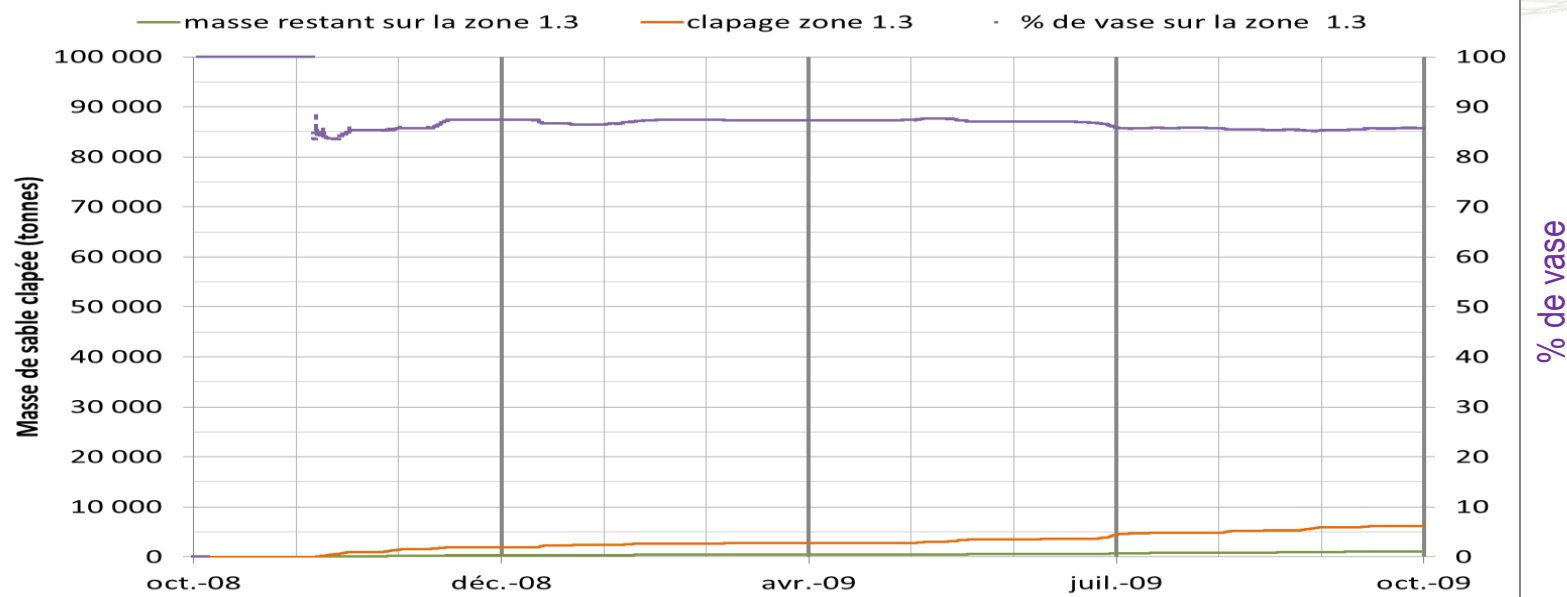
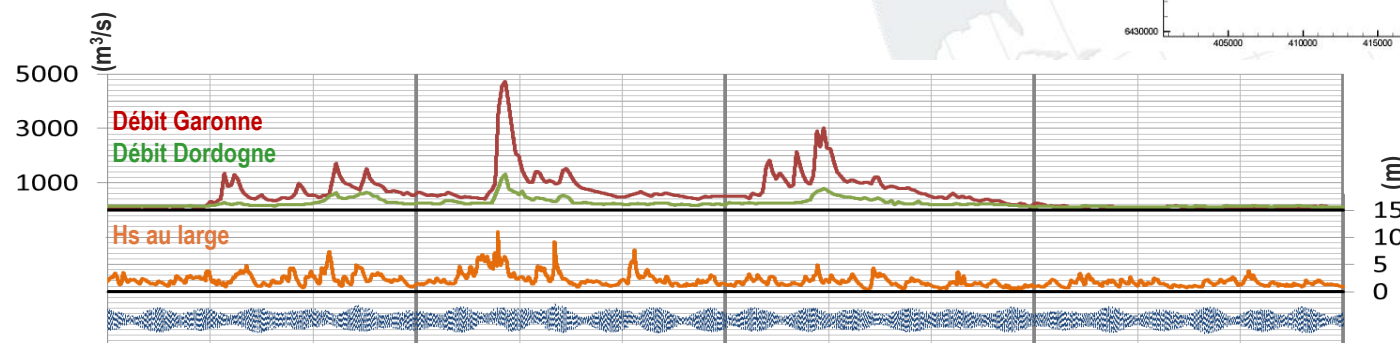
Fraction sableuse

Stabilité de la zone 1.5



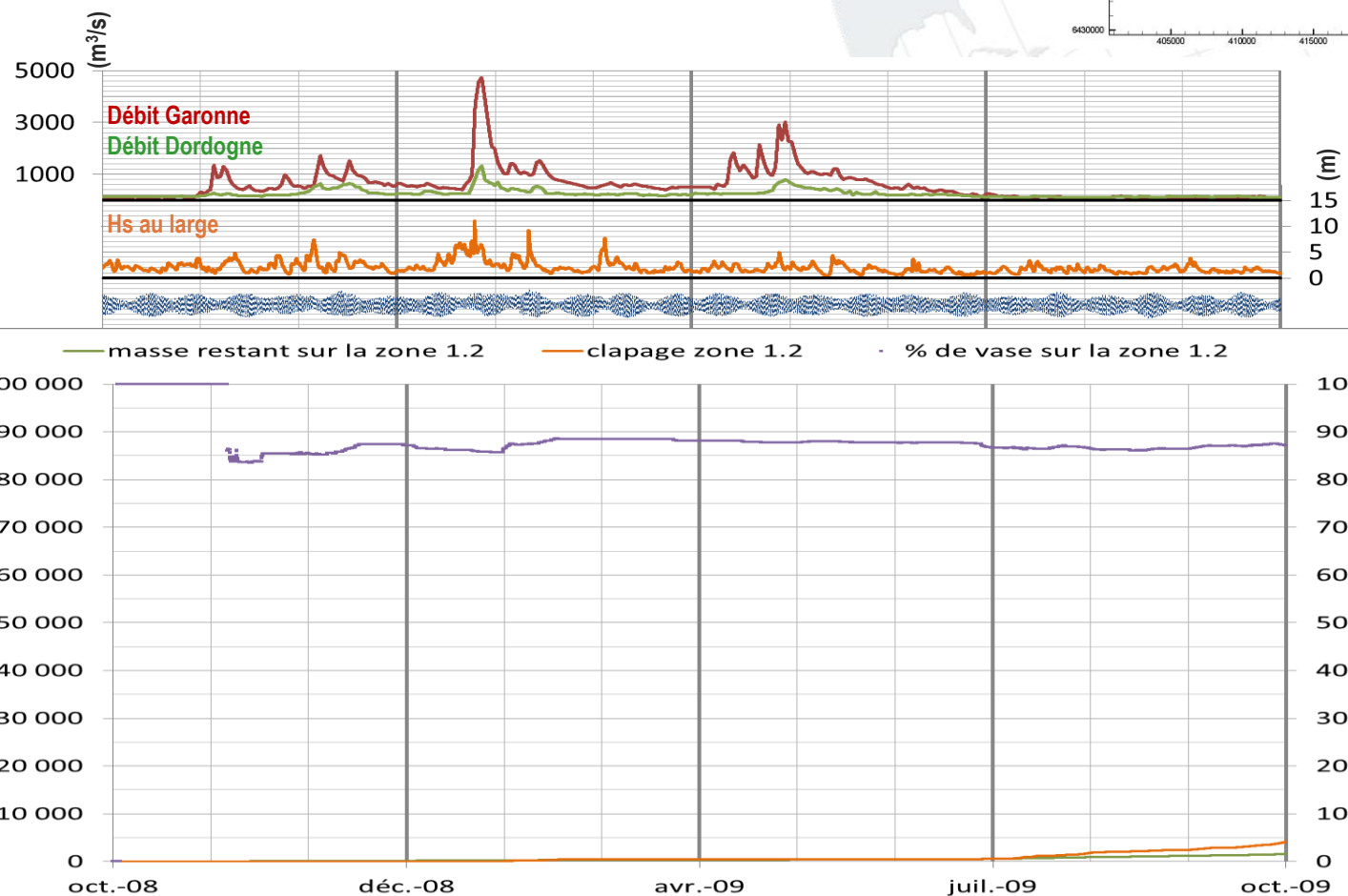
Fraction sableuse

Stabilité de la zone 1.3



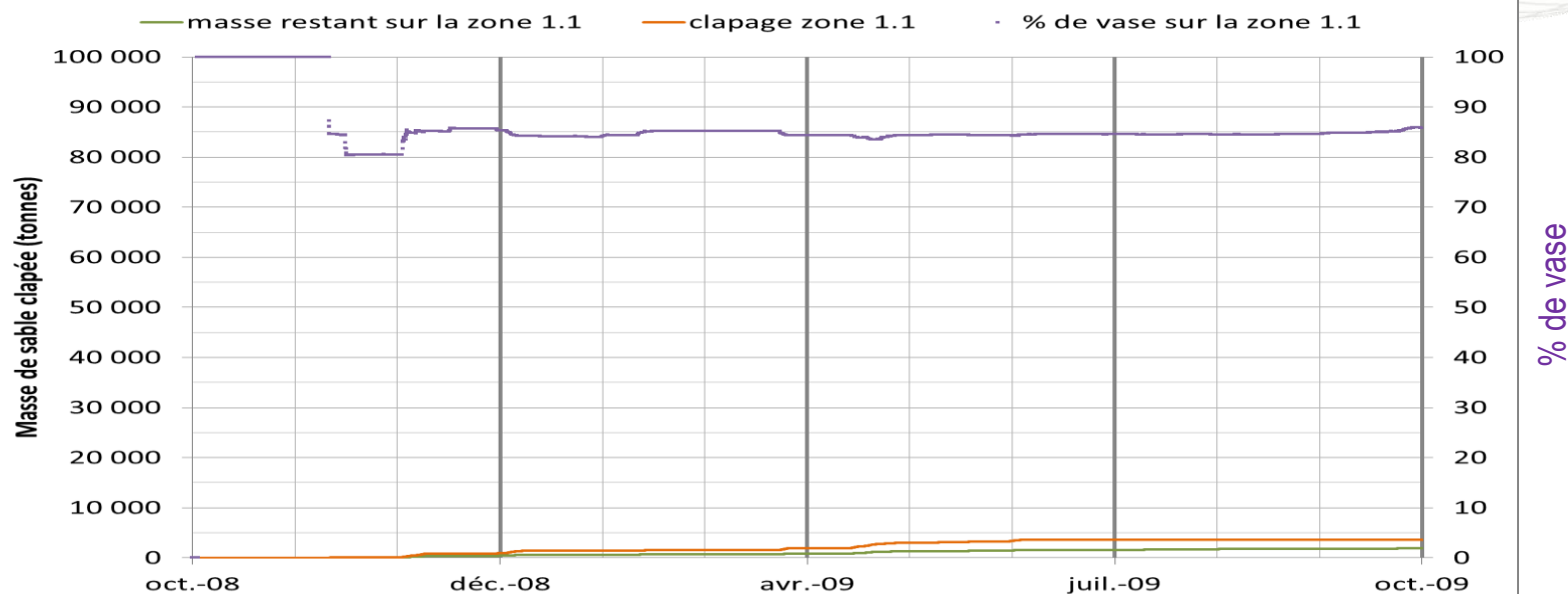
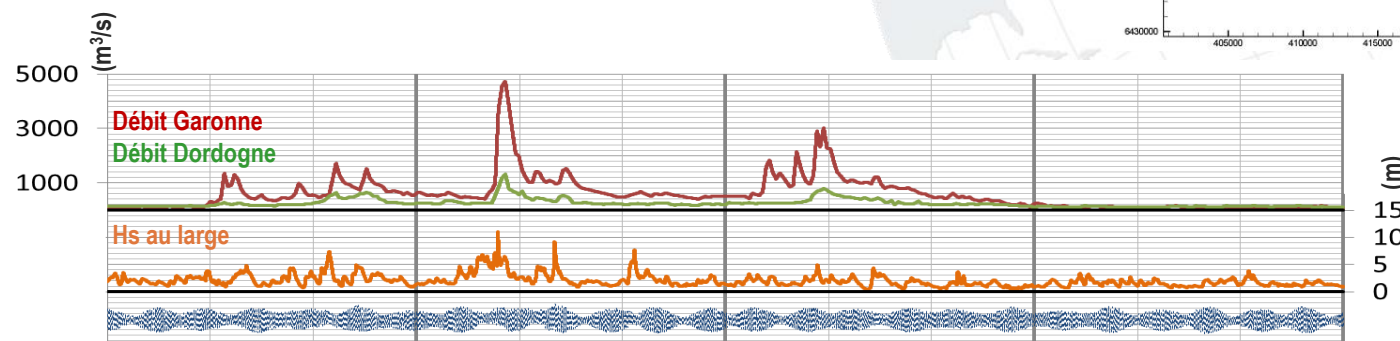
Fraction sableuse

Stabilité de la zone 1.2



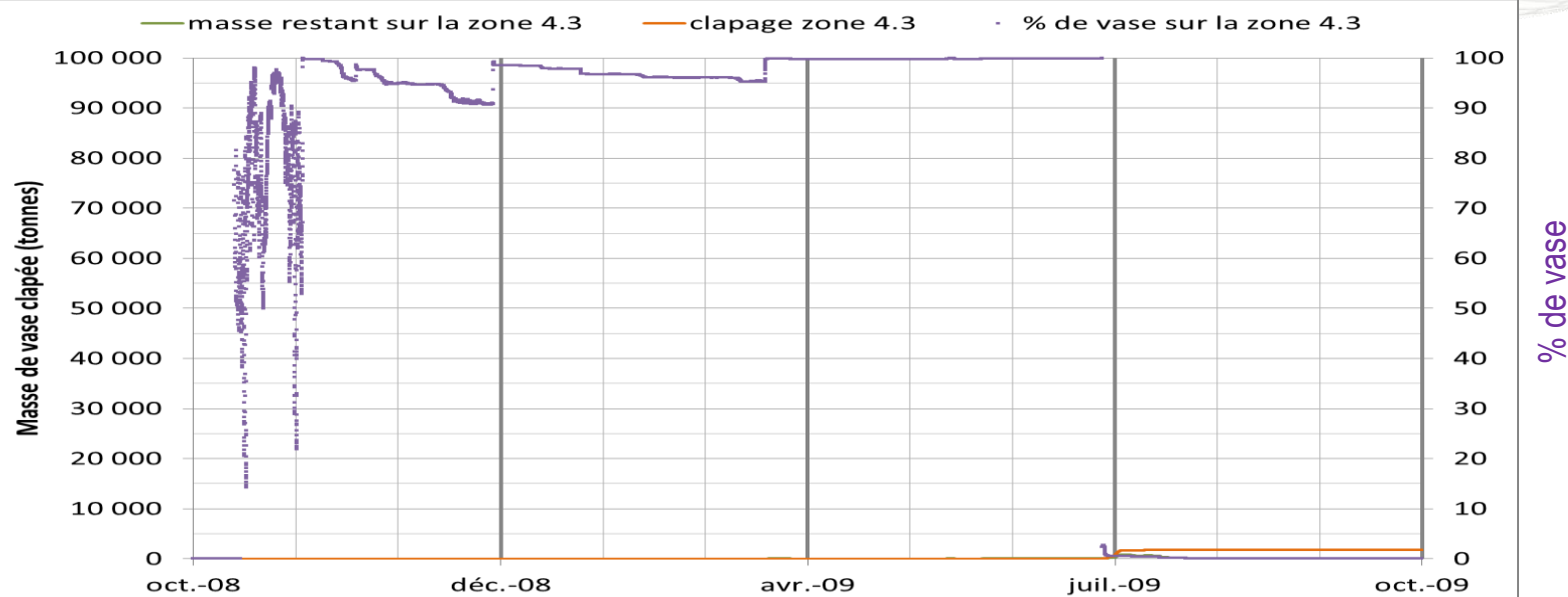
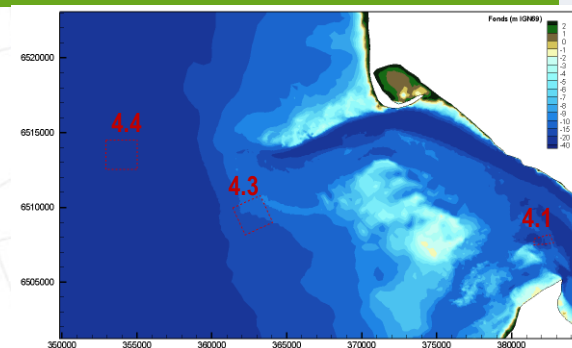
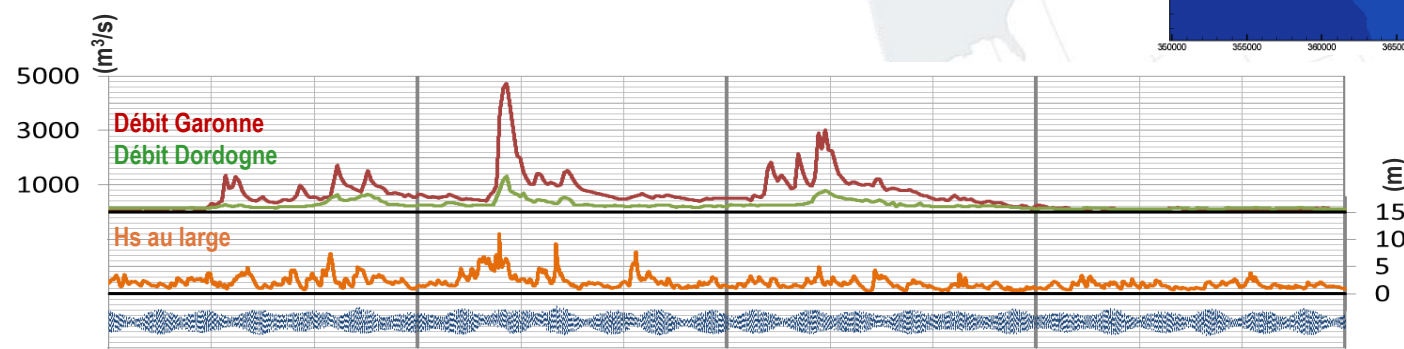
Fraction sableuse

Stabilité de la zone 1.1



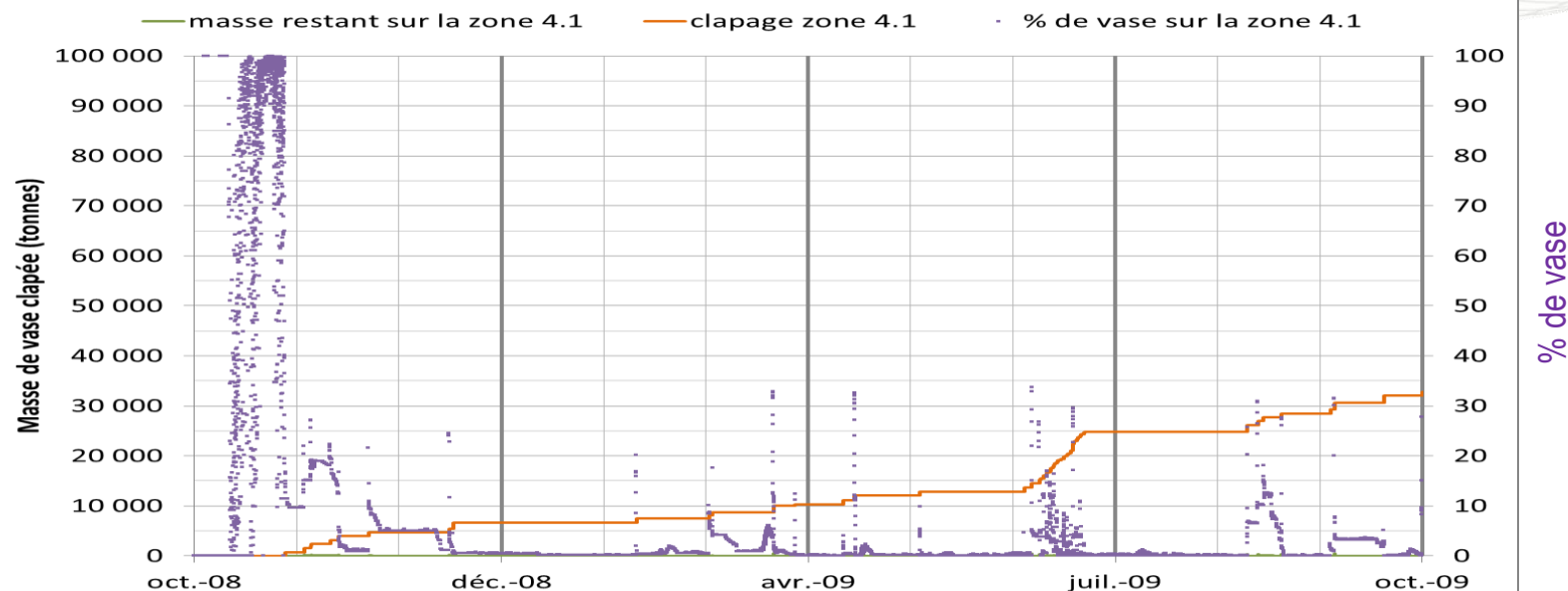
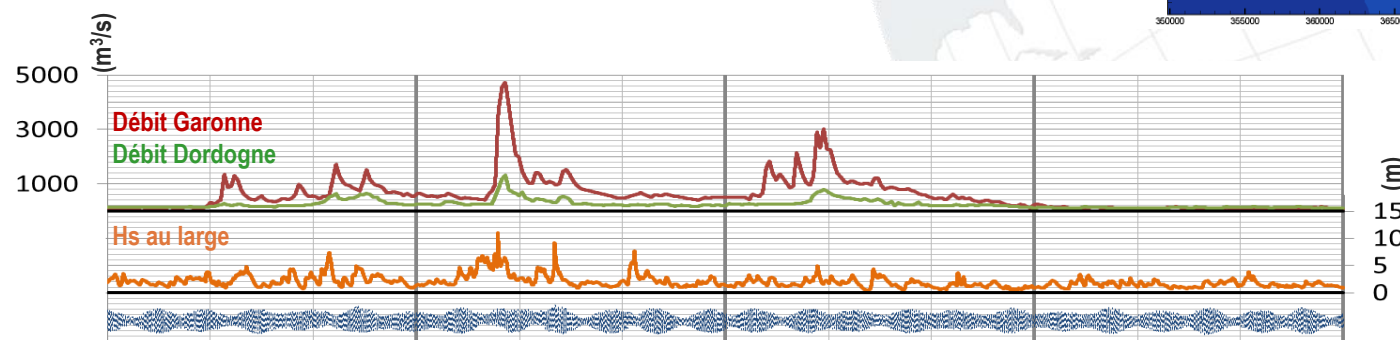
Fraction vaseuse

Stabilité de la zone 4.3



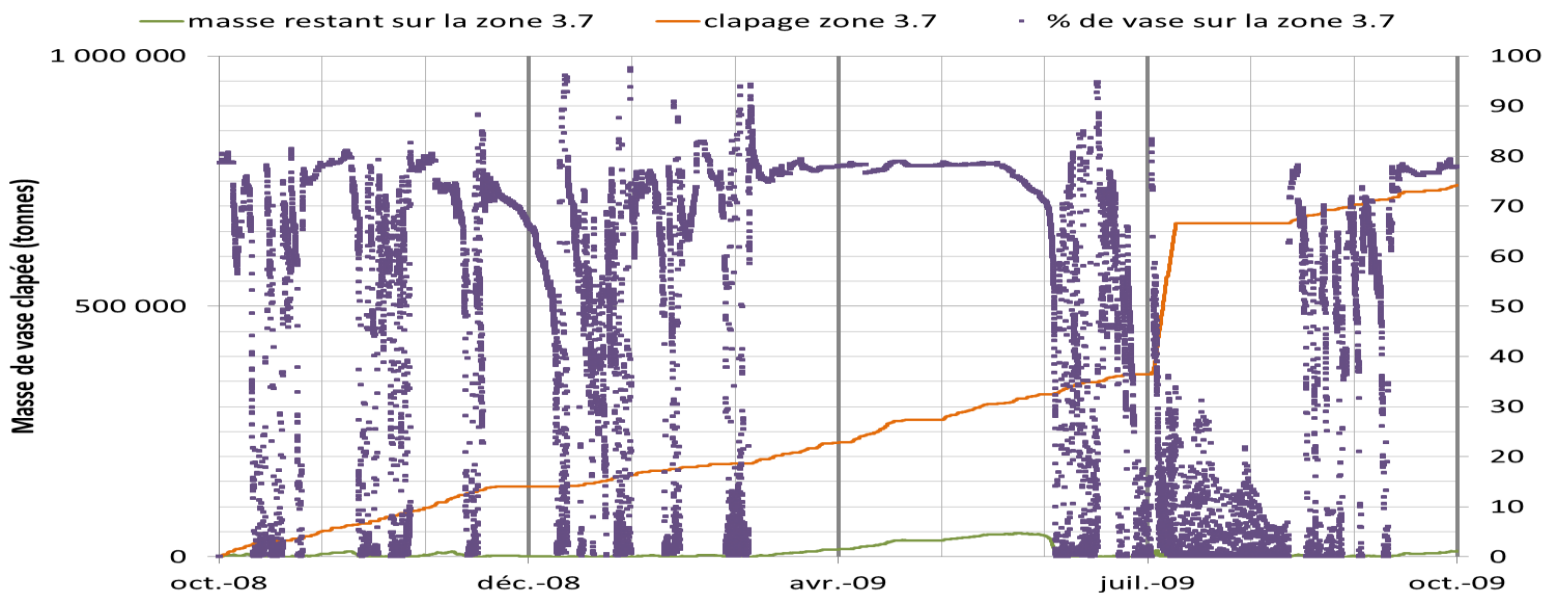
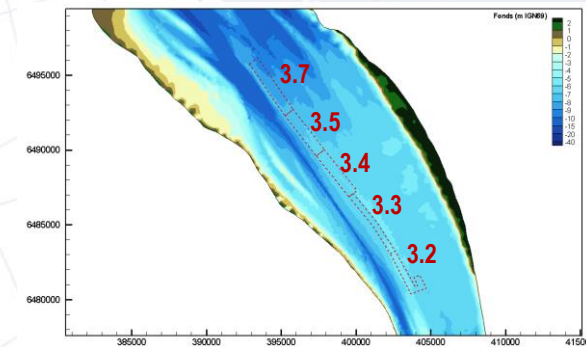
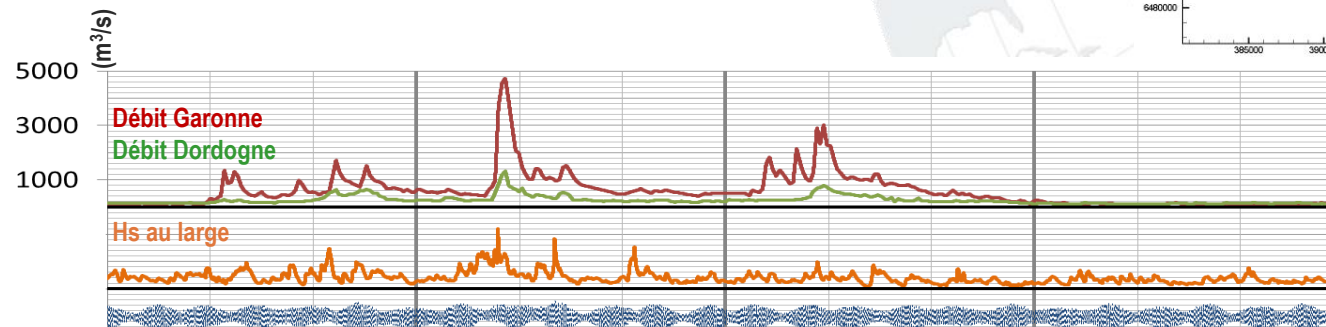
Fraction vaseuse

Stabilité de la zone 4.1



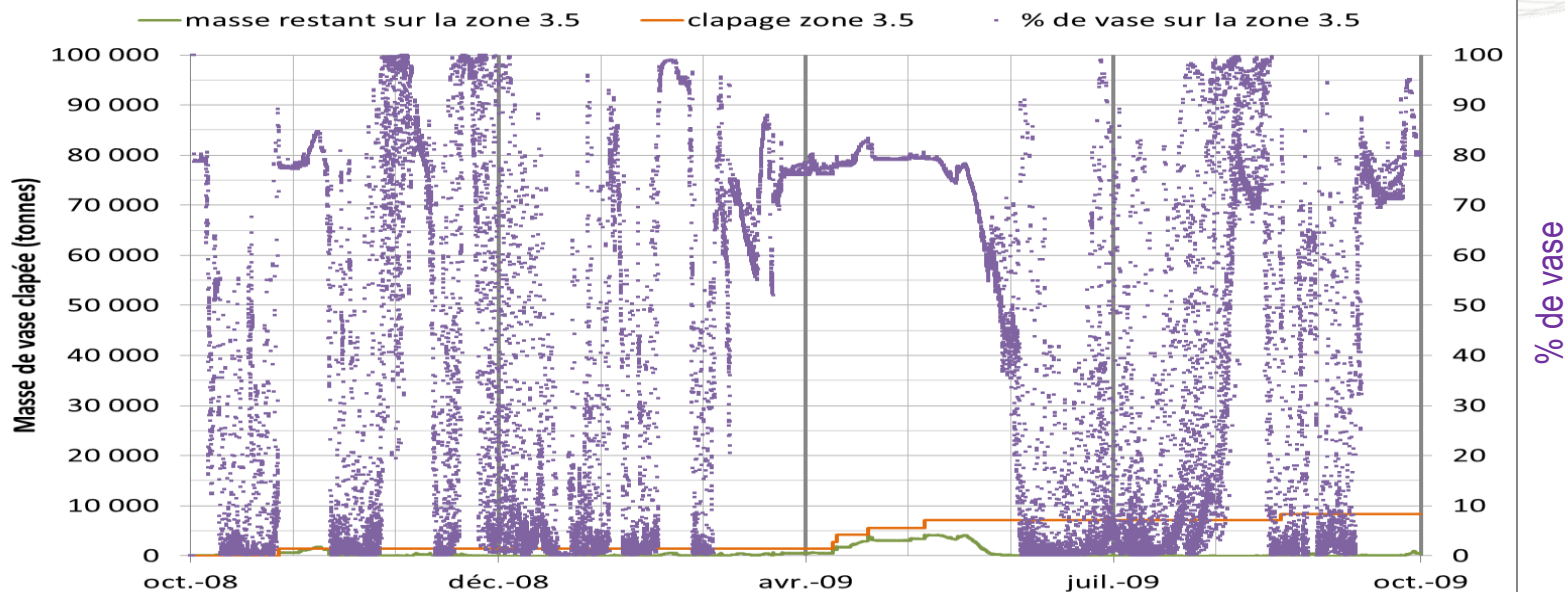
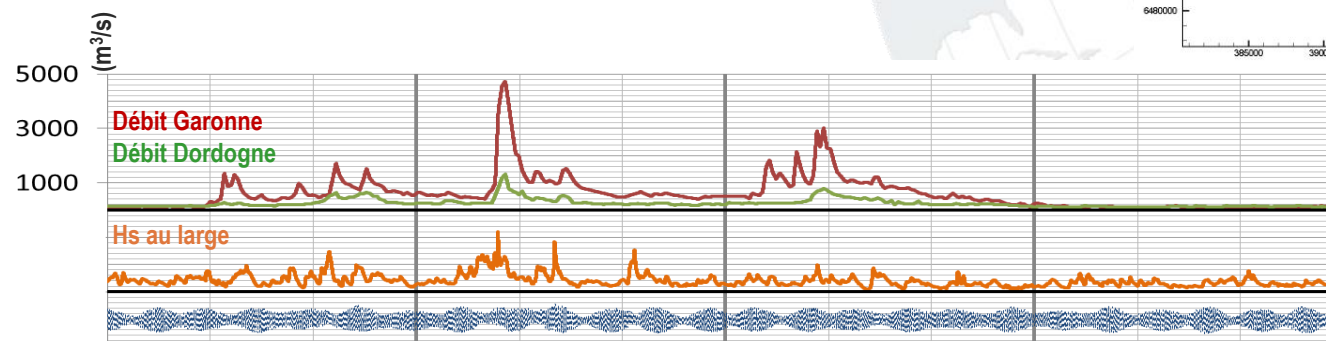
Fraction vaseuse

Stabilité de la zone 3.7



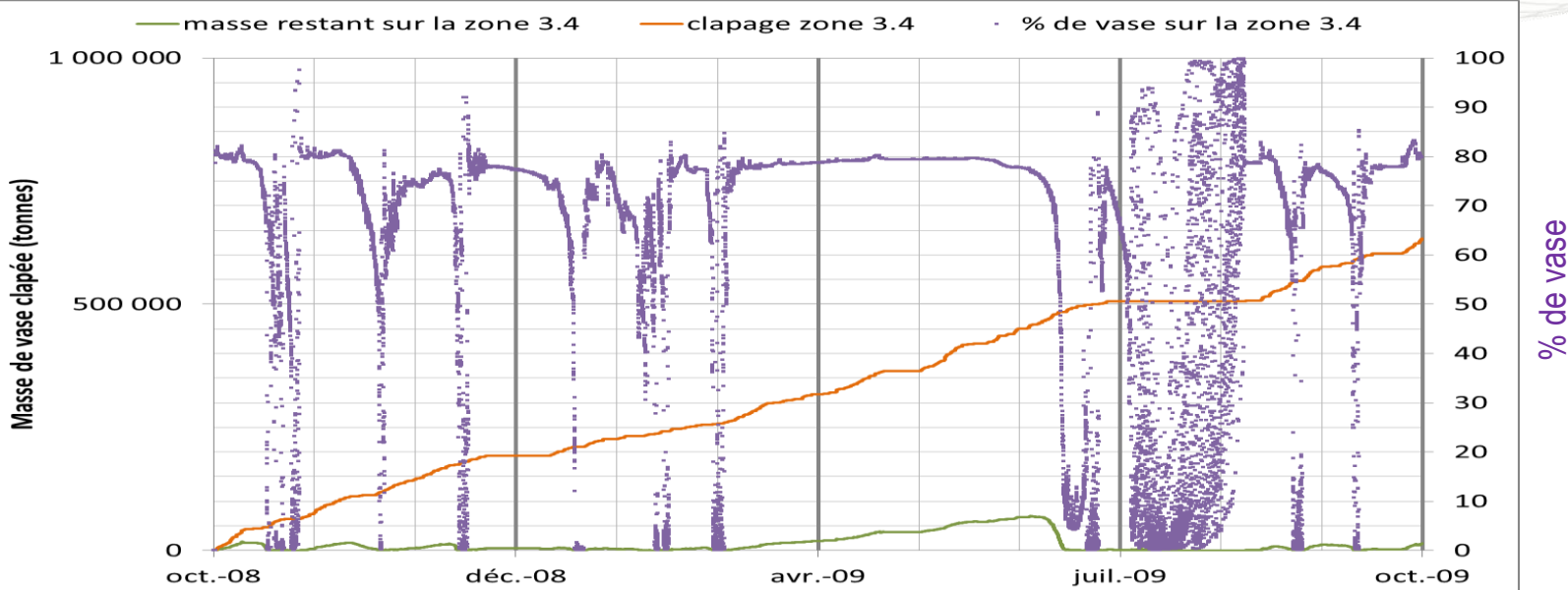
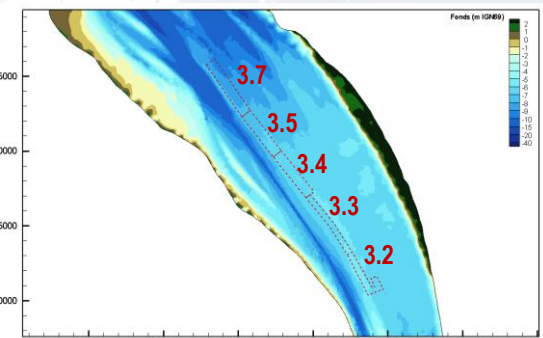
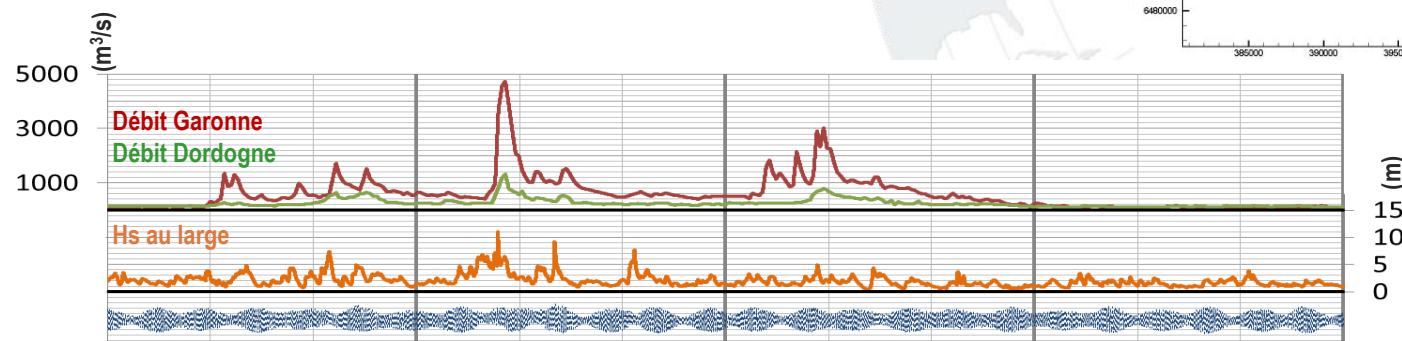
Fraction vaseuse

Stabilité de la zone 3.5



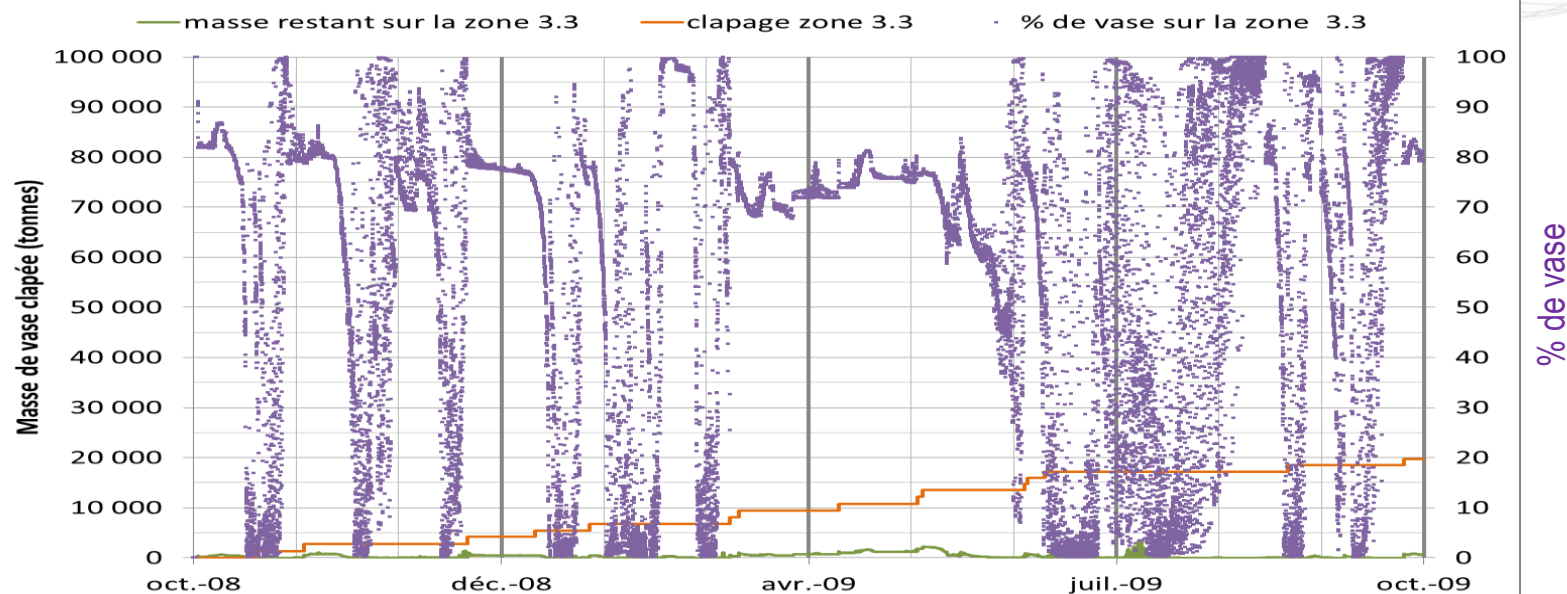
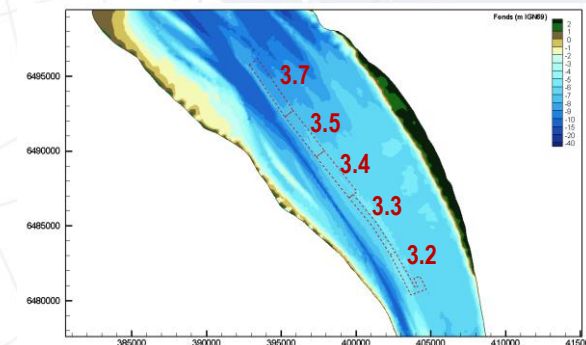
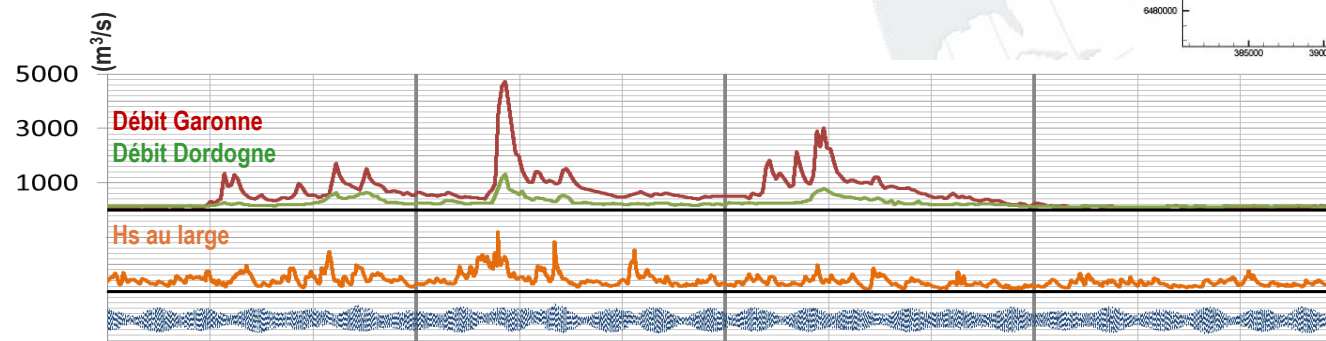
Fraction vaseuse

Stabilité de la zone 3.4



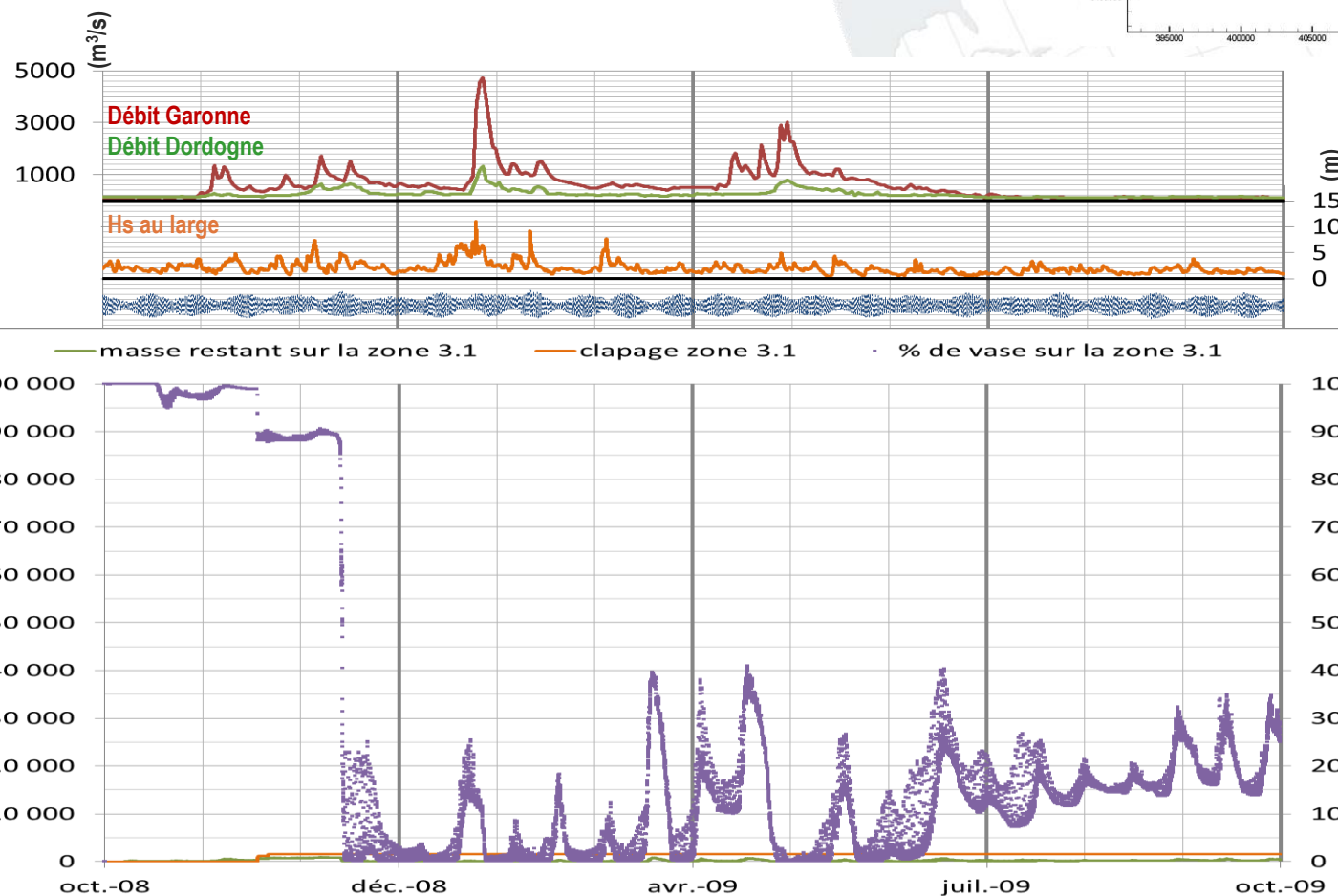
Fraction vaseuse

Stabilité de la zone 3.3

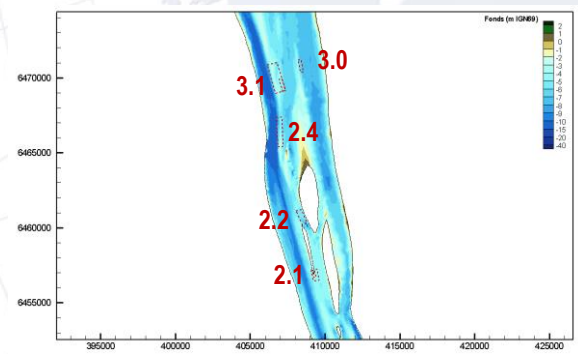
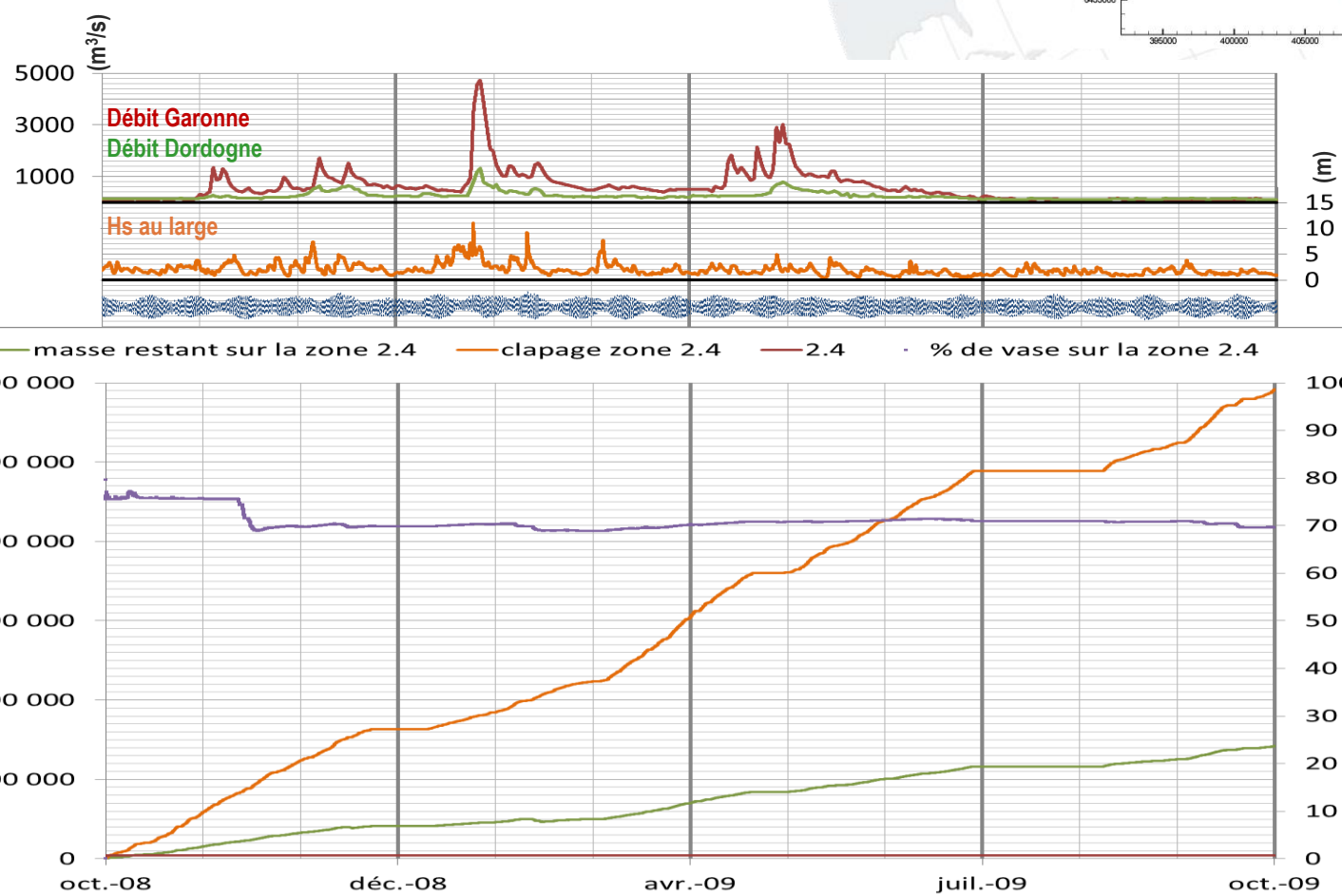


Fraction vaseuse

Stabilité de la zone 3.1

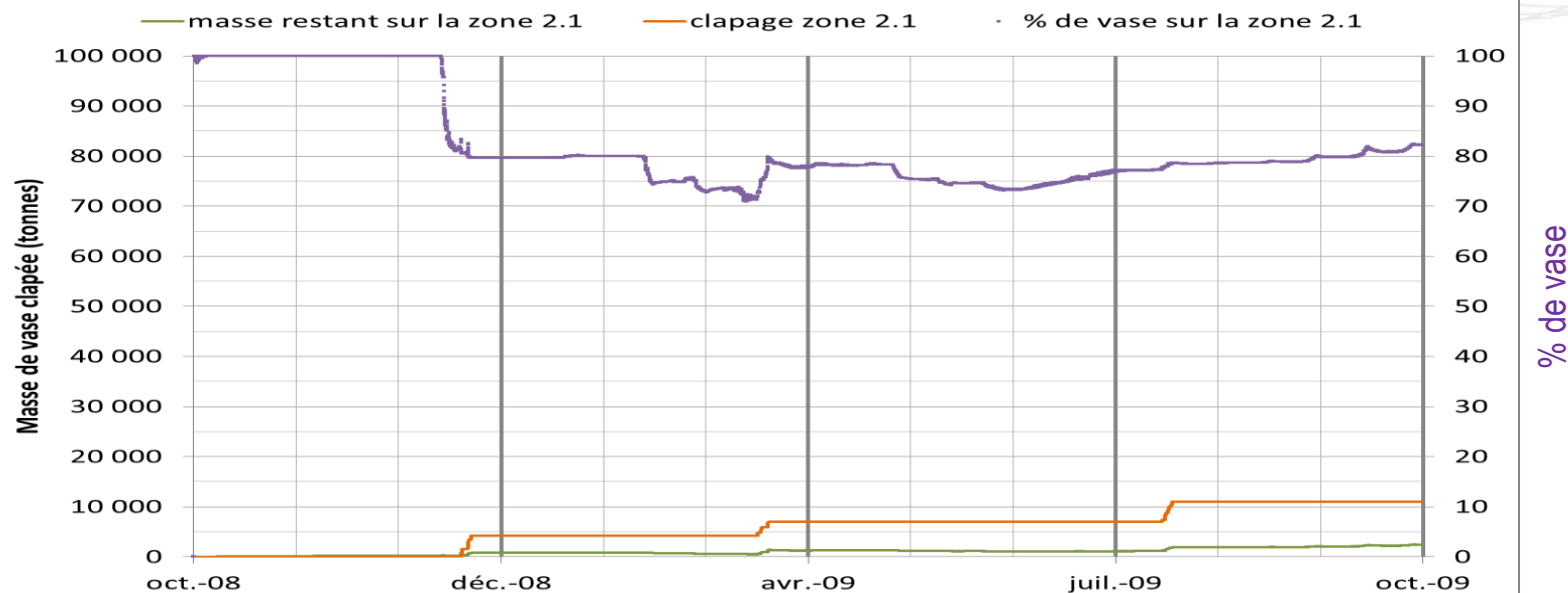
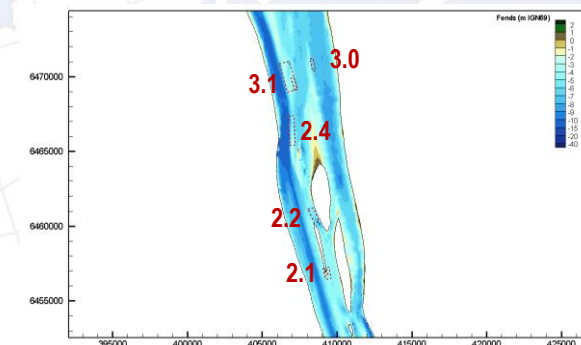
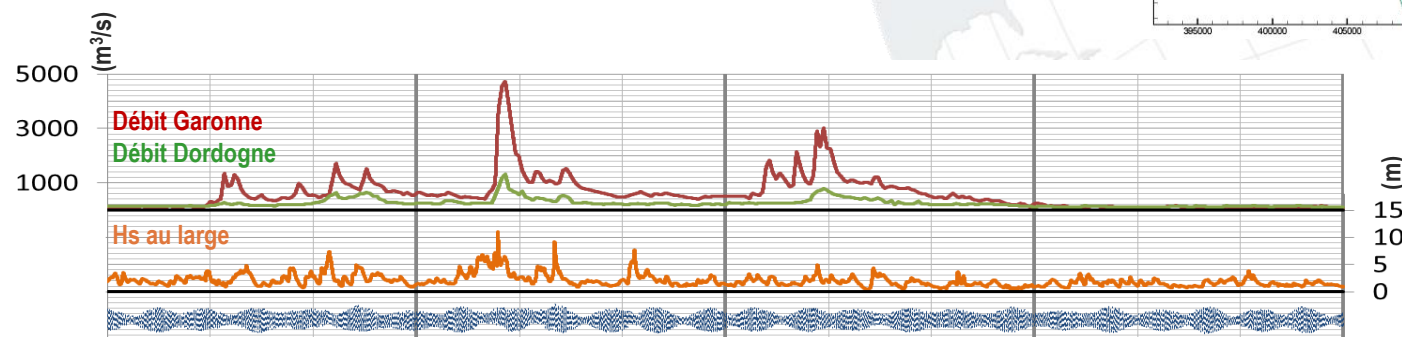


Fraction vaseuse
Stabilité de la zone 2.4



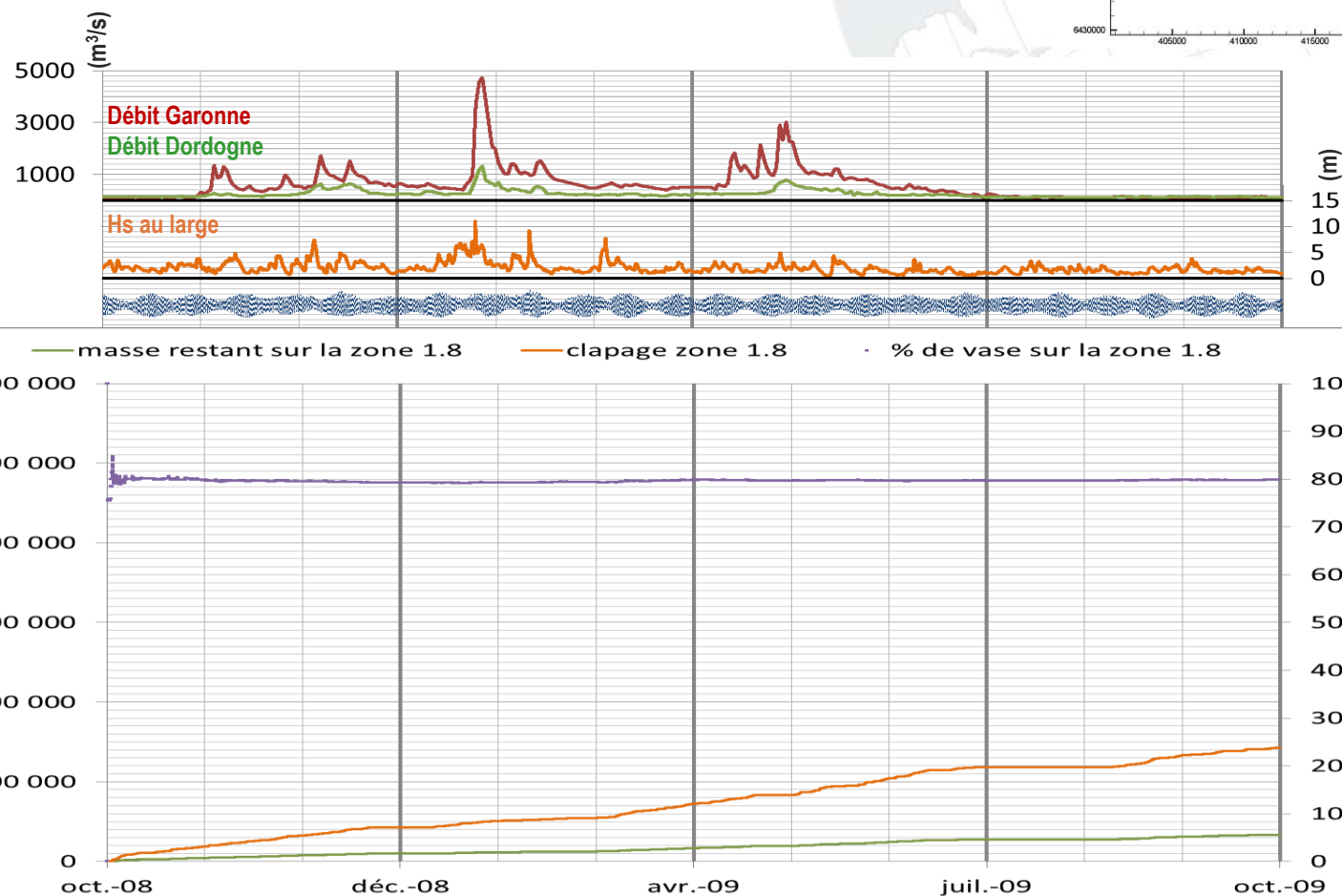
Fraction vaseuse

Stabilité de la zone 2.1



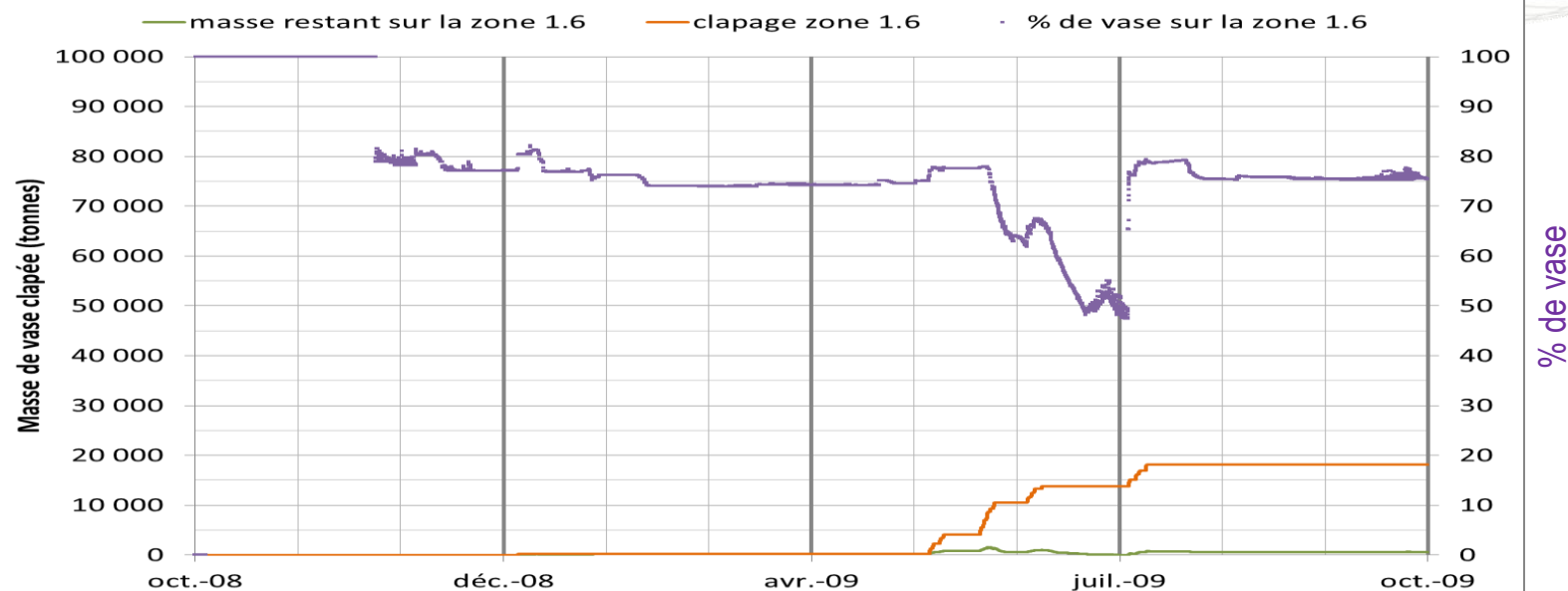
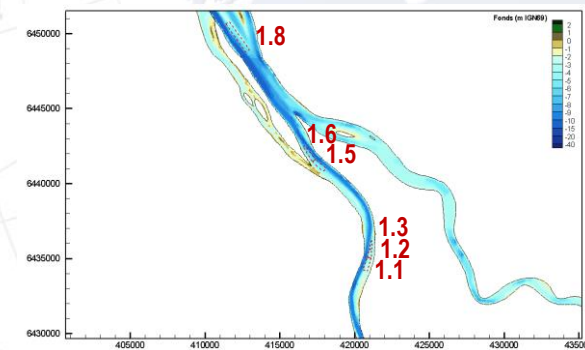
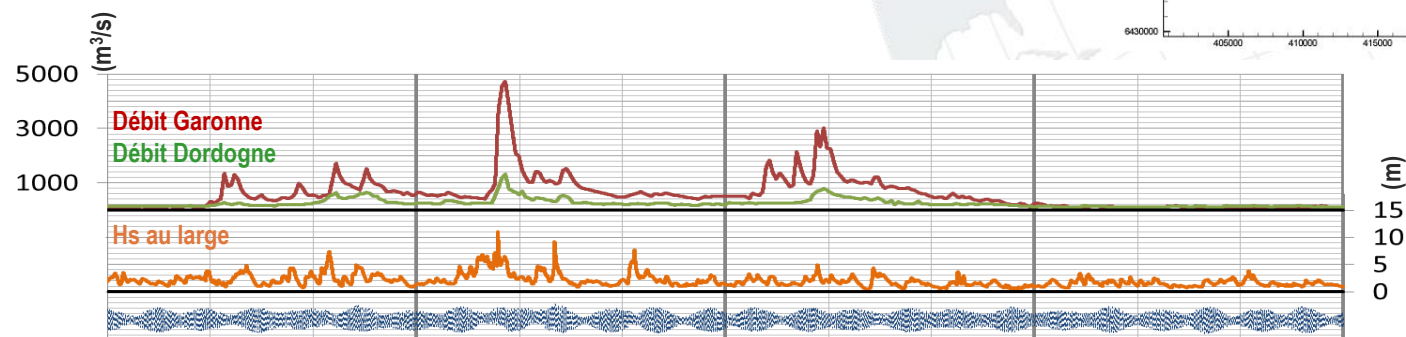
Fraction vaseuse

Stabilité de la zone 1.8



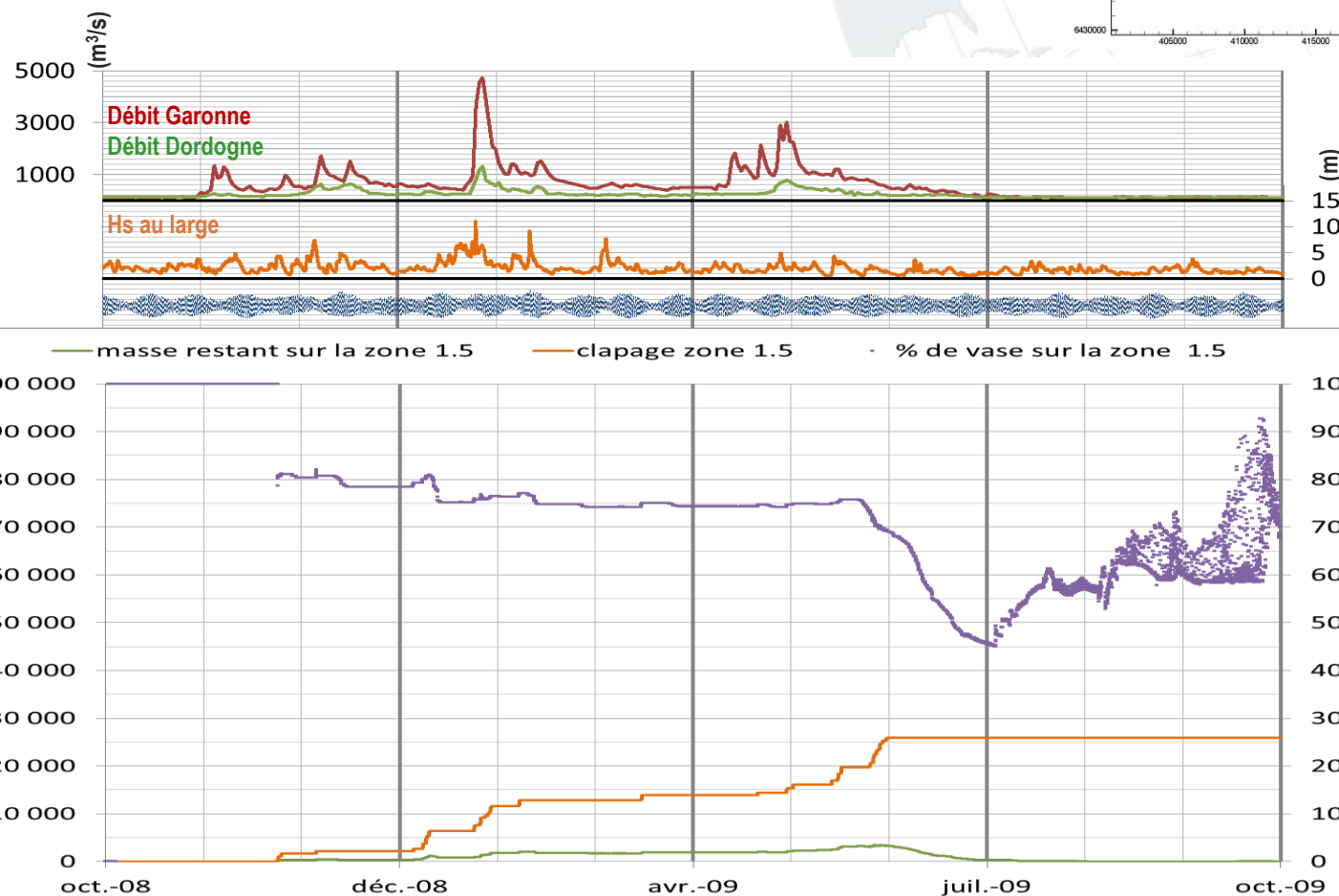
Fraction vaseuse

Stabilité de la zone 1.6



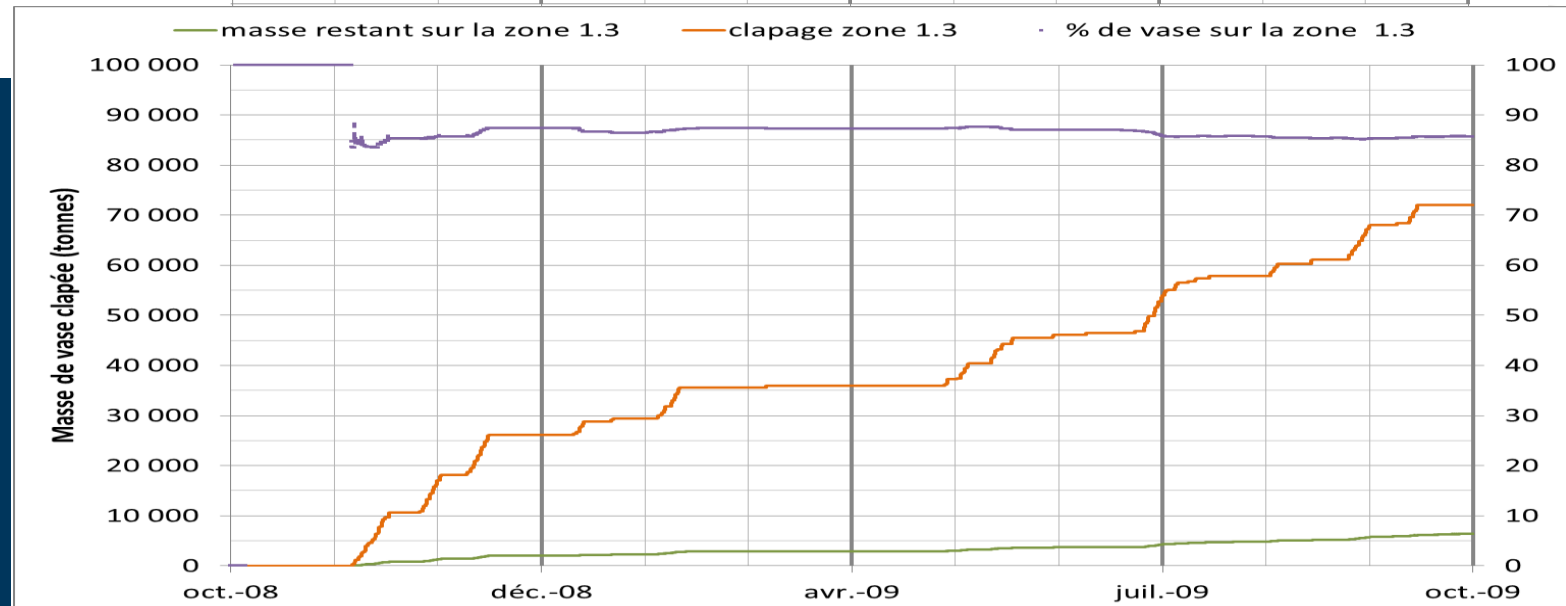
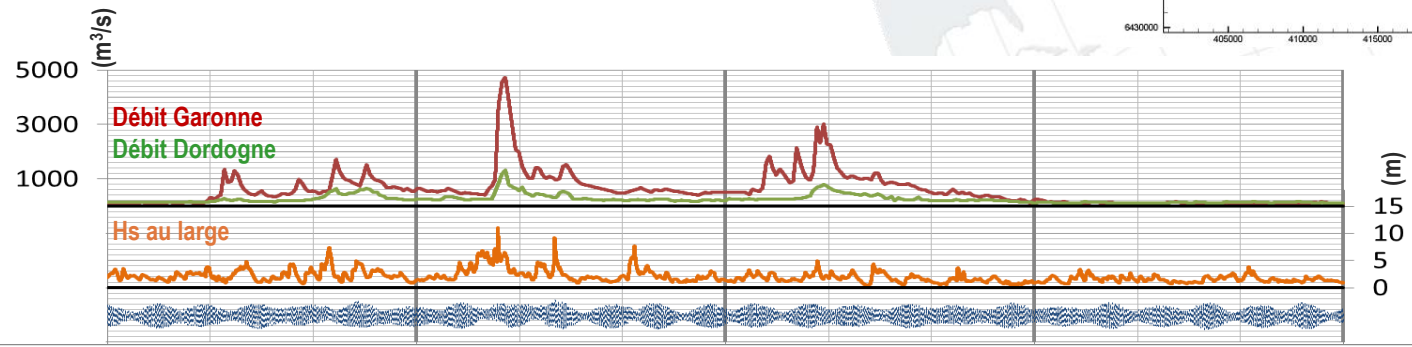
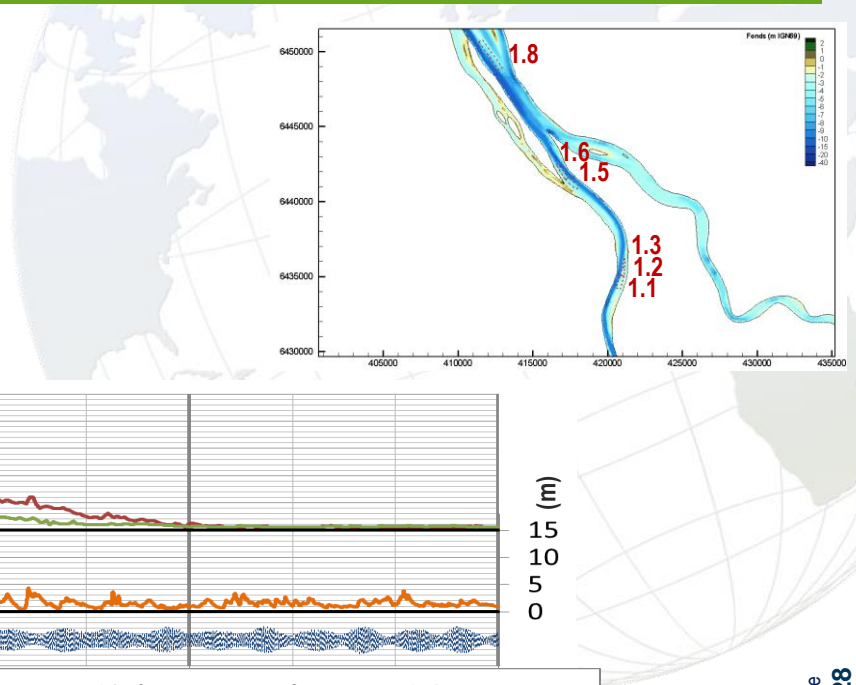
Fraction vaseuse

Stabilité de la zone 1.5



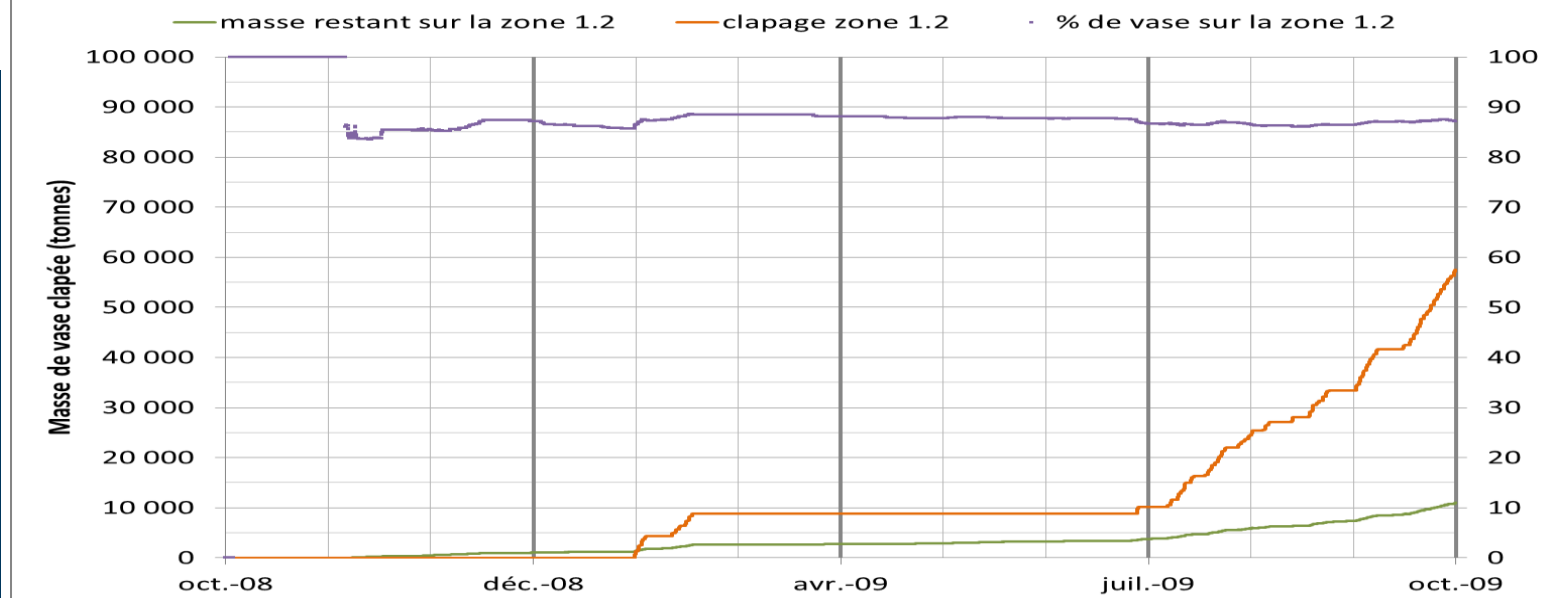
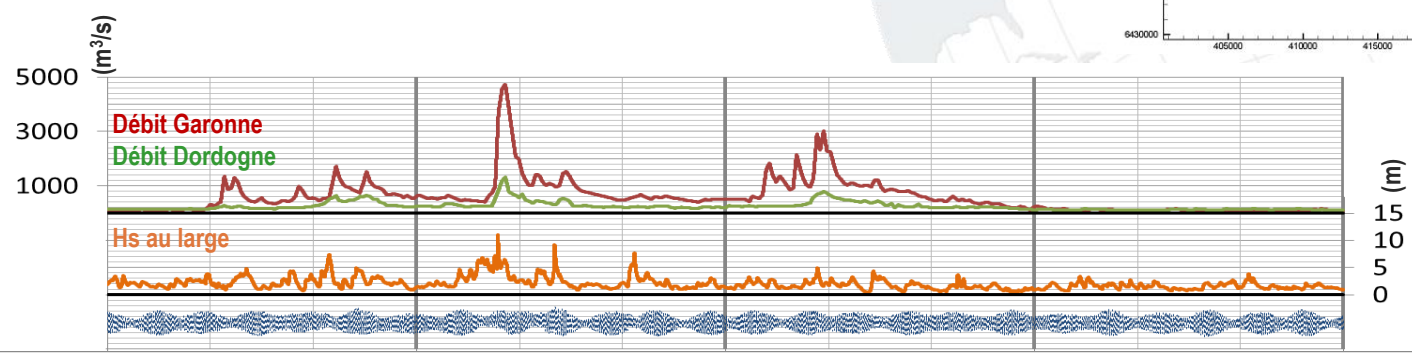
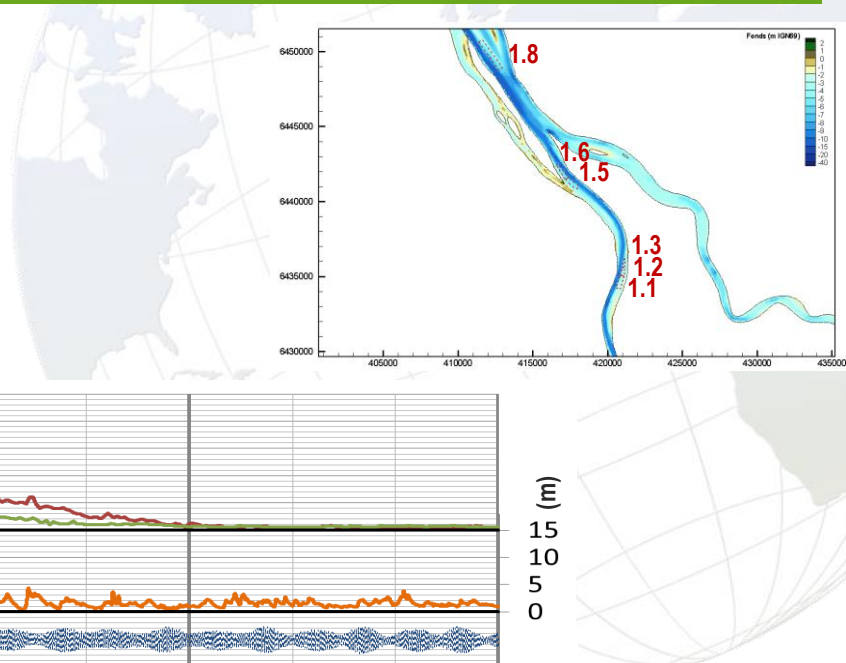


Fraction vaseuse
Stabilité de la zone 1.3





Fraction vaseuse
Stabilité de la zone 1.2



Fraction vaseuse

Stabilité de la zone 1.1

