

Grand Port Maritime de Nantes-Saint-Nazaire



Crédit photo : Mer et Marine © PIRIOU

EVALUATION COMPAREE DES IMPACTS SUR LA MES D'UN DRAGAGE PAR ASPIRATRICE STATIONNAIRE (DAS) ET PAR INJECTION D'EAU (DIE)

EVALUATION COMPAREE PAR MODELISATION NUMERIQUE

RAPPORT FINAL

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



Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire (DAS) et par injection d'eau (DIE)

Modélisation numérique

RAPPORT FINAL

N° 8 71 3791 R2 – Evaluation des impacts d'un dragage par DAS et DIE : Modélisation numérique

Version	Description	Rédaction	Vérfié	Approuvé	Date
4	Prise en compte des corrections du Port	RWR	LHM	LHM	26/03/2018
3	Prise en compte des remarques du Port	RWR	LHM	LHM	28/02/2018
2	Modification des hypothèses et des exploitations	RWR	LHM	LHM	19/12/2017
1	1 ^{ère} diffusion	RWR/LTT			12/06/2017

SOMMAIRE

OBJET DE L'ETUDE	1
SYNTHESE ET CONCLUSIONS	3
1. MODELE UTILISE	5
1.1. DESCRIPTION DU MODELE	5
1.2. MODIFICATIONS APPORTEES AU MODELE DE BASE	7
2. ANALYSE DES DONNEES DISPONIBLES	9
2.1. DRAGAGE PAR ASPIRATRICE STATIONNAIRE	9
2.1.1. ANALYSE DE MESURES EXPERIMENTALES EN LABORATOIRE	9
2.1.2. MODELISATION SIMPLE DU CHAMP PROCHE	11
2.2. DRAGAGE PAR INJECTION D'EAU	14
2.2.1. SYNTHESE DES CAMPAGNES DE SUIVI	14
2.2.2. EXPERIENCE EN GIRONDE	16
2.2.3. RE-ANALYSE DES MESURES 2011 DE MES PAR OBS A TRENTEMOULT	17
2.2.4. MODELISATION DE L'EXPERIENCE DE DIE DU 19 OCTOBRE 2011 A TRENTEMOULT	19
3. DONNEES D'ENTREE POUR LES SIMULATIONS	23
3.1. SCENARIOS DE DRAGAGE	23
3.1.1. DRAGAGE PAR DIE A DONGES POSTE 6	23
3.1.2. DRAGAGE PAR DAS A DONGES POSTE 6	24
3.1.3. DRAGAGE PAR DIE DE LA ZONE D'EVITAGE DE TRENTEMOULT	25
3.1.4. DRAGAGE PAR DAS DE LA ZONE D'EVITAGE DE TRENTEMOULT	25
3.1.5. RECAPITULATIF DES SCENARIOS DE DRAGAGE	26
3.2. FORÇAGES HYDRO-METEOROLOGIQUES	27
3.2.1. SCENARIOS HYDROMETEOROLOGIQUES RETENUS	27
3.2.2. DETAIL DES FORÇAGES EN MAREE	27
4. EXPLOITATION DES RESULTATS	31
4.1. MODES DE REPRESENTATION DES RESULTATS	31
4.2. RESULTATS AU POSTE DONGES 6	32
4.3. ZONE D'EVITAGE DE TRENTEMOULT	35
4.4. COMPARAISON AU MILIEU NATUREL	36
4.4.1. CONCENTRATIONS EN MES DANS LE MILIEU NATUREL	36
4.4.2. EXTENSION DES IMPACTS PAR RAPPORT AU MILIEU NATUREL	38
4.4.3. TEMPS DE DEPASSEMENT DES IMPACTS PAR RAPPORT AU MILIEU NATUREL AU POINT DE REJET	40

**Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire
(DAS) et par injection d'eau (DIE)**

Modélisation numérique

RAPPORT FINAL

REFERENCES	43
ANNEXES	45

TABLEAUX

Tableau 1 – Expérimentations et suivis environnementaux réalisés entre 2006 et 2011.....	15
Tableau 3 – Donges6 : Récapitulatif des maximums ponctuels calculés et des temps de passage sous le seuil de 20 mg/l.....	33
Tableau 4 – Donges6 : Récapitulatif des temps de dépassement sur 15 jours à différents seuils de concentration	34
Tableau 5 – ZE Trentemoult : Récapitulatif des maximums ponctuels calculés et des temps de passage sous le seuil de 20 mg/l.....	35
Tableau 6 – ZE Trentemoult : Récapitulatif des temps de dépassement sur 15 jours à différents seuils de concentration	35
Tableau 7 – Donges 6 : Comparaison des impacts DAS et DIE aux extensions de panache du bouchon vaseux et de crème de vase.....	38
Tableau 8 – ZE Trentemoult : Comparaison des impacts DAS et DIE aux extensions de panache du bouchon vaseux et de crème de vase.....	39
Tableau 10 – Trentemoult : Pourcentage de mesures par gamme de concentration pour différentes classes de débit et de marnage (GIP Loire estuaire, 2014)	40
Tableau 12 – Trentemoult : Comparaison des temps de dépassement du seuil de 0,1g/l entre le milieu naturel, un dragage par DAS et un dragage par DIE	40
Tableau 9 – Donges : Pourcentage de mesures par gamme de concentration pour différentes classes de débit et de marnage (GIP Loire estuaire, 2014)	41
Tableau 11 – Donges 6 : Comparaison des temps de dépassement du seuil de 0,1g/l entre le milieu naturel, un dragage par DAS et un dragage par DIE	42

FIGURES

Figure 1 : Emprise et bathymétrie du modèle hydro-sédimentaire 3D	5
Figure 2 : Maillage horizontal du modèle hydro-sédimentaire 3D	6
Figure 3 : Maillage vertical du modèle hydro-sédimentaire 3D	6
Figure 4 : Visualisation du maillage.....	7
Figure 5 : photos d'expériences pour des rejets de sub-surface, (Boutin, 2000).....	9
Figure 6 : Conditions initiales des essais de rejet sub-surface, (Boutin, 2000).....	10
Figure 7 : Facteurs d'échelle utilisés pour les expériences (Boutin, 2000)	10
Figure 8 : Rejets de sub-surface, taux de vase déposé pour différentes conditions (Boutin, 2000), le facteur d'échelle sur la vitesse est 1/5.....	11
Figure 9 : type de rejet simulé par le logiciel Cormix.....	12
Figure 10 : Epaisseur de la couche de la mixture au sol en fonction de la hauteur d'eau et du courant ambiant.....	13
Figure 11 : Pourcentage que représente l'épaisseur de la couche de mixture au sol par rapport à la hauteur d'eau en fonction du courant ambiant	13
Figure 12 : Mesures de MES lors des expériences de DIE à Bellerive.....	17
Figure 13 : profils verticaux calculés aux abords d'un point dragué par DIE et 200m à l'aval.....	17
Figure 14 : Mesures de MES lors des expériences sur la ZE de Trentemoult le 19/10/2010.....	18
Figure 15 : Mesures de MES lors des expériences sur la ZE de Trentemoult le 19/10/2010.....	18
Figure 16 : Mesures de MES lors des expériences sur la ZE de Trentemoult le 19/10/2010.....	19
Figure 17 : Modélisation de l'expérience de DIE sur la ZE de Trentemoult le 19/10/2010, MES et crème de vase à la fin de l'opération	20

Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire (DAS) et par injection d'eau (DIE)

Modélisation numérique

RAPPORT FINAL

Figure 18 : Modélisation de l'expérience de DIE sur la ZE de Trentemoult le 19/10/2010, MES et crème de vase à la fin jusant suivant l'opération de dragage	20
Figure 19 : Modélisation de l'expérience de DIE sur la ZE de Trentemoult le 19/10/2010 : MES entre PM et PM+12h au pk51, 52, 53	21
Figure 20 : Position XY du point de remise en suspension par DIE au poste 6.....	23
Figure 21 : Position Z du point de remise en suspension par DIE au poste 6	23
Figure 22 : Position XY du point de remise en suspension par DAS au poste 6	24
Figure 23 : Position Z des points de remise en suspension par DAS au poste 6	24
Figure 24 : Position XY du point de remise en suspension par DIE au niveau de la ZE de Trentemoult.....	25
Figure 25 : Position Z du point de remise en suspension par DIE au niveau de la ZE de Trentemoult.....	25
Figure 26 : Position XY du point de remise en suspension par DAS au niveau de la ZE de Trentemoult	26
Figure 27 : Position Z du point de remise en suspension par DAS au poste 6.....	26
Figure 28 : périodes de simulation pour un dragage par DAS en morte-eau.....	28
Figure 29 : périodes de simulation pour un dragage par DIE en morte-eau	28
Figure 30 : périodes de simulation pour un dragage par DAS en vive-eau	29
Figure 31 : périodes de simulation pour un dragage par DIE en vive-eau.....	29
Figure 32 : Définition des différentes classes de concentration de la mase turbide (GIP Loire Estuaire, 2014)	36
Figure 33 : Localisation la plus fréquente du bouchon vaseux en surface en fonction du débit (GIP Loire Estuaire, 2014)	37
Figure 34 : Pourcentages de mesures par gamme de concentration pour différentes classes de débit (GIP Loire estuaire, 2014).....	37

OBJET DE L'ETUDE

Le Grand Port Maritime de Nantes-Saint-Nazaire réalise depuis plus de 10 ans des études hydrosédimentaires dont les résultats alimentent le contenu des dossiers réglementaires pour les procédures d'autorisation des opérations de dragage d'entretien dans l'estuaire de la Loire.

Ces dragages font traditionnellement intervenir d'une part une drague aspiratrice stationnaire (DAS) pour l'entretien des installations portuaires (souilles, darses, cercles d'évitage) et d'autre part une drague aspiratrice en marche (DAM) pour l'entretien du chenal.

Entre 2006 et 2011 le Port a expérimenté la technique de dragage à injection d'eau (DIE) en complément au dragage par l'aspiratrice stationnaire. Depuis l'arrêté d'autorisation en 2013, le GPMNSN pratique régulièrement le DIE dans la section amont de l'estuaire, le chenal de Nantes, ainsi que dans le chenal et les souilles de Montoir-Donges. L'utilisation de la DIE a donc crû ces dernières années alors que celle de la drague aspiratrice stationnaire (DAS) diminue.

Ce changement de pratique nécessite une évaluation comparative de l'impact de ces deux pratiques sur les teneurs en matières en suspension (MES) dans l'estuaire.

Pour répondre à cette question, le Port a commandé à ARTELIA une étude basée sur le développement d'une méthode numérique permettant d'évaluer de manière comparative l'impact de chacune de ces techniques sur la MES locale à court-terme.

L'approche méthodologique se décompose en trois tâches :

- Tâche 1 : analyse quantitative des dragages par DAS et DIE
- Tâche 2 : construction et mise au point d'une modélisation numérique
- Tâche 3 : simulation de différents scénarios.

Un premier rapport a rendu compte de l'analyse quantitative des dragages (tâche 1).

Le présent rapport détaille les résultats des simulations numériques effectuées (tâches 2 et 3).

**Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire
(DAS) et par injection d'eau (DIE)**

Modélisation numérique

RAPPORT FINAL

SYNTHESE ET CONCLUSIONS

Le modèle hydrosédimentaire 3D « vase » opérationnel, élaboré par Artelia pour le compte du GIP Loire Estuaire dans le but de tester des scénarios de restauration de l'estuaire à grande échelle a été employé ici. Il permet de décrire à une échelle globale les écoulements et les transferts particuliers. Il est basé sur le logiciel Telemac3D développé par EDF-DRD. L'emprise modélisée s'étend d'Ancenis (point kilométrique 90 en partant de Saint-Nazaire) à 40km des côtes au large. Il tient notamment compte des zones submersibles latérales à l'aval du Pellerin.

Un tel modèle est donc tout à fait adapté à l'objet de l'étude et sa mise en œuvre avec un maillage raffiné dans le chenal de navigation (chapitre 1) a permis d'évaluer l'impact d'une pratique de dragage DAS par rapport à une pratique DIE sur deux chantiers, à l'aval (Donges 6) et à l'amont (Z.E. Trentemoult) de l'estuaire, en prenant en compte la variabilité des conditions hydrométéorologiques. Ces calculs ont été effectués en eau claire (sans la présence du bouchon vaseux) de façon à bien identifier l'impact de ces opérations.

Il a d'abord été calé par rapport à un ensemble de mesures disponibles ce qui a conduit à mettre en œuvre une modélisation spécifique séparée du champ proche dont les résultats ont ensuite été introduits en conditions aux limites dans le modèle de l'estuaire.

Quatre scénarios de dragages ont ensuite été mis en place en reprenant les conclusions du rapport « Analyse quantitative des pratiques ».

Secteur	Pratique	Masse de vase rejetée	Débit solide du rejet	Nb heures de chantier (h)
Donges Poste 6	DIE	31266 t	2605 t/h	12h
Donges Poste 6	DAS	34 680 t	581 t /h	96 h (dont 60h effective)
ZE Trentemoult	DIE	26128 t	2605 t/h	10h
ZE Trentemoult	DAS	34 680 t	581 t /h	96 h (dont 60h effective)

Un de objectifs des simulations était de mieux appréhender l'effet du coefficient de marée et du débit de la Loire sur l'impact des opérations de dragage. Pour cela, nous avons retenu pour l'aval deux situations de marée (vive-eau et morte-eau) contrastées, combinées à trois débits du fleuve (300, 800 et 2000 m³/s), soit un total de 6 scénarios hydrométéo. A l'amont, les opérations d'entretien s'effectuent uniquement en étiage lorsque le bouchon vaseux est présent. Deux scénarios seulement ont donc été simulés (VE et ME) pour un seul débit de la Loire de 300 m³/s.

Opération de dragage au niveau de Donges 6 :

En morte-eau, la différence de pratique DIE ou DAS conduit à des impacts similaires. En effet, les forces hydrodynamiques étant peu importantes pour ces marées, le dragage par injection d'eau va se déposer en partie sous forme de crème de vase liquide dans le chenal de navigation au lieu de se disperser en suspension. Celle-ci sera reprise quelques jours plus tard par les conditions de vive-eau. Du coup, les reprises et la dispersion se font sur un peu plus de 8 jours comme lors d'un dragage par aspiratrice stationnaire.

Le temps nécessaire pour la concentration moyenne pour passer sous le seuil des 20mg/l est d'environ 9,5 jours (228 heures) assez similaire quel que soit le débit du fleuve et le type de pratique. Le débit a donc peu d'importance sur le temps de dispersion.

Par contre, l'extension spatiale des enveloppes de maximum de concentration diminue et se déplace de l'amont vers l'aval lorsque les débits augmentent. Ceci est cohérent avec la dynamique estuarienne qui a tendance à importer du sédiment vers l'amont par faible débit et à concentrer le sédiment vers l'aval (qui est le lieu de dragage étudié) par fort débit.

Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire (DAS) et par injection d'eau (DIE)
Modélisation numérique
RAPPORT FINAL

En vive-eau, la majeure partie du sédiment remobilisé en DIE peut être directement reprise en suspension par les conditions hydrodynamiques dans les premiers jours, ce qui fait que la concentration moyenne ne met que 3 à 4 jours (72h à 96h) pour passer sous le seuil de 20mg/l au lieu de 9,5 jours (228h) en pratique DAS. En contrepartie, l'enveloppe des concentrations maximales et les valeurs de concentrations maximales sont plus importantes.

Si l'on compare ces résultats aux conditions du milieu ambiant mesurées par le réseau SYVEL et analysées par le GIP Loire estuaire, on constate que l'emprise de l'impact des dragages par DAS et DIE sera le plus décalé vis-à-vis des conditions naturelles dans les conditions de faible débit et morte-eau, car dans ces conditions le bouchon vaseux se trouve assez amont alors que la source des remises en suspension issues du dragage, se situera en aval. Cependant, les calculs de temps de dépassement montrent que les concentrations aux points de rejets sont dans des gammes inférieures ou équivalentes à celles mesurées dans le milieu ambiant, pour les deux pratiques et quelles que soient les conditions hydrométéorologiques étudiées.

DONGES poste 6	ME (% temps > 0,1g/l)	VE (% temps > 0,1g/l)
	MILIEU NATUREL / DAS / DIE	MILIEU NATUREL / DAS / DIE
Q = 300 m ³ /s	30% / 28 % / 23%	90% / 18% / 11%
Q = 800 m ³ /s	50% / 31% / 18%	90% / 21% / 12%
Q = 2000 m ³ /s	60% / 31% / 12%	100% / 26% / 12%

Opération de dragage au niveau de Trentemoult :

A l'amont, la marée a très peu d'influence sur l'impact de la pratique de la DAS. Les enveloppes des concentrations maximales sont assez similaires et les temps nécessaires pour que la concentration moyenne passe sous les 20 mg/l sont aussi très peu différents : 9,5 jours (228h) en morte-eau contre 9 jours (216 h) en vive- eau.

Effectuer une opération de dragage par DIE pendant une période de vive-eau permet de disperser plus rapidement les rejets dans l'estuaire : 3,5 jours (84h) pour passer sous le seuil de 20mg/l au lieu de 7 jours (168h) en morte-eau. En contrepartie, l'enveloppe des concentrations maximales et les concentrations maximales sont plus importantes en vive-eau.

Par rapport au milieu ambiant, la zone d'impact de chaque pratique se trouve toujours dans la gamme de concentration équivalente ou inférieure au milieu naturel. Les calculs de temps de dépassement montrent de même que les impacts aux points de rejets sont dans des gammes équivalentes ou inférieures à celles mesurées dans le milieu ambiant, à l'exception du cas d'un entretien par DAS pour un débit de 300 m³/s en morte-eau, où les concentrations au point de rejet peuvent dépasser plus souvent 0,1g/l que dans le milieu naturel (80% contre 50%).

TRENTEMOULT	ME (% temps > 0,1g/l)	VE (% temps > 0,1g/l)
	MILIEU NATUREL / DAS / DIE	MILIEU NATUREL / DAS / DIE
Q = 300 m ³ /s	50% / 80 % / 46%	90% / 71% / 27%

1. MODELE UTILISE

1.1. DESCRIPTION DU MODELE

Le modèle hydro-sédimentaire 3D « vase » opérationnel, élaboré par Artelia pour le compte du GIP Loire Estuaire avait pour but de tester les scénarios d'aménagements à grande échelle du fleuve dans le cadre du programme Interrégional Loire Grandeur Nature. Il a été employé pour l'évaluation de scénarios de restauration de l'estuaire en permettant de décrire à une échelle globale les écoulements et les transferts particuliers.

Le modèle développé est basé sur le logiciel Telemac3D développé par EDF-DRD. L'emprise modélisée s'étend d'Ancenis (point kilométrique 90 en partant de Saint-Nazaire) à 40km des côtes au large. Il tient notamment compte des zones submersibles latérales à l'aval du Pellerin.



Figure 1 : Emprise et bathymétrie du modèle hydro-sédimentaire 3D

Le maillage horizontal est composé de 7100 nœuds avec une taille de maille variant de 2,5 km au large à 200 et 50 m dans la Loire.

Le maillage vertical (Figure 3) est composé de 16 plans avec une stratégie de plans fixes (en rouge sur la figure) et de plans « sigma » (en noir) pour obtenir un raffinement près du fond (2 à 5 plans ayant une taille de 0,25m pour capter les gradients de courant, de salinité et de MES) et près de la surface pour intégrer proprement les effets du vent.

Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire (DAS) et par injection d'eau (DIE)

Modélisation numérique

RAPPORT FINAL

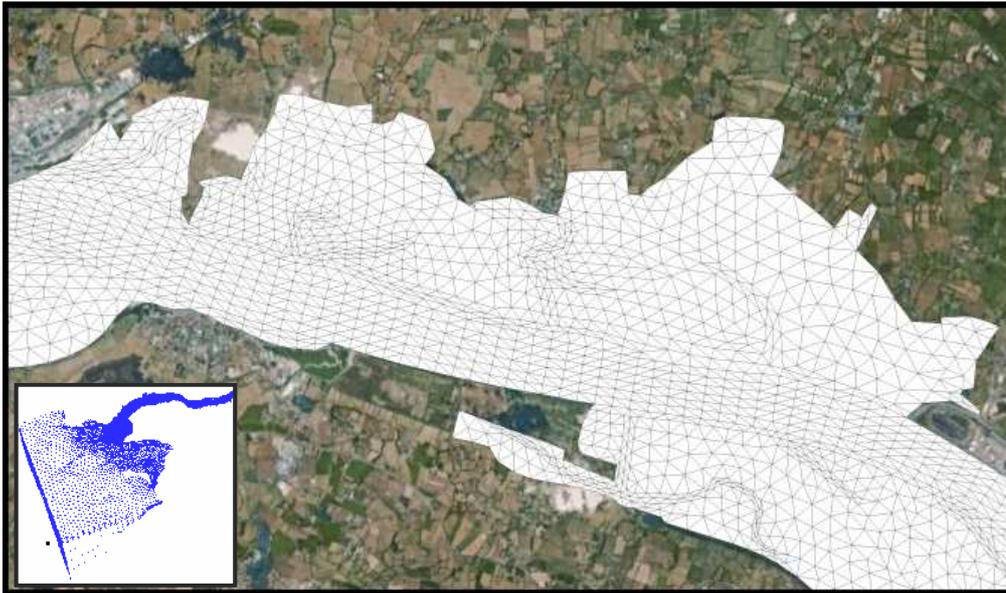


Figure 2 : Maillage horizontal du modèle hydro-sédimentaire 3D

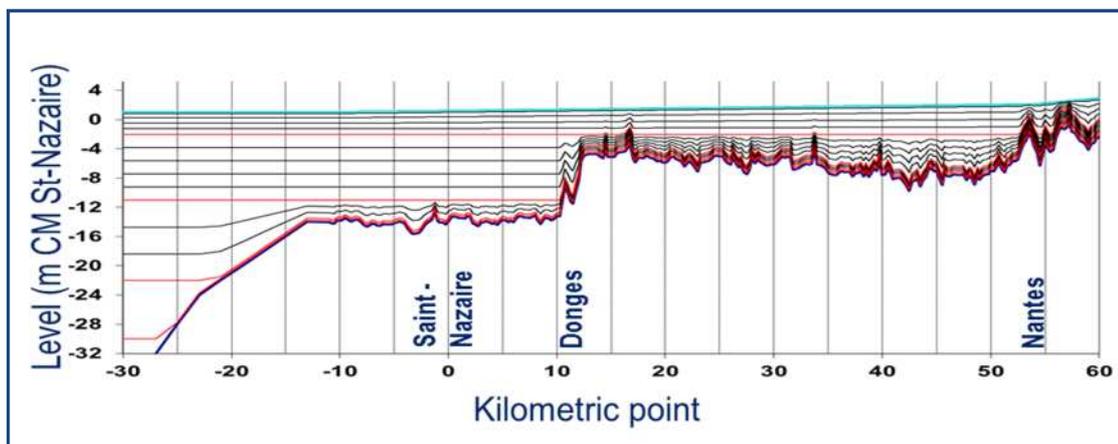


Figure 3 : Maillage vertical du modèle hydro-sédimentaire 3D

Le modèle est forcé par le débit journalier de la Loire, la variation du niveau de marée astronomique, la variation des niveaux moyens due aux conditions météorologiques, les conditions de vagues et de vent. Il a été calibré et validé dans l'estuaire interne (Walther et al., 2012) en niveaux, courants, salinité et sédimentologie vaseuse : turbidité et morphologie.

Ce modèle inclut particulièrement :

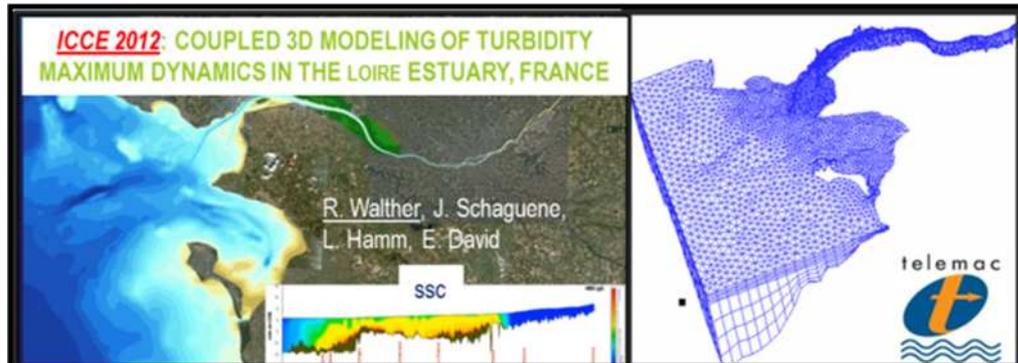
- Une nouvelle loi d'érosion (Sanchez et Levacher, 2008)
- Une nouvelle loi de consolidation (Sanchez et al., 2004)
- L'effet du glissement pour les vases liquides
- Un modèle de longueur de mélange multicouche pour le calcul de la turbulence en milieu stratifié (Walther et al., 2009)
- Le couplage de la rugosité du fond avec la crème de vase (Hamm et Walther, 2008)

Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire (DAS) et par injection d'eau (DIE)

Modélisation numérique

RAPPORT FINAL

Il est capable de reproduire une année complète de dynamique de bouchon vaseux, en incluant l'expulsion de celui-ci par une forte crue et la reconstitution d'un bouchon vaseux dans l'estuaire interne par la suite. (Walther et al., 2012)



1.2. MODIFICATIONS APPORTEES AU MODELE DE BASE

Afin de représenter correctement la dispersion et le dépôt des sédiments lors des phases de dragage – rejet, **le modèle de base a été raffiné localement** dans le chenal de navigation entre le pk -1 et le pk 63 avec une taille de maille de 30 à 100 m sur l'ensemble de cette zone. Le modèle exploité est alors composé de plus de 14800 nœuds sur l'horizontale et de 16 plans sur la verticale.

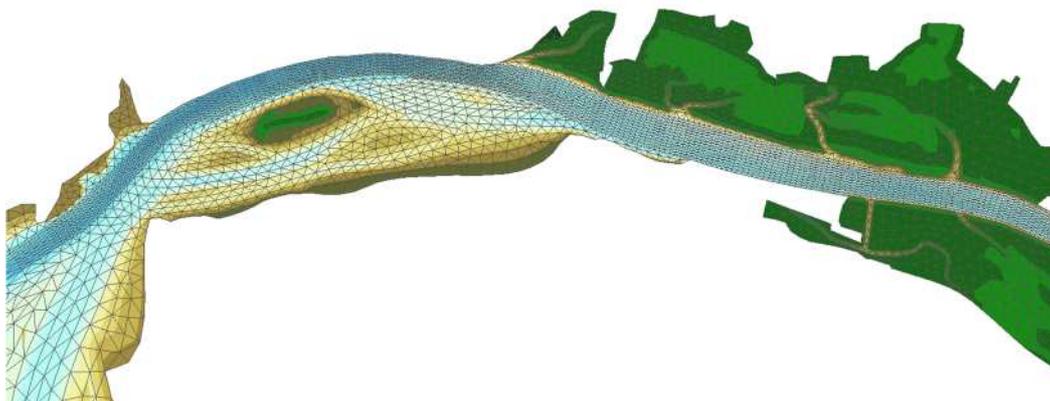
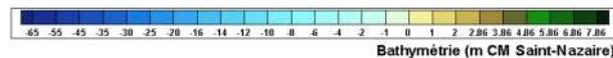


Figure 4 : Visualisation du maillage

D'autre part, **le modèle fonctionne ici en eau claire**. Cela signifie que le remplissage de vase initial qui permet de créer le bouchon vaseux ainsi que les apports amont ne sont pas appliqués dans ce modèle ; Ainsi, seules les remises en suspension de vases dues aux dragages seront simulées. D'autre part, la remise en état des fonds, due au dragage, qui n'est pas le but de l'étude, n'est pas directement simulé. Les concentrations de MES et les épaisseurs de dépôt de vase calculées représentent donc directement l'impact dû à l'effet du dragage.

**Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire
(DAS) et par injection d'eau (DIE)**

Modélisation numérique

RAPPORT FINAL

2. ANALYSE DES DONNEES DISPONIBLES

2.1. DRAGAGE PAR ASPIRATRICE STATIONNAIRE

Le rejet de dragage de la DAS André Gendre, en charge de l'entretien des souilles, s'effectue à la verticale, en sub-surface (-1m sous la surface), dans le chenal de navigation soumis aux courants de marée. Ce jet, de densité plus importante que le milieu ambiant, va évoluer rapidement en descendant la colonne d'eau en fonction du débit, de la densité de la mixture, du courant ambiant et de la hauteur d'eau.

Nous n'avons pas trouvé dans la littérature de mesures in-situ en Loire de suivi de l'impact sur les matières en suspension (MES) d'un dragage par aspiratrice stationnaire (DAS). De son côté, le Port n'a jamais réalisé de suivi de MES lors d'une opération car il s'agit d'une pratique de dragage bien établie dans l'estuaire de la Loire. Ce type de rejet est d'ailleurs peu suivi en termes de mesures dans les autres estuaires.

2.1.1. Analyse de mesures expérimentales en laboratoire

Nous avons pu analyser des mesures expérimentales en canal à courant issues de la thèse de doctorat de Boutin (2000). Pour les rejets en sub-surface, ces expériences consistent à rejeter un fluide de concentration 272 g/l ou 194 g/l pendant environ 2 minutes pour des conditions de courant variables. Le rejet se fait à 0,17 cm sous la surface dans une hauteur d'eau de 0,8 m.

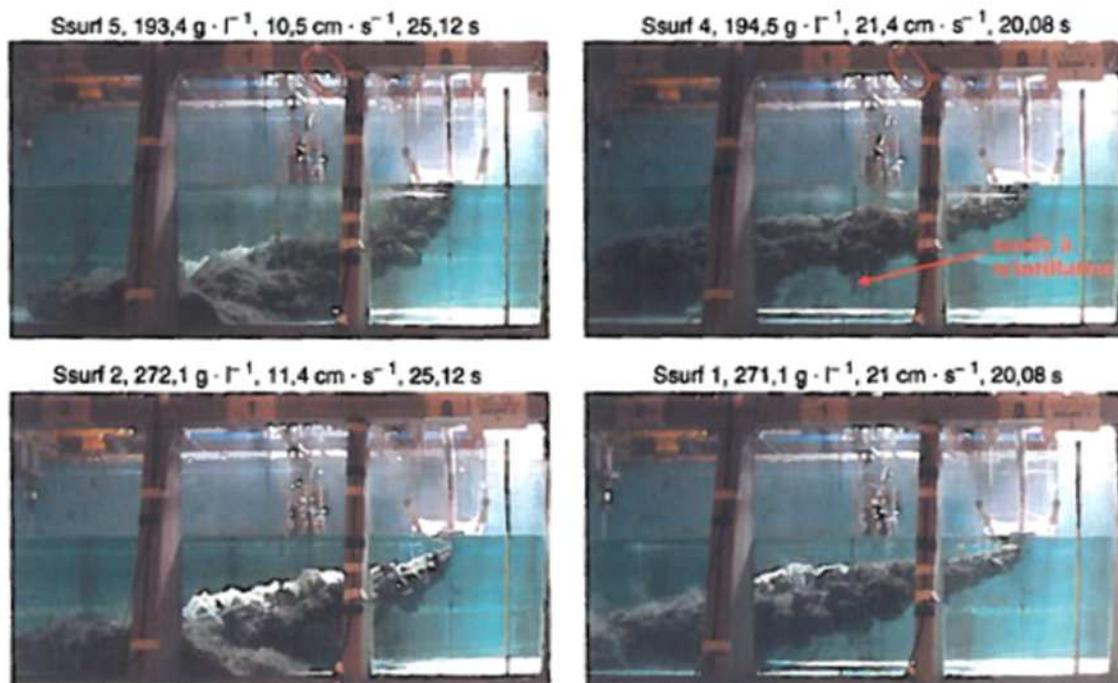


Figure 6.52. Essais ssurf1, ssurf2, ssurf4 et ssurf5, phase initiale de chute, formation du courant de densité au fond.

Figure 5 : photos d'expériences pour des rejets de sub-surface, (Boutin, 2000)

Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire (DAS) et par injection d'eau (DIE)

Modélisation numérique

RAPPORT FINAL

Tableau 6.4. Conditions initiales des essais de rejet continu juste en dessous de la surface libre

N° d'essai	Concentration du rejet ($\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	Volume rejeté dans le canal (l)	Masse volumique totale humide ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	Durée du rejet (min. : s)	Vitesse du courant ($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)
ssub1	193,9 ± 3,5	44,7 ± 0,6	1 121 ± 7	01:54	6
ssub2	193,7 ± 3,5	44,7 ± 0,6	1 121 ± 7	01:53	10,6
ssub3	193,9 ± 3,5	44,7 ± 0,6	1 121 ± 7	01:55	20,7
ssub4	272,1 ± 6,0	44,7 ± 0,8	1 169 ± 11	02:06	10,2
ssub5	272,6 ± 6,0	44,5 ± 0,8	1 170 ± 11	01:55	21,1
ssub6	273,3 ± 6,0	44,6 ± 0,8	1 170 ± 11	02:14	6,6
ssub7	271,8 ± 5,9	44,7 ± 0,8	1 169 ± 11		0
ssub8	192,2 ± 3,5	44,9 ± 0,6	1 120 ± 7	02:04	0
ssub9	273,8 ± 6,0	44,8 ± 0,8	1 171 ± 11	01:53	11,5

Figure 6 : Conditions initiales des essais de rejet sub-surface, (Boutin, 2000)

Les facteurs d'échelle retenus pour ces expériences sont :

Tableau 5.1. Facteurs d'échelle	
Grandeur	Facteur d'échelle
Longueur	1/25
Surface	1/625
Volume	1/15 625
Temps	1/5
Débit	1/3 125
Vitesse	1/5
Concentration	1*

(*) Ce facteur est appliqué pour la concentration initiale du rejet.

Figure 7 : Facteurs d'échelle utilisés pour les expériences (Boutin, 2000)

Ces expériences montrent que le rejet, qui est plus dense que le milieu naturel, se dirige vers le fond, et peut se retrouver en partie ou quasi-totalement sous forme de dépôt en fonction des conditions hydrodynamiques du milieu dans lequel il est rejeté.

Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire (DAS) et par injection d'eau (DIE)

Modélisation numérique

RAPPORT FINAL

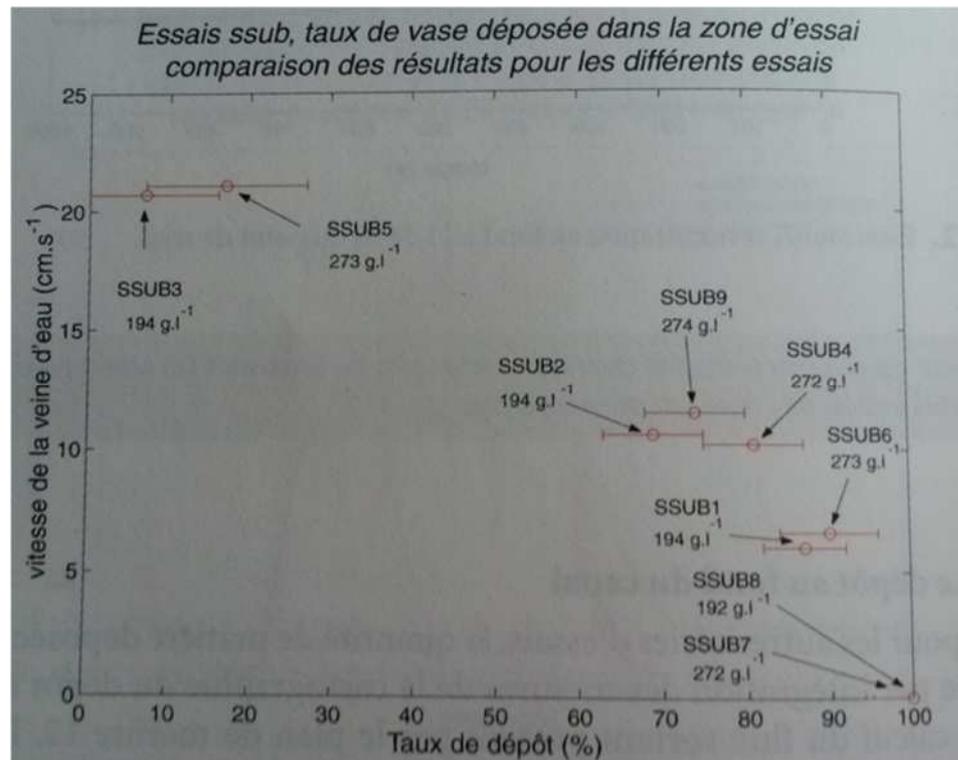


Figure 8 : Rejets de sub-surface, taux de vase déposée pour différentes conditions (Boutin, 2000), le facteur d'échelle sur la vitesse est 1/5

Il n'a pas été possible d'extraire les hypothèses de champ proche de ces expériences (% de vase déposée et % de vase en suspension en fonction de la vitesse du courant ambiant) car les facteurs d'échelle qui ont été choisis pour reproduire au mieux les comportements généraux des fluides denses conduisent à un facteur d'échelle 1/10 pour la contrainte hydrodynamique de cisaillement du fond alors que le sédiment utilisé est de la vase naturelle avec un facteur d'échelle 1/1.

Le seuil de quasi-non déposition à partir de 15 cm/s peut donc simplement correspondre au seuil de contrainte critique du sédiment dans ce cas, alors que la contrainte hydrodynamique n'est en fait qu'un dixième de celle retranscrite à l'échelle réelle. Il est donc difficile d'extraire un champ proche précis de ces expériences.

2.1.2. Modélisation simple du champ proche

Le champ proche d'une telle pratique n'ayant pas fait l'objet de mesures spécifiques, nous l'avons appréhendé à l'aide d'une modélisation numérique locale simplifiée via le logiciel CORMIX. Ce logiciel a été développé par l'Université de Cornell, USA. Il est maintenu et mis à jour par l'Office of Science and Technology, U.S. Environmental Protection Agency.

Il calcule la dilution d'un fluide émis, sous forme de jet (ou de panache), dans un fluide récepteur de densité différente. Le milieu récepteur peut être immobile ou soumis à des courants ambiants. Il est aussi possible de tenir compte de stratifications thermiques et salines et donc densimétriques des eaux marines.

Il intègre les équations de continuité, de quantité de mouvement et de flux de flottabilité, en supposant une répartition asymétrique gaussienne des vitesses et concentrations moyennes. En présence d'un courant ambiant, ce programme tient compte d'une force de traînée exercée par l'écoulement du milieu récepteur sur le jet et d'une loi d'entraînement d'eau modifiée. Les conditions initiales sont prises à la sortie de la zone d'établissement de l'écoulement (zone de

Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire (DAS) et par injection d'eau (DIE)
Modélisation numérique
 RAPPORT FINAL

transition) et les équations sont résolues par une méthode classique de résolution des équations différentielles.

Nous avons utilisé ce logiciel pour simuler les conditions suivantes:

Caractéristiques du rejet simulé :

- Débit : 0.972 m³/s
- Densité rejet : 1128 kg/m³
- Concentration rejet : 166 kg/m³

Caractéristiques du milieu ambiant simulé :

AVAL (Donges) :

- Hauteur d'eau : 13m, 16m, 22m
- Vitesses : 0.1m/s, 0.5m/s, 1m/s, 1.5 m/s

AMONT (Z.E. Trentemoult) :

- Hauteur d'eau : 7m, 10m, 13m
- Vitesses : 0.1m/s, 0.5m/s, 1m/s, 1.5 m/s

Dans tous les cas, le logiciel calcule un jet plongeant de type NH1 ou NH2 (figure 9) venant percuter le sol entre 8 et 108 m de la position de rejet.

Quelle que soit la hauteur d'eau simulée, le jet est de type NH1 lorsque la vitesse du courant ambiant est de 1.5 m/s, c'est-à-dire que la mixture ne remonte pas le courant ambiant, ce qui n'est pas le cas des autres simulations. Cette couche au sol est une mixture diluée du jet initial ayant une épaisseur et une largeur (en milieu non confiné)

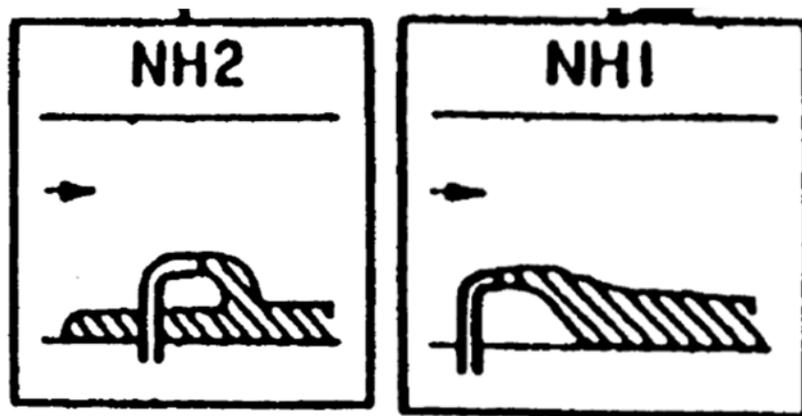


Figure 9 : type de rejet simulé par le logiciel Cormix

Il est intéressant dans notre cas de récupérer les informations manquantes pour forcer le modèle 3D en sortie de champ proche. Le flux de sédiment est fourni, mais pas la répartition sur la verticale de la mixture en sortie de champ proche. On peut considérer dans ce type de jet, que le champ proche s'arrête à partir du moment où le jet a impacté le sol pour former une couche de mixture. L'épaisseur de cette couche est l'information qui nous intéresse pour forcer le modèle 3D.

Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire (DAS) et par injection d'eau (DIE)

Modélisation numérique

RAPPORT FINAL

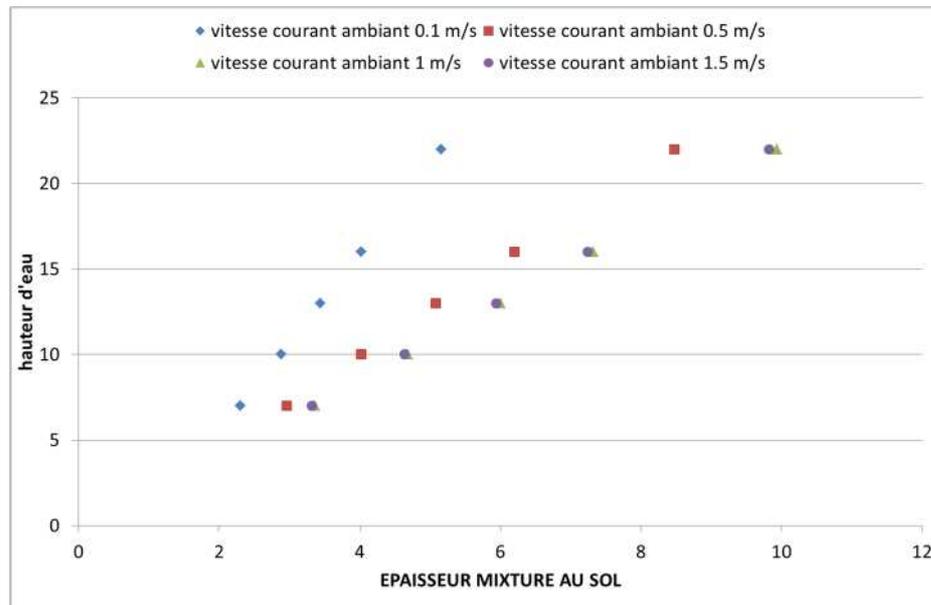


Figure 10 : Epaisseur de la couche de la mixture au sol en fonction de la hauteur d'eau et du courant ambiant

On voit sur ce graphique précédent que l'épaisseur augmente avec la hauteur d'eau et avec la vitesse du courant ambiant, due au mélange plus important (ce qui implique que la dilution est plus forte aussi, mais cela n'est pas représenté dans ce graphique). On voit cependant, une saturation de l'épaisseur à partir de 1m/s qui est compensée par un étalement latéral (ce qui n'est pas représenté dans ce graphique non plus).

Si l'on trace le % que représente l'épaisseur de la couche de mixture au sol par rapport à la hauteur d'eau alors on obtient le graphique suivant :

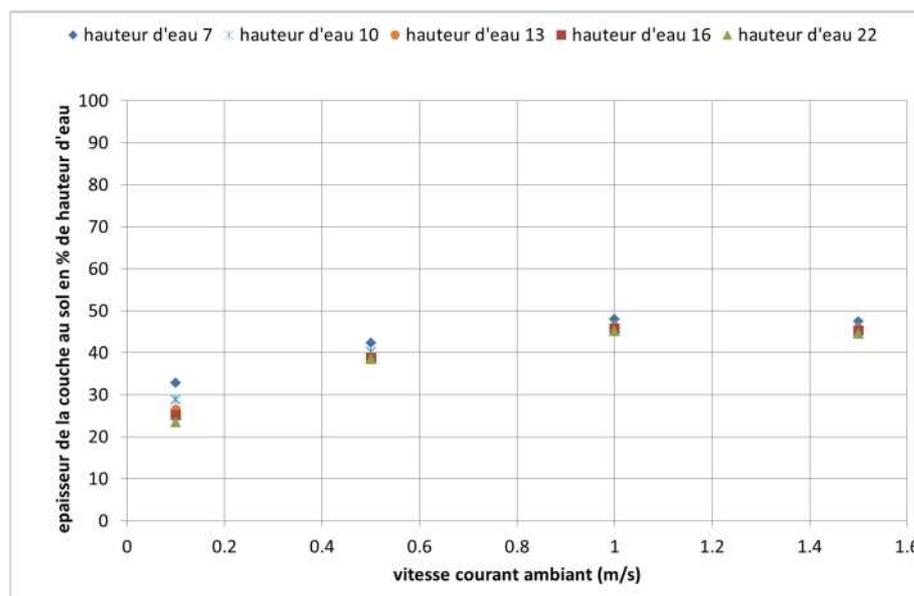


Figure 11 : Pourcentage que représente l'épaisseur de la couche de mixture au sol par rapport à la hauteur d'eau en fonction du courant ambiant

Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire (DAS) et par injection d'eau (DIE)
Modélisation numérique
 RAPPORT FINAL

On voit alors que l'épaisseur de la couche de mixture en sortie de champ proche représente entre 23 et 46 % de la hauteur d'eau suivant les cas.

Nous avons donc choisi, dans le modèle 3D, de rejeter la mixture sur environ 40% de la colonne d'eau. En effet, les cas où les pourcentages sont plus faibles, correspondent à des vitesses de courant faibles pour lesquelles le modèle 3D simulera du dépôt sous forme de crème de vase liquide dès la sortie du rejet.

2.2. DRAGAGE PAR INJECTION D'EAU

2.2.1. Synthèse des campagnes de suivi

Les campagnes expérimentales de dragages par injection d'eau ont été systématiquement accompagnées, entre 2006 et 2012, par un suivi environnemental. Ce suivi portait sur les incidences du DIE sur la qualité de l'eau (MES, oxygène dissous, contaminants, bactériologie) et sur la crème de vase. Ces suivis ont cessé après 2012, suite à ces sept années et à la publication de l'arrêté interpréfectoral autorisant la pratique du DIE dans l'estuaire.

Au cours de la période d'expérimentations (2006-2012), le protocole de suivi a été adapté d'année en année en fonction des résultats de chaque campagne, de façon à optimiser les méthodes et moyens mis en œuvre (Tableau 1).

Les suivis dans le champ proche de dragages (3km en aval du dragage) et sur le court terme (J-1, J0 (dragage) et J+1) n'ont été réalisés que lors d'opérations de dragage **de la zone d'évitage (ZE) de Trentemoult**. On note toutefois une exception: suivi d'une opération de dragage du terminal roulier de Montoir en 2007, mais qui n'a pas permis de relever un impact clair de la DIE.

Les suivis les plus aboutis en termes de mesures ont été réalisés en 2011 et 2012, avec notamment, l'analyse de la MES sur toute la hauteur d'eau par ADCP, et une analyse de la crème de vase par sondeur bi-fréquence. Les principales conclusions sur ces deux paramètres sont reprises ici à partir de l'analyse de la campagne de 2011 (HOCER, 2012), le dragage par DIE ayant été très limité lors de la période de suivi :

« Dans la plupart de ces cas, il reste difficile de conclure de manière certaine à une liaison des anomalies constatées avec les dragages. On peut donc conclure premièrement à un impact limité des dragages sur la colonne d'eau à moyen terme. Ceci est aussi corroboré par la première campagne réalisée par le GPMNSN en 2007, qui ne montrait qu'une modification locale et restreinte des concentrations en MES pendant le dragage. Ces observations ont été confirmées en 2011 par les mesures ADCP dans la colonne d'eau, qui montrent que l'impact n'est perceptible qu'au niveau de la radiale où avait lieu les travaux et la radiale immédiatement en aval. »

« L'anomalie constatée le jour du dragage expérimental (19 octobre) sur la sonde de fond au ponton roulier, en fin de jusant, est cohérente avec les observations par ADCP où, sur les radiales 6 et 7, on note en fin de jusant une élévation de la crème de vase (0,5 m) par rapport à la veille. Cette anomalie de fin de jusant indique a priori un apport de l'amont, si bien qu'elle pourrait correspondre à une perturbation liée au dragage »

Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire (DAS) et par injection d'eau (DIE)

Modélisation numérique

RAPPORT FINAL

Tableau 1 – Expérimentations et suivis environnementaux réalisés entre 2006 et 2011.

Expérimentations			Conditions naturelles observées lors des suivis	Type de suivi réalisé
Date	Lieu du suivi	Engin		
août-06	ZE Trentemoult	Jetsed	Etiage Q=135 m ³ /s Mortes-eaux. C=39 Jusant	<u>Suivi champ proche et court terme</u> Evolution de la turbidité et des MES: NTU (sonde) et MES (prélèvement) à mi-prof. et au fond
août-07	ZE Trentemoult	Jetsed	25/07/2007 - Morte-eau Q=793 m ³ /s 31/08/2007 - Vive-eau Q=613 m ³ /s	<u>Suivi champ proche et court terme</u> Evolution de la turbidité et des MES: NTU (sonde) et MES (prélèvement) à mi-prof. et au fond - Extension du panache turbide - Oxygène dissous
août-07	Terminal roulier Montoir	Jetsed	3/08/2007 - Vive-eau. C=91 - Q=454 m ³ /s.	<u>Suivi champ proche et court terme</u> Evolution de la turbidité et des MES: NTU (sonde) et MES (prélèvement) à mi-prof. et au fond - Extension du panache turbide - Oxygène dissous
août à sept-08	Secteur Baracons	Jetsed	Etiage Q=250-300 m ³ /s 10/08/2008 - 27/08/2008 Morte-eau. C=28 Revif-Vive-eau. C=93 Déchet-Morte-eau. C=42	<u>Suivi champ lointain et moyen terme (7 semaines)</u> Evolution de la turbidité et des MES: NTU (sonde) et MES en surface et à mi-prof.
	ZE Trentemoult	Jetsed	Etiage Q=250-300 m ³ /s 28/08/2008 - 08/09/2008 Revif-Vive-eau. C=101 Déchet-Morte-eau. C=23	
août à sept-09	Sections 6, 7, 8 et 9	Jetsed	Etiage Q=150-300 m ³ /s 22/07/2009 - 15/09/2009	<u>Suivi champ lointain et moyen terme (7 semaines)</u> Evolution de la turbidité : NTU (sonde) à mi-prof.
	Aval : Avant-port Sud SN, TMDC4. Amont : Roche Maurice, Quai Wilson, Cheviré aval 3-4, Terminal sablier	Jetsed		
août-09	ZE Trentemoult	Jetsed	Etiage Q=182 m ³ /s 14/08/2009. C=49.	<u>Suivi champ proche et court terme</u> Evolution de la turbidité: NTU (sonde) à mi-prof. et au fond. Mesures épaisseur de la crème de vase
juil-10	Aval : Section 6 Avant-port Sud SN	Jetsed	Etiage. Q=200-400 m ³ /s. 09/07/2010 - 04/10/2010. Vives-eaux : 112 et 116.	<u>Suivi champ lointain (chenal de Nantes) et moyen terme (7 semaines)</u> Evolution de la turbidité et des MES : NTU (sonde) en surface et à mi-prof. -Quantification crème de vase à
août-10	Médiane : Belle-Ile et Baracons	Jetsed		
août-10	Amont : ZE	Jetsed		

Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire (DAS) et par injection d'eau (DIE)

Modélisation numérique

RAPPORT FINAL

Expérimentations			Conditions naturelles observées lors des suivis	Type de suivi réalisé
Date	Lieu du suivi	Engin		
	Trentemoult Quai Wilson, terminal céréaliier			partir des bandes de sondage.
juil. à nov-11	Aval : Donges, Terminal Charbonnier, Montoir, AV. Port Sud	Milouin	12/07/2011 - 09/11/2011	<u>Suivi champ lointain et moyen terme (7 semaines):</u> évolution de la turbidité : NTU (sonde) à mi-prof.
	Médiane: Baracons, Pellerin			
	Amont : quai Wilson, ZE Trentemoult, Usine Brûlée, Roche Maurice et Terminal Forestier.			
oct-11	ZE Trentemoult	Milouin	Etiage. Q=150 m3/s. 19/10/2011. Morte-eau. C=45. Jusant	<u>Suivi champ proche et court terme</u> ADCP + sondeur bi-fréquence + turbidimètre + capteur OBS + prélèvements => profils verticaux -Quantification crème de vase à partir des bandes de sondage
Aout à Oct. 12	ZE Trentemoult	Milouin	17/08/2012 au 26/10/2012.	<u>Suivi champ proche et moyen terme</u> sondes multiparamétrres (OD, turbidité, salinité, température) au terminal roulier de Cheviré en subsurface et à 3,5m au-dessus du fond. + ADCP+suivi stations SYVEL+analyse des bandes de sondes

2.2.2. Expérience en Gironde

Dans le cadre d'une étude récente pour le compte du Grand Port Maritime de Bordeaux, nous avons effectué sur l'estuaire de la Gironde une modélisation de la pratique DIE que nous avons comparée à une expérimentation au niveau de Bellerive pour laquelle des mesures et suivis ont été réalisés. Des levés bathymétriques ont été conduits avant et après le chantier de dragage afin d'en évaluer l'efficacité. Des mesures de courant et de turbidité ont été réalisées, complétées par des mesures de MES par prélèvement.

Les profils verticaux de MES donnent des concentrations maximales d'environ 12g/l au fond puis on obtient une décroissance rapide de la concentration jusqu'à la surface. On notera d'abord que les mesures de turbidité (OBS, ACP) ont saturé à environ 6 g/l sur une épaisseur de 2 à 3m au-dessus du fond. On notera ensuite les mesures comprises entre 1 et 2 g/l à la surface qui peuvent s'expliquer par la présence du bouchon vaseux dans ce secteur.

Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire (DAS) et par injection d'eau (DIE)

Modélisation numérique
RAPPORT FINAL

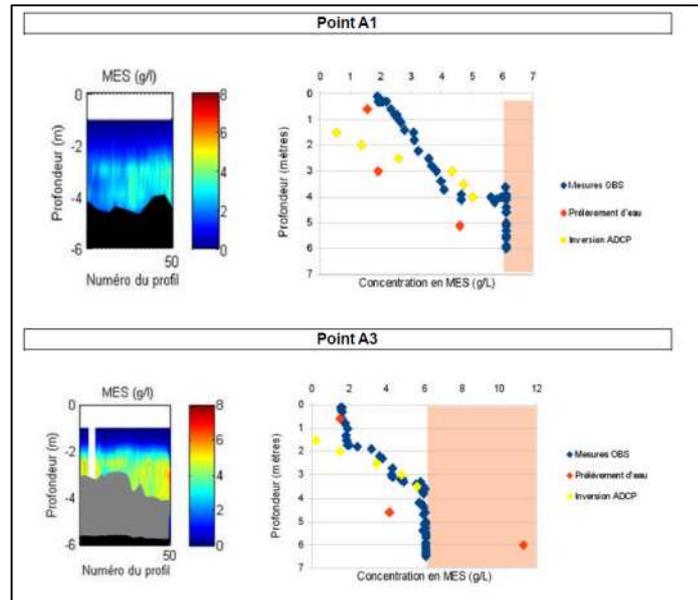


Figure 12 : Mesures de MES lors des expériences de DIE à Bellerive

L'opération a été simulée numériquement par un débit de masse en sédiment qui est rejetée en un point source à 0,5m au-dessus du fond. Les figures ci-dessous présentent les résultats du calcul. Il s'agit de profils verticaux de MES au niveau du dragage par injection d'eau et 200 m à l'aval

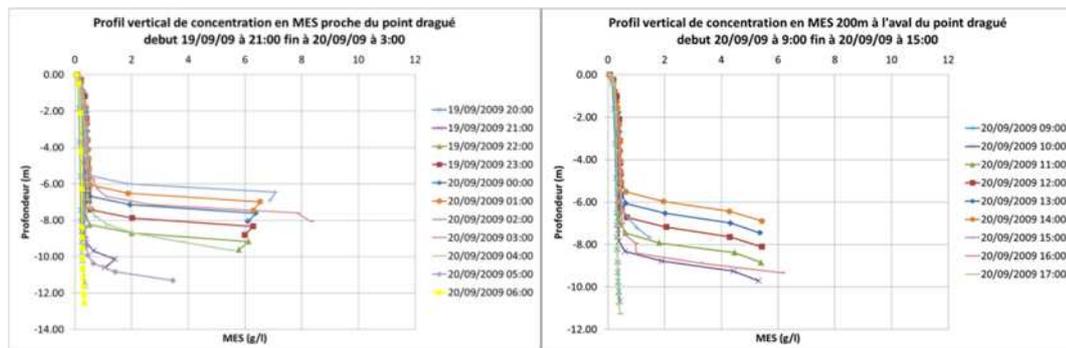


Figure 13 : profils verticaux calculés aux abords d'un point dragué par DIE et 200m à l'aval

2.2.3. Ré-analyse des mesures 2011 de MES par OBS à Trentemoult

Nous avons voulu ré-analyser les mesures réalisées pour le GPM par HOCER avec des échelles non-logarithmiques, afin d'évaluer si nous pouvions mieux estimer un impact de la DIE sur la MES dans la colonne d'eau dans l'échelle de concentration attendue (2 à 20 g/l). La problématique étant bien sûr qu'à la période des mesures, le bouchon vaseux transite par la zone draguée et qu'il est donc difficile de dissocier un impact de dragage de concentrations ambiantes déjà importantes.

Sur la journée du 19 octobre 2011, (cf 45-41, $Q=149\text{m}^3/\text{s}$), le dragage sur la zone d'évitage de Trentemoult s'est effectué par DIE de PM+0h55 à PM+8h45.

Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire (DAS) et par injection d'eau (DIE)

Modélisation numérique
RAPPORT FINAL

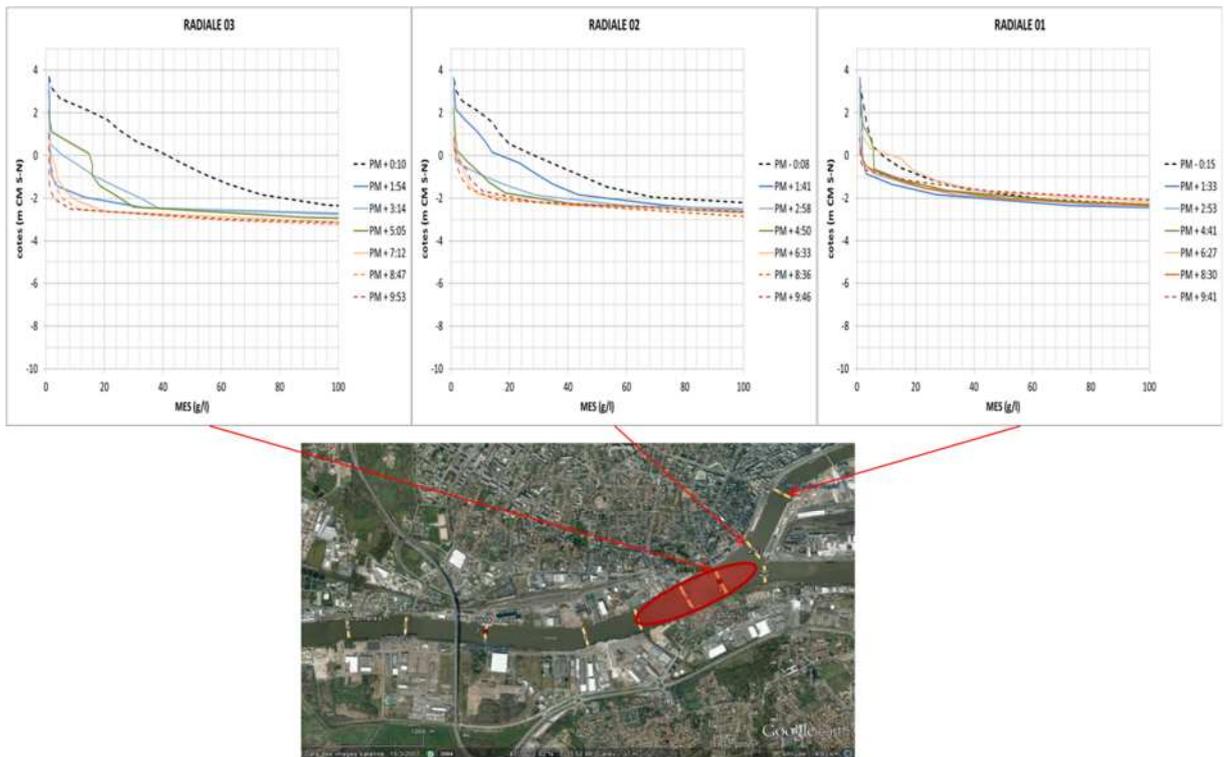


Figure 14 : Mesures de MES lors des expériences sur la ZE de Trentemoult le 19/10/2010

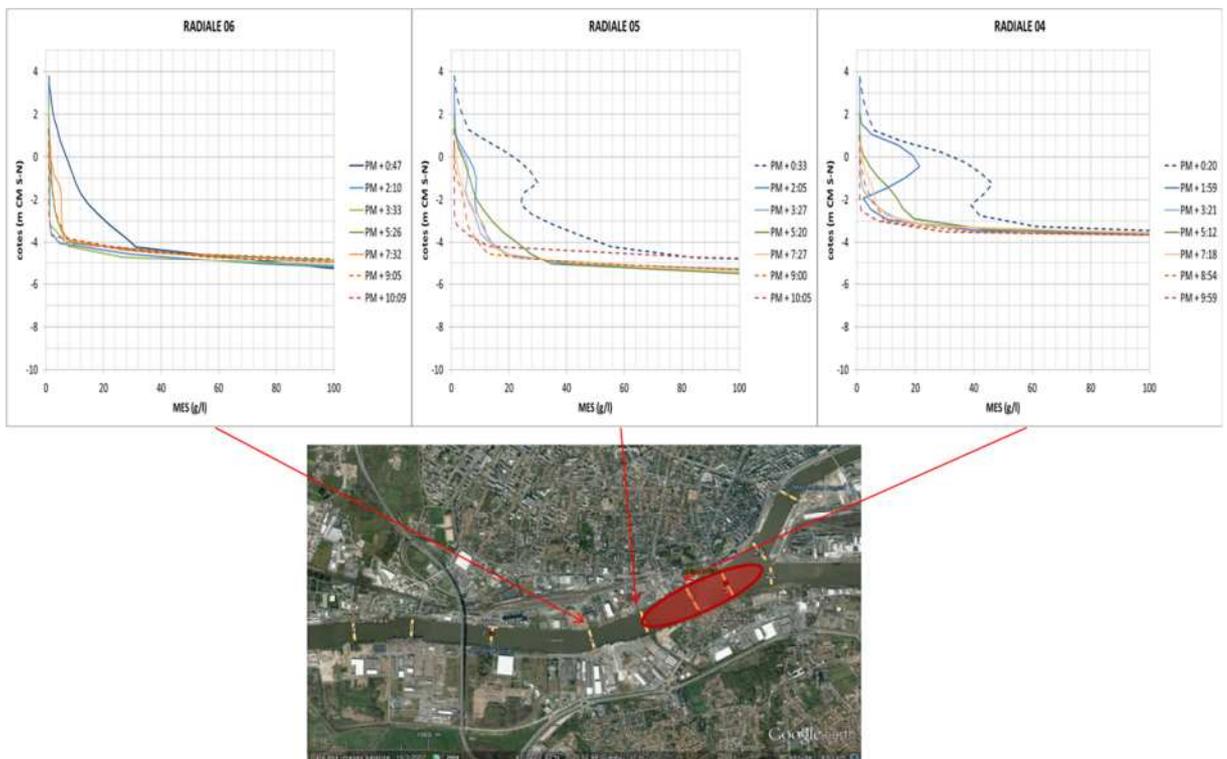


Figure 15 : Mesures de MES lors des expériences sur la ZE de Trentemoult le 19/10/2010

Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire (DAS) et par injection d'eau (DIE)

Modélisation numérique

RAPPORT FINAL

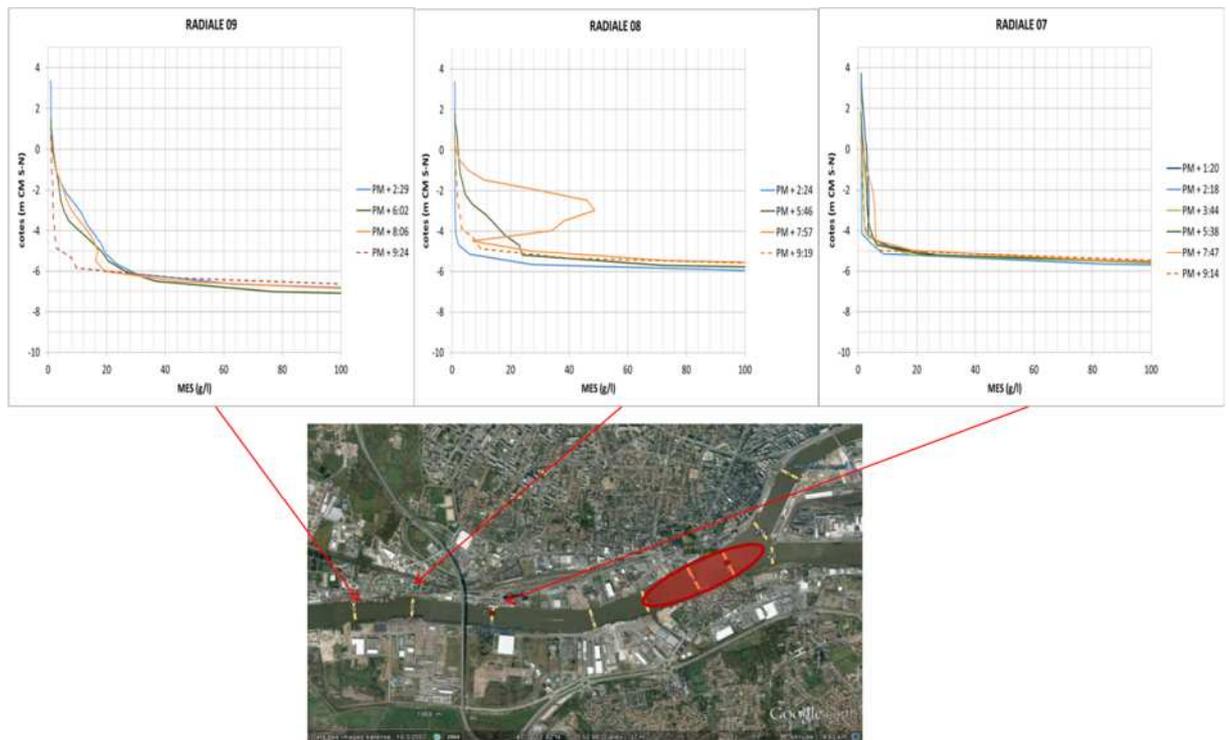


Figure 16 : Mesures de MES lors des expériences sur la ZE de Trentemoult le 19/10/2010

Les mesures montrent que les courbes en tirets qui sont hors période de dragage (et notamment avant la période de dragage pour les radiales 1 à 5) donnent des concentrations en MES bien plus importantes que pendant la période de dragage. Il est donc impossible de définir un impact en MES à partir de ces mesures, puisque cet impact est noyé dans les concentrations du bouchon vaseux qui sont plus importantes.

2.2.4. Modélisation de l'expérience de DIE du 19 octobre 2011 à Trentemoult

Malgré la difficulté d'extraire un impact des mesures présentées précédemment, nous avons voulu reproduire l'expérience d'un dragage par DIE au niveau de Trentemoult le 19 octobre 2011, avec les hypothèses de champ proche suivantes : l'opération est simulée numériquement par un débit de masse en sédiment qui est rejeté en un point source mobile spatialement au cours du temps. Ce point est fixé dans le modèle sur un plan de calcul se situant 0.5m au-dessus du fond. Le débit massique choisi pour ce test est le même que celui pris en Gironde soit 451 kg/s.

Sur la journée du 19 octobre 2011, (cf 45-41, $Q=149\text{m}^3/\text{s}$), le dragage sur la zone d'évitage de Trentemoult s'est effectué par DIE de PM+0h55 à PM+8h45.

La figure ci-dessous, montre à la fin de l'opération de dragage le champ de MES (en surface, moyenne verticale et au fond) ainsi que les dépôts de crème de vase (crème de vase liquide, stricto-sensu et totale).

Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire (DAS) et par injection d'eau (DIE)

Modélisation numérique

RAPPORT FINAL

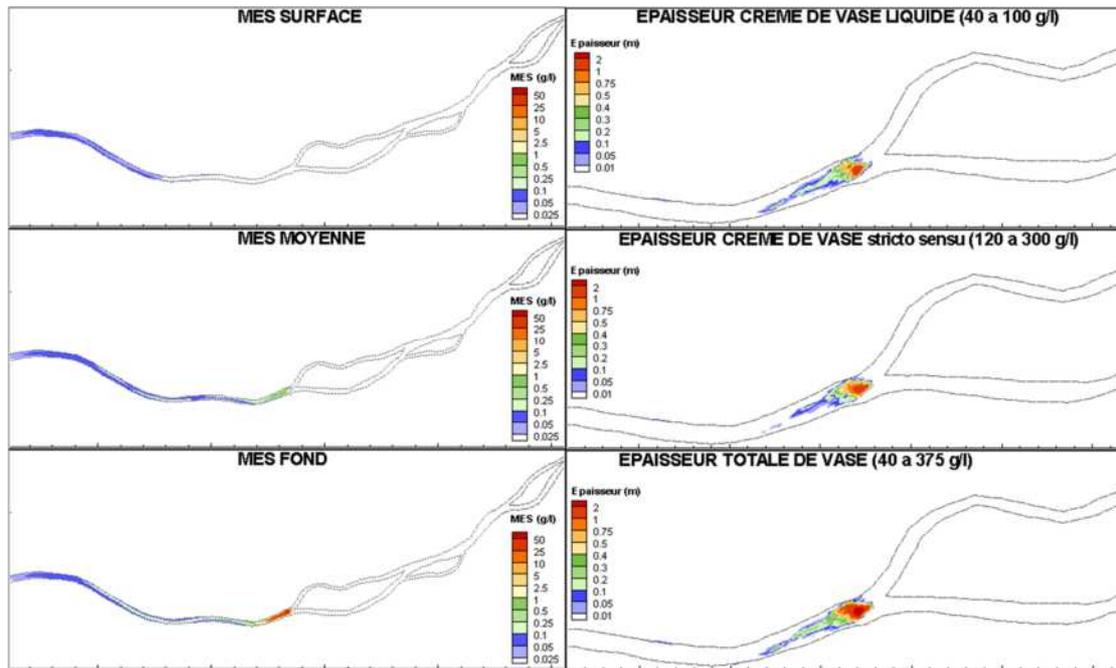


Figure 17 : Modélisation de l'expérience de DIE sur la ZE de Trentemoult le 19/10/2010, MES et crème de vase à la fin de l'opération

Les conclusions du rapport d'HOCER (2012) sur la crème de vase : « on note en fin de jusant une élévation de la crème de vase (0,5 m) par rapport à la veille », sont cohérente avec les résultats obtenus.

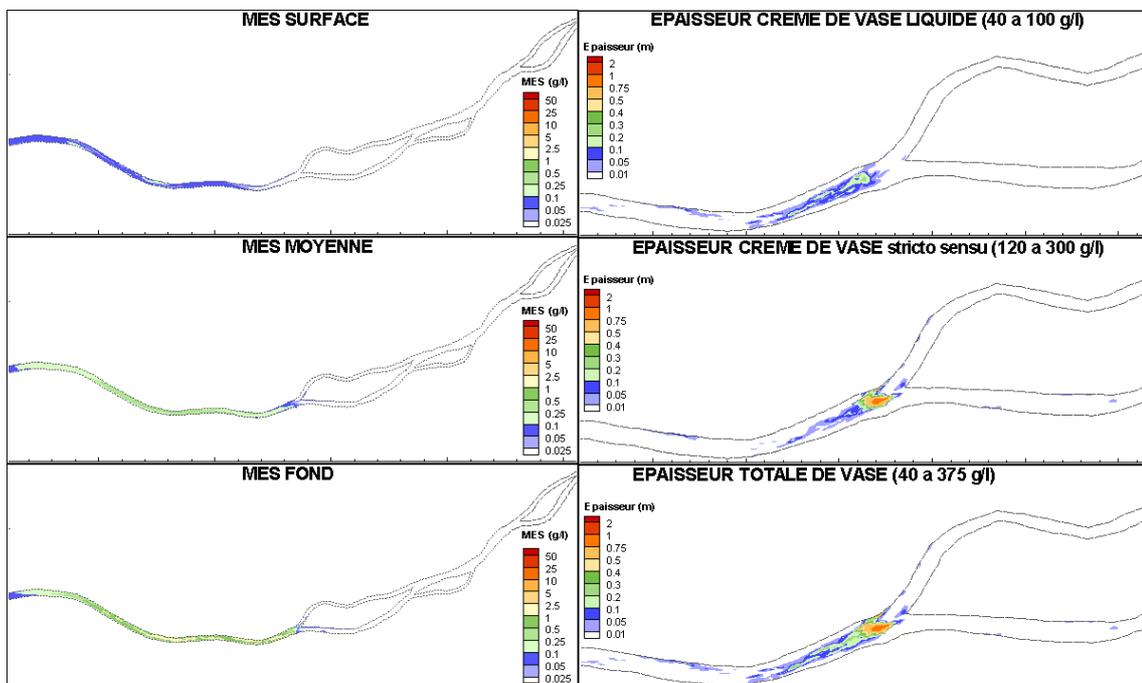


Figure 18 : Modélisation de l'expérience de DIE sur la ZE de Trentemoult le 19/10/2010, MES et crème de vase à la fin jusant suivant l'opération de dragage

Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire (DAS) et par injection d'eau (DIE)

Modélisation numérique
RAPPORT FINAL

Au niveau de la MES, les profils verticaux dans le modèle confirment que l'impact modélisé est aussi inférieur au milieu ambiant comme pour ceux mesurés.

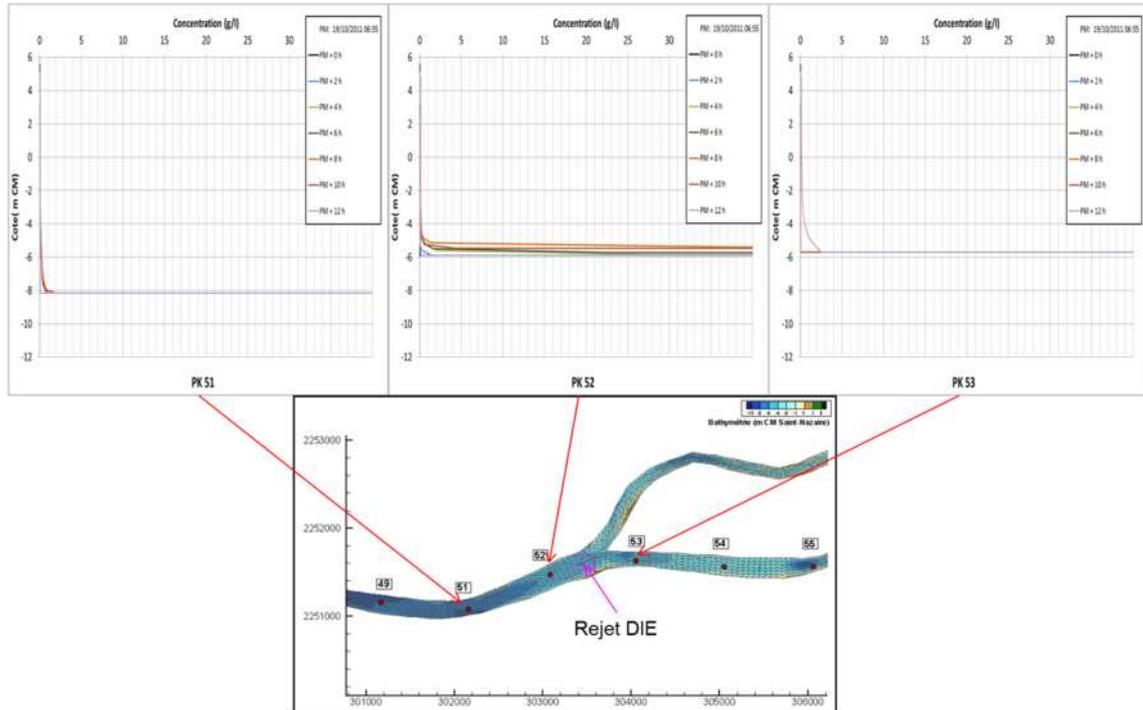


Figure 19 : Modélisation de l'expérience de DIE sur la ZE de Trentemoult le 19/10/2010 : MES entre PM et PM+12h au pk51, 52, 53

**Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire
(DAS) et par injection d'eau (DIE)**

Modélisation numérique

RAPPORT FINAL

3. DONNEES D'ENTREE POUR LES SIMULATIONS

3.1. SCENARIOS DE DRAGAGE

Une opération de dragage est simulée par un apport de vase ponctuel qui doit être défini en entrée sous forme de 4 données :

- Position horizontale X, Y du point de rejet,
- Position verticale Z dans la colonne d'eau du rejet,
- Débit solide de la masse de vase rejeté,
- Date et heure de début d'activité et durée du dragage.

3.1.1. Dragage par DIE à Donges poste 6

Le point de rejet de la drague sur le poste 6 est pris sur un point de maillage au centre de la souille. $X= 264889$; $Y= 2265644$. Le rejet est placé sur le 3ème plan soit 0,5m au-dessus du fond.

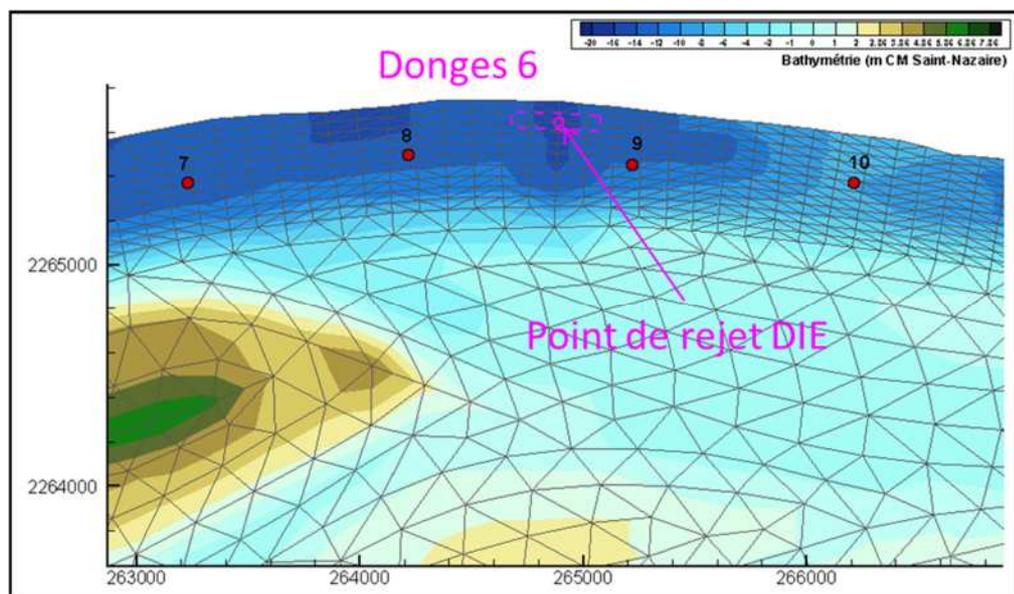


Figure 20 : Position XY du point de remise en suspension par DIE au poste 6

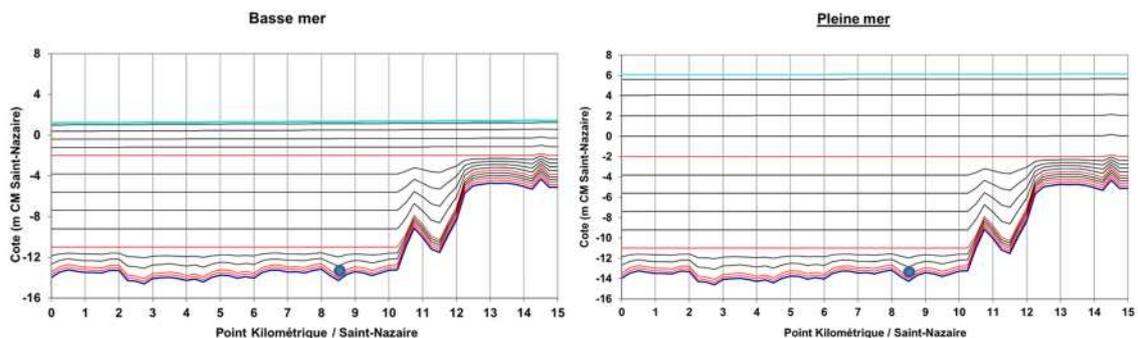


Figure 21 : Position Z du point de remise en suspension par DIE au poste 6

Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire (DAS) et par injection d'eau (DIE)
Modélisation numérique
 RAPPORT FINAL

D'après les conclusions du rapport « Analyse quantitative des pratiques », un chantier typique de dragage par DIE mènerait à une remise en suspension de 31 266 t de vase sur une durée d'activité de 12h sur la zone Donges-poste 6. Ceci conduit donc à un débit solide moyen de remise en suspension de 2605 t/h. Le dragage s'effectue donc sur une journée de 7h du matin jusqu'à 19h.

3.1.2. Dragage par DAS à Donges poste 6

Sur Donges poste 6, le rejet est effectué à travers une colonne de refoulement longue de quelques dizaines de mètres afin de rejeter les sédiments en bord de chenal. Le point représentatif de ce rejet sur le maillage est pris aux coordonnées :X= 264887 ;Y= 2265595. Le rejet est placé sur les plans qui se situent dans les 40 % du fond de la colonne d'eau qui est donc variable suivant le moment de la marée.

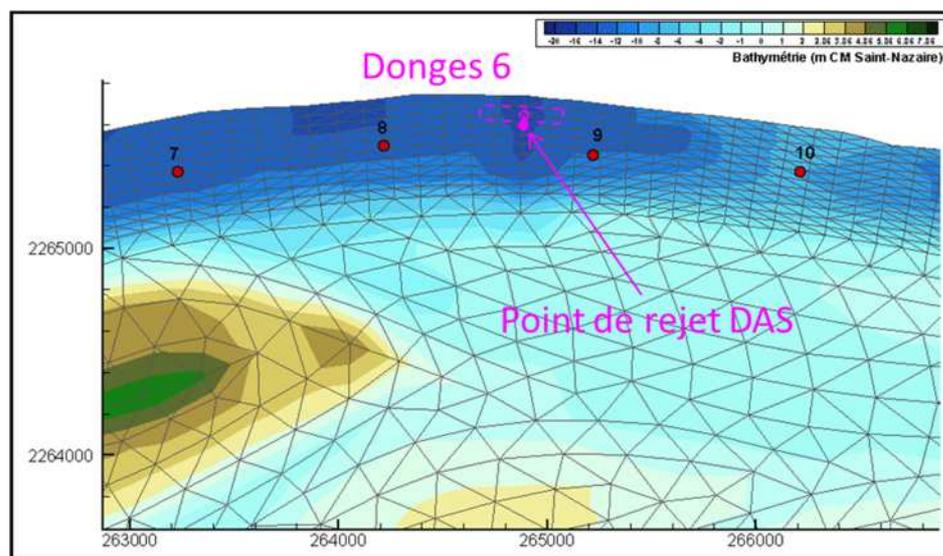


Figure 22 : Position XY du point de remise en suspension par DAS au poste 6

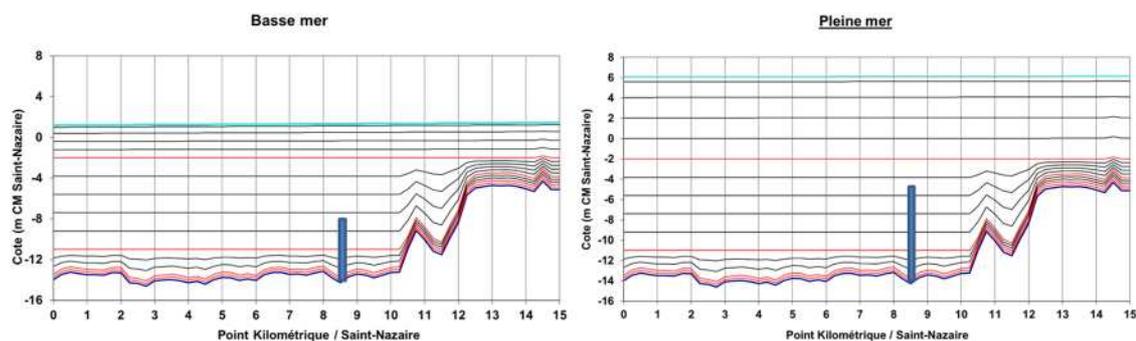


Figure 23 : Position Z des points de remise en suspension par DAS au poste 6

D'après les conclusions du rapport précité, un chantier typique de dragage par DAS mènerait à une remise en suspension de 34680 t de vase sur une durée d'activité 8 jours (à raison de 7,5h effectives/jour réparties entre 7h et 19h). Ceci mène donc à un débit solide moyen de remise en suspension de 581 t/h, lorsque le dragage est effectif. Les 7,5 heures ont été réparties en 4 périodes distribuées uniformément sur le créneau 7h-19h : de 7h à 8h52 puis de 10h à 11h52, de 13h à 14h52 et de 16h à 17h52.

Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire (DAS) et par injection d'eau (DIE)
Modélisation numérique
RAPPORT FINAL

3.1.3. Dragage par DIE de la zone d'évitage de Trentemoult

Le point de rejet représentatif au niveau de la zone d'évitage de Trentemoult est pris sur un point de maillage au centre de la zone. $X= 303460$; $Y= 2251580$. Le rejet est placé sur le 3ème plan soit 0,5m au-dessus du fond.

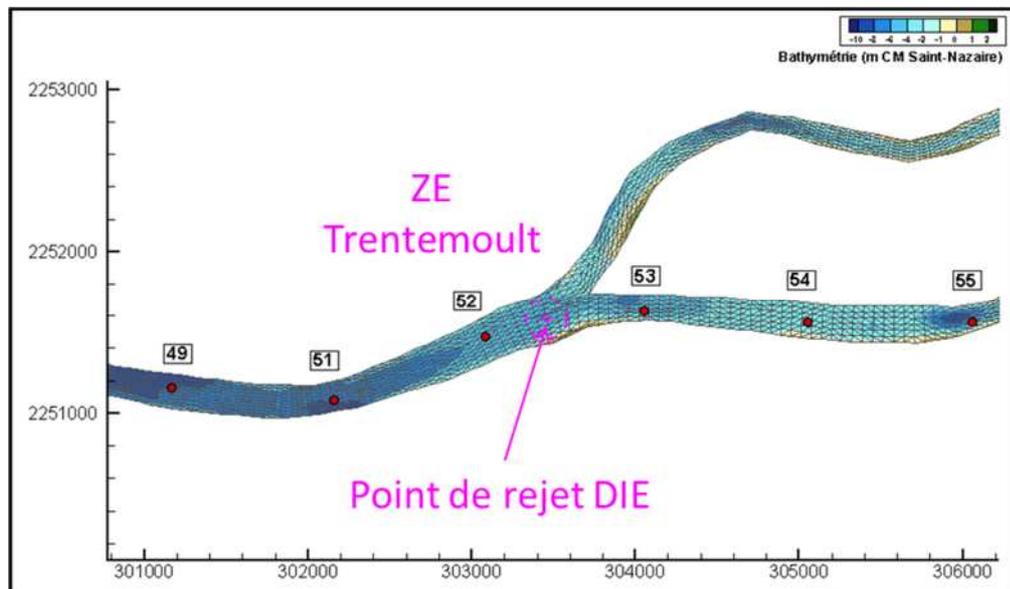


Figure 24 : Position XY du point de remise en suspension par DIE au niveau de la ZE de Trentemoult

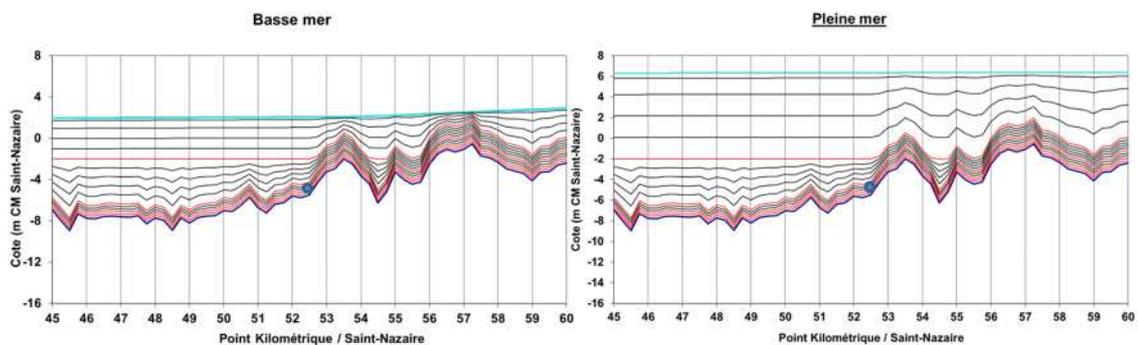


Figure 25 : Position Z du point de remise en suspension par DIE au niveau de la ZE de Trentemoult

D'après les conclusions du rapport «Analyse quantitative des pratiques», un chantier typique de dragage par DIE mènerait à une remise en suspension de 26128 t de vase sur une durée d'activité de 10h sur la zone d'évitage de Trentemoult. Ceci mène donc à un débit solide moyen de remise en suspension de 2605 t/h. Le dragage s'effectue sur une journée de 7h du matin jusqu'à 17h.

3.1.4. Dragage par DAS de la zone d'évitage de Trentemoult

Sur la ZE de Trentemoult, le rejet est effectué à travers une colonne de refoulement longue de 400 mètres et rejetant à l'aval de la zone. Le point représentatif de ce rejet sur le maillage est pris aux coordonnées : $X= 303108$; $Y= 2251460$. Le rejet est placé sur les plans qui se situent dans les 40 % du fond de la colonne d'eau qui est donc variable suivant le moment de la marée.

Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire (DAS) et par injection d'eau (DIE)

Modélisation numérique
RAPPORT FINAL

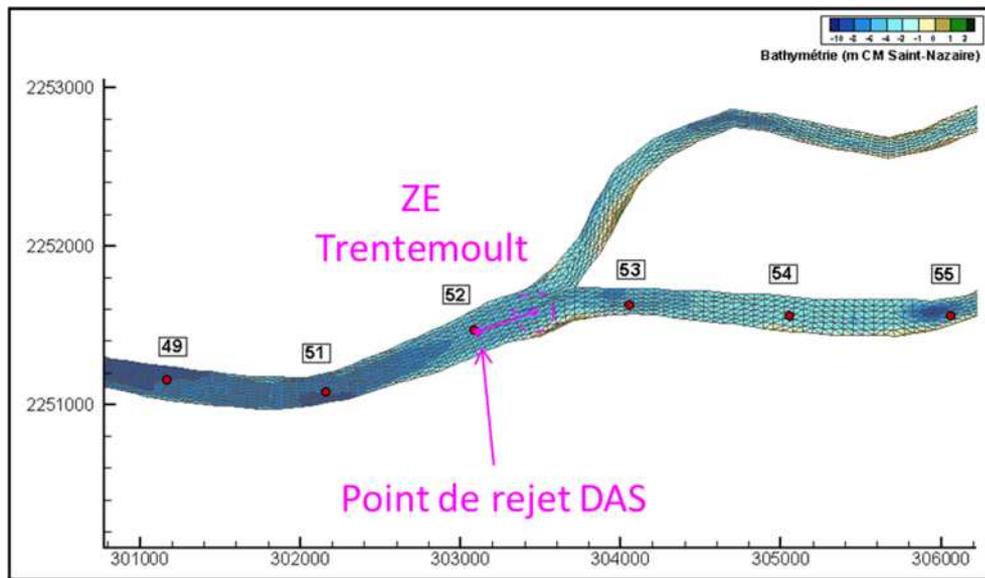


Figure 26 : Position XY du point de remise en suspension par DAS au niveau de la ZE de Trentemoult

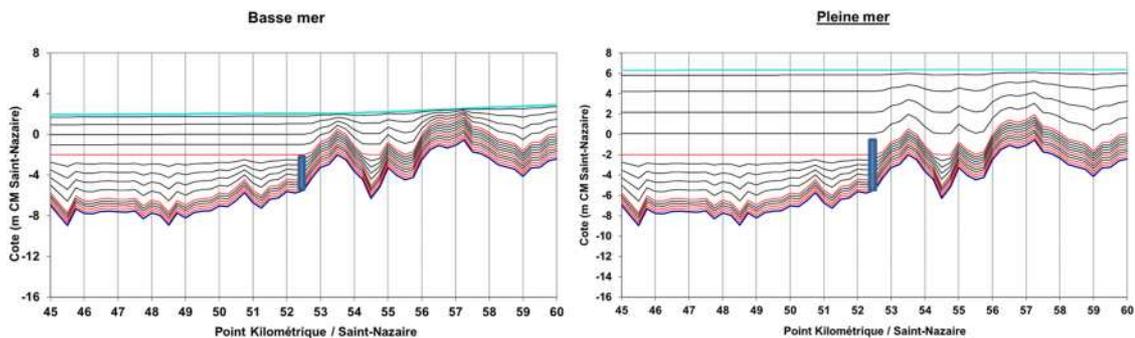


Figure 27 : Position Z du point de remise en suspension par DAS au poste 6

D’après les conclusions du rapport précité, un chantier typique de dragage par DAS mènerait à une remise en suspension de 34680 t de vase sur une durée d’activité 8 jours (à raison de 7,5h effectives/jour réparties entre 7h et 19h). Ceci mène donc à un débit solide moyen de remise en suspension de 581 t/h, lorsque le dragage est effectif. Les 7,5 heures ont été réparties en 4 périodes distribuées uniformément sur le créneau 7h-19h : de 7h à 8h52 puis de 10h à 11h52, de 13h à 14h52 et de 16h à 17h52.

3.1.5. Récapitulatif des scénarios de dragage

Le tableau suivant récapitule les données des 4 scénarios

Tableau 2 – scénarios de dragage

Secteur	Pratique	Masse de vase rejetée	Débit solide du rejet	Nb heures de chantier (h)
Donges Poste 6	DIE	31266 t	2605 t/h	12h
Donges Poste 6	DAS	34 680 t	581 t /h	96 h (dont 60h effective)
ZE Trentemoult	DIE	26128 t	2605 t/h	10h
ZE Trentemoult	DAS	34 680 t	581 t /h	96 h (dont 60h effective)

3.2. FORÇAGES HYDRO-METEOROLOGIQUES

3.2.1. Scénarios hydrométéorologiques retenus

Un de objectifs des simulations était de mieux appréhender l'effet du coefficient de marée et du débit de la Loire sur l'impact des opérations de dragage. Pour cela, nous avons retenu pour l'aval deux situations de marée (vive-eau et morte-eau) contrastées, combinées à trois débits du fleuve (300, 800 et 2000 m³/s), soit un total de 6 scénarios hydrométéo.

A l'amont, les opérations d'entretien s'effectuent uniquement en étiage lorsque le bouchon vaseux est présent. Deux scénarios seulement ont donc été simulés (VE et ME) pour un seul débit de la Loire de 300 m³/s.

Tous les autres paramètres hydrométéorologiques ont été fixés constants dans le temps quel que soit le scénario :

- Niveau moyen : +3,57m CM
- Pas de vent
- Houle usuelle : Hs : 0,75m, Tp : 9s, Dir p : N° 270

3.2.2. Détail des forçages en marée

La période d'équinoxe allant du 6 octobre au 11 novembre 2011 a été sélectionnée pour forcer le modèle afin d'effectuer les simulations d'opérations de dragage avec des coefficients de marée très contrastés entre morte-eau (C.38) et vive eau (C.111).

La période initiale du 6 au 18 octobre est simulée en hydrodynamique pure pour initialiser le modèle en hydrodynamique et salinité, en fonction du débit de la Loire imposé.

Puis l'opération de dragage et le suivi du rejet sont simulés sur une période de 15 jours :

- Dragage en morte-eau : simulation du 18 octobre au 2 novembre
- Dragage en vive-eau : simulation du 25 octobre au 11 novembre

Les différents scénarios hydrométéorologiques sont illustrés ci-dessous en fonction de la pratique et du type de marée. Pour chaque simulation, la date de démarrage du dragage est la même, par contre la durée de l'opération est variable : une journée pour la DIE et 8 jours pour la DAS comme détaillé précédemment.

Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire (DAS) et par injection d'eau (DIE)

Modélisation numérique

RAPPORT FINAL

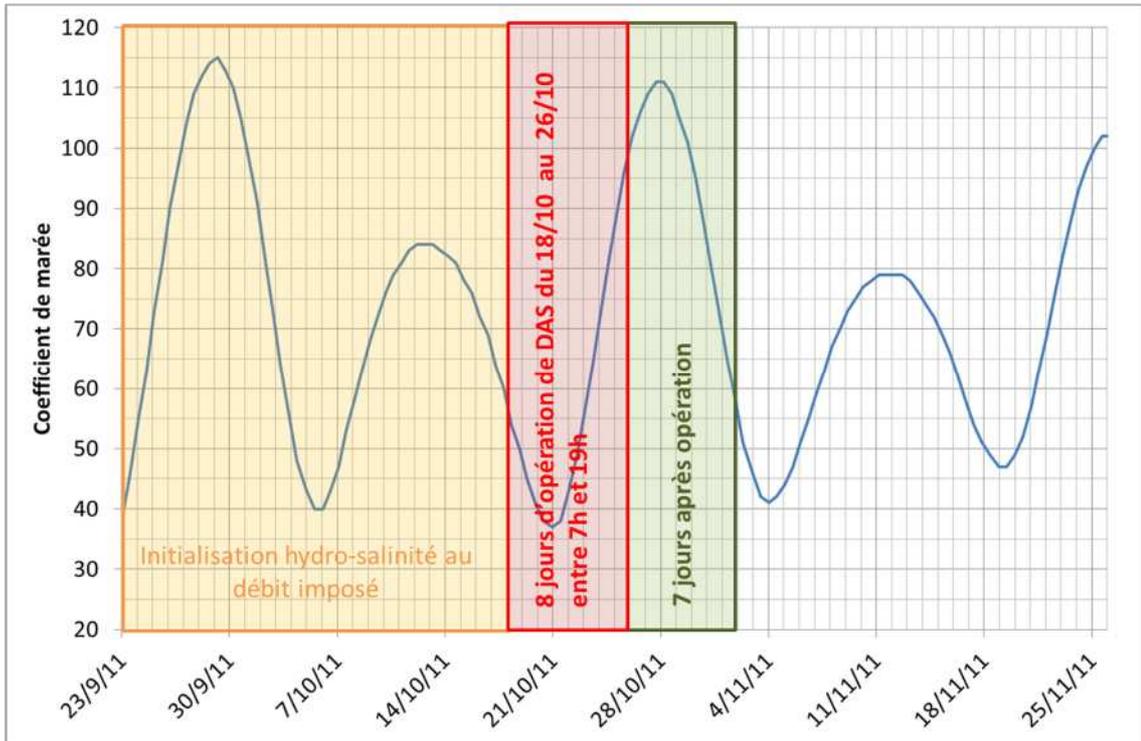


Figure 28 : périodes de simulation pour un dragage par DAS en morte-eau

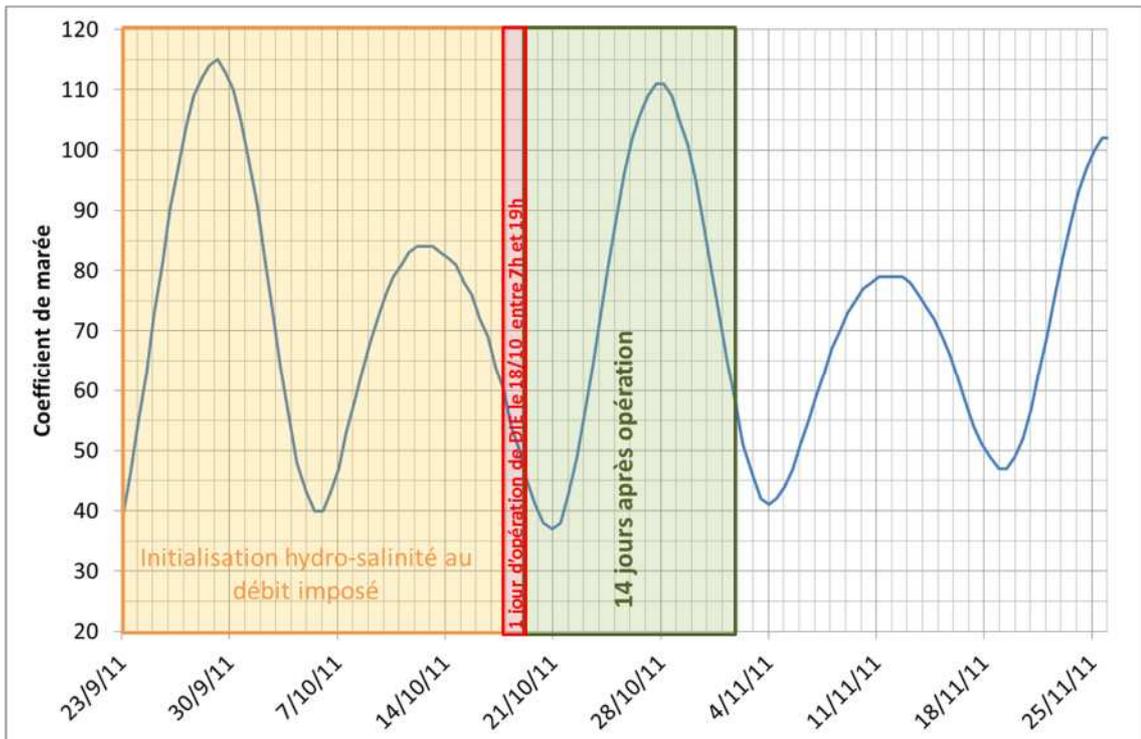


Figure 29 : périodes de simulation pour un dragage par DIE en morte-eau

Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire (DAS) et par injection d'eau (DIE) et par injection d'eau (DIE)

Modélisation numérique

RAPPORT FINAL

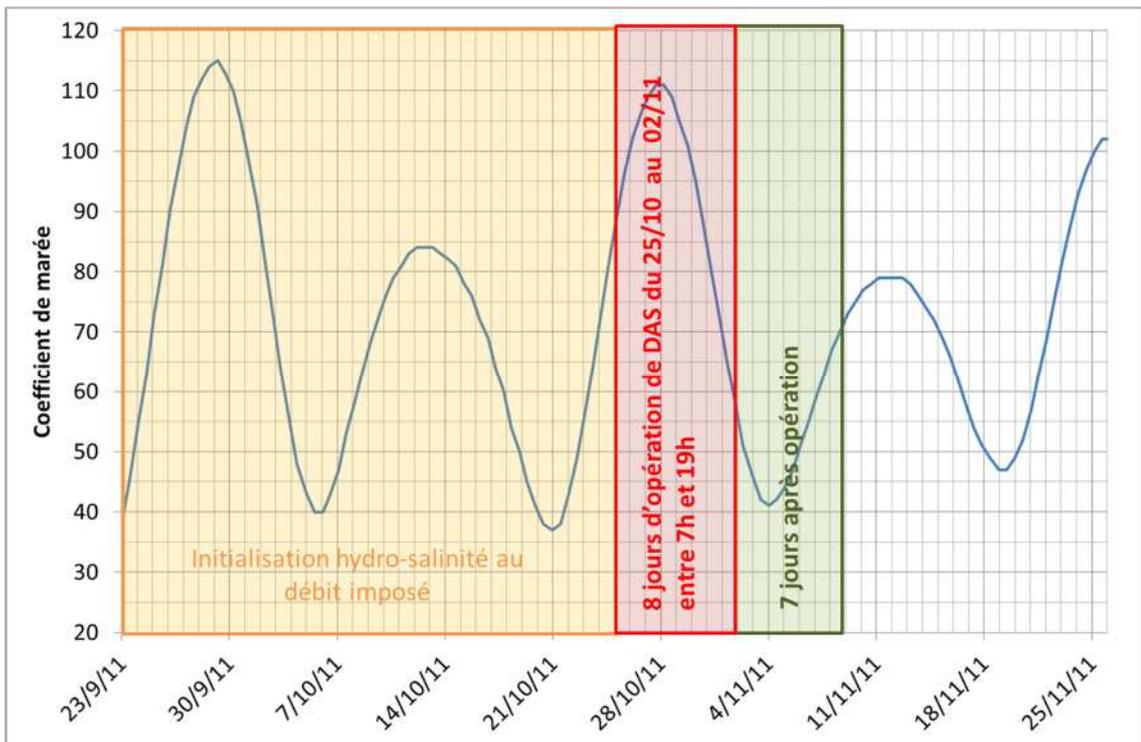


Figure 30 : périodes de simulation pour un dragage par DAS en vive-eau

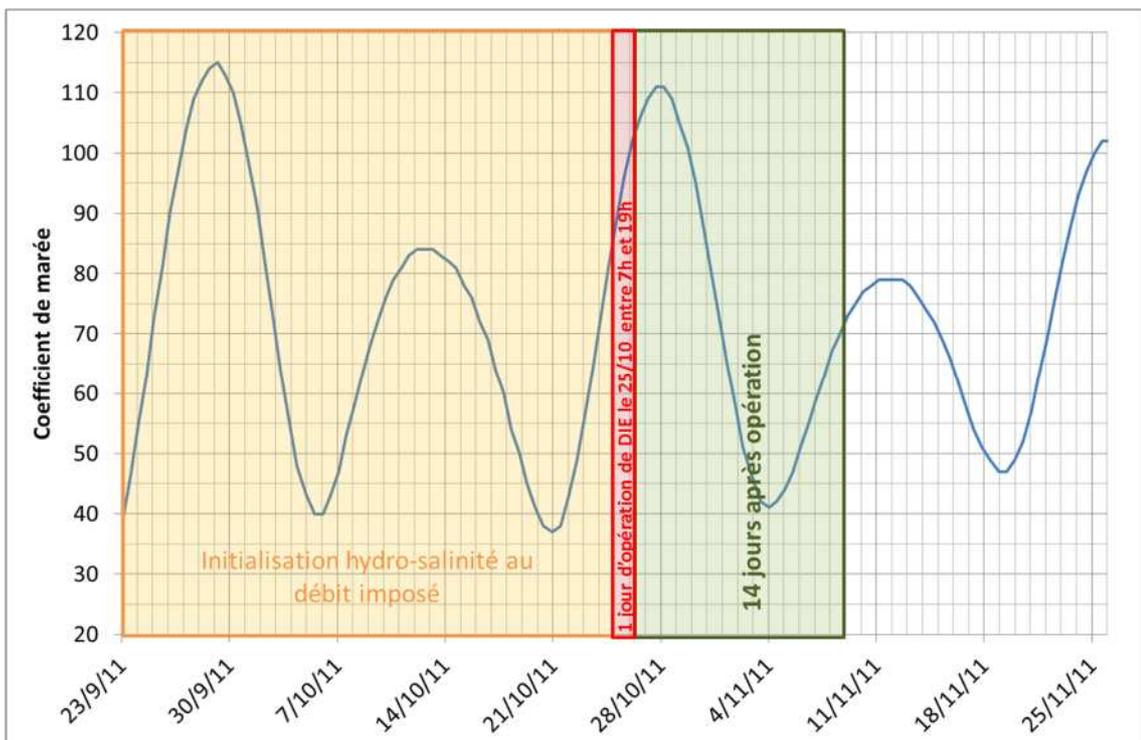


Figure 31 : périodes de simulation pour un dragage par DIE en vive-eau

**Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire
(DAS) et par injection d'eau (DIE)**

Modélisation numérique

RAPPORT FINAL

4. EXPLOITATION DES RESULTATS

4.1. MODES DE REPRESENTATION DES RESULTATS

La sortie des résultats est présentée en parallèle pour les deux pratiques pour chaque condition hydrométéorologique, afin de mieux visualiser les différences obtenues :

Pour chaque calcul, 3 cartes ont d'abord été générées, donnant la valeur maximum de concentration en MES en surface, au fond et en moyenne sur la verticale en chaque point du modèle et cela sur les 15 jours simulés. Il ne s'agit donc pas d'un panache réel, mais cela permet d'obtenir une enveloppe des maxima qui sont des valeurs instantanées et donc non représentatives des panaches réels. L'échelle de couleur établie par le GIPLE (2004) dans son fascicule sur le bouchon vaseux a été reprise ici pour comparaison aux données du milieu naturel.

Des courbes temporelles de concentration en surface, au fond et en moyenne sur la verticale ont été tracées pour 7 points : au point d'injection, puis à +1, +2 et +5km à l'amont de ce point et à -1, -2 et -5km à l'aval. Ces graphiques permettent de montrer la durée que mettent les panaches à se disperser et les reprises possibles des dépôts non dispersés.

Enfin, les 3 derniers graphiques représentent les temps de dépassement de 7 seuils de concentration sur les 15 jours à chaque point kilométrique ; Ils permettent d'intégrer à la fois le temps et les seuils de concentration sur le chenal principal. L'échelle de couleur établie par le GIPLE (2004) a été reprise pour comparaison aux données du milieu naturel. Nous avons, pour ces graphiques, ajouté une limite basse à 20 mg/l pour mieux apprécier l'impact sur les très faibles concentrations

Les résultats sont présentés dans les 4 annexes de figures hors-texte suivantes :

- Annexe A : Résultats de comparaison DAS/DIE : Donges 6 / Q=300 m³/s
- Annexe B : Résultats de comparaison DAS/DIE : Donges 6 / Q=800 m³/s
- Annexe C : Résultats de comparaison DAS/DIE : Donges 6 / Q=2000 m³/s
- Annexe D : Résultats de comparaison DAS/DIE : ZE Trentemoult / Q=300 m³

De plus, il a été ajouté en Annexe E, des profils verticaux de concentration et de crème de vase sur 24h pour les deux pratiques et cela sur la zone de Donges 6 pour un débit de 300 m³/s.

4.2. RESULTATS AU POSTE DONGES 6

Une partie des graphiques des annexes sont repris ici et classés dans des tableaux pour avoir une comparaison visuelle des résultats. Pour plus de lisibilité, notamment pour des aspects quantitatifs, il est conseillé de se reporter aux annexes.

Analyse de l'influence du débit (à pratique égale) :

On voit principalement que les enveloppes de maximum de concentration diminuent de l'amont vers l'aval lorsque les débits augmentent. Ceci est cohérent avec la dynamique estuarienne qui a tendance à importer du sédiment vers l'amont par faible débit et à concentrer le sédiment vers l'aval qui est le lieu de dragage par fort débit. On notera aussi que plus le débit augmente, moins la surface est impactée, certainement par effet de stratification.

Le temps pour la concentration moyenne à passer sous le seuil des 20mg/l est assez stable quel que soit le débit, sauf pour la pratique DIE en vive-eau où ce temps diminue avec l'augmentation du débit (voir ci-après)

Analyse de l'influence de la marée :

Effectuer une opération de dragage par DIE pendant une période de vive-eau permet de disperser plus rapidement les rejets dans l'estuaire : entre 72h et 96h pour passer sous le seuil de 20mg/l au lieu de 228h en ME. En contrepartie, l'enveloppe des concentrations maximales et les concentrations maximales sont plus importantes.

Cet effet est bien moins visible sur la pratique DAS, puisque les opérations de dragages se font sur 8 jours (192h) au lieu d'une journée pour la DIE. Les opérations de dragages se font de ce fait sur un panel de coefficients de marée allant de la vive-eau à la morte-eau. Dans tous les cas, il faut avec une pratique DAS entre 216h et 228h pour passer sous le seuil de 20 mg/l.

Analyse de l'influence de la pratique :

La pratique n'a pas beaucoup d'effet à partir du moment où l'on commence l'opération de dragage en morte-eau. En effet, les forces hydrodynamiques étant peu importantes pour ces marées, le rejet par injection d'eau va se déposer en partie sous forme de crème de vase liquide dans le chenal de navigation au lieu de se disperser en suspension. Cette crème de vase sera reprise quelques jours plus tard par les conditions de vive-eau. Ainsi, les reprises et la dispersion se font sur un peu plus de 8 jours comme pour une pratique DAS. Ceci est particulièrement visible sur les profils temporels de concentration au niveau du point d'injection dans les annexes. Les effets de passage en crème de vase liquide sont visibles sur les profils verticaux qui sont présentés pour le débit de 300 m³/s en annexe E.

Par contre, lorsque la DIE est pratiquée en vive-eau, la majeure partie du rejet peut être directement reprise en suspension par les conditions hydrodynamiques dans les premiers jours, ce qui fait que la concentration moyenne ne met que 72h à 96h pour passer sous le seuil de 20mg/l au lieu de 228h en pratique DAS.

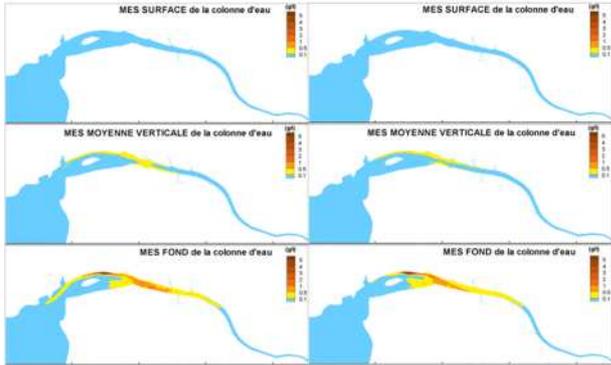
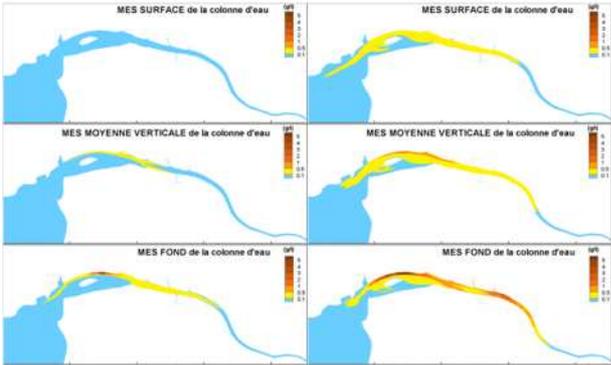
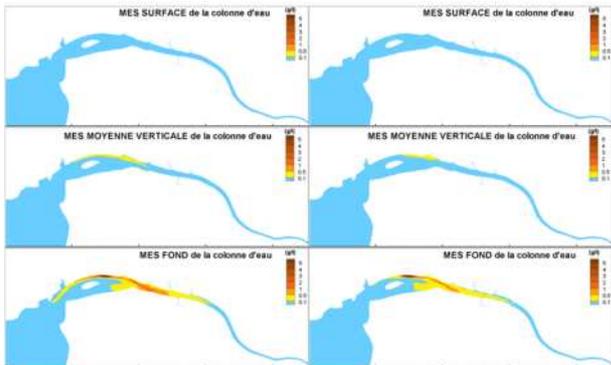
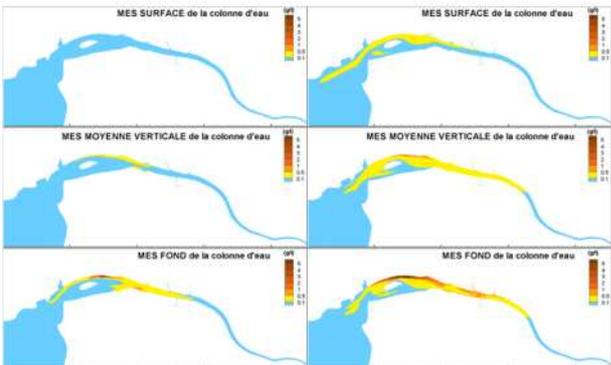
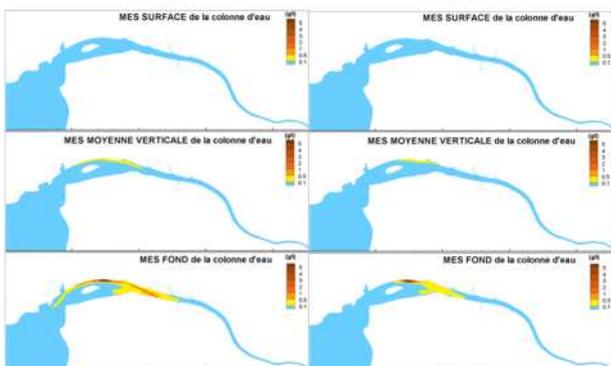
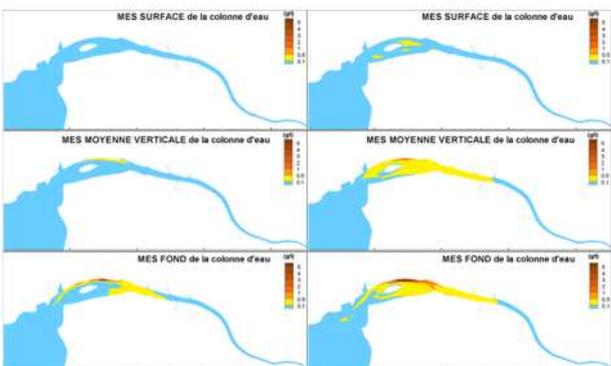
Les temps de dépassement aux différents seuils de concentration permettent le même type d'analyse qu'effectuée précédemment mais avec une vision spatiale et temporelle croisée. Cette visualisation permettra surtout de comparer l'impact de la pratique avec le milieu naturel puisque les mêmes types de graphique ont été réalisés à partir des résultats du réseau de mesure Syvel (voir chapitre 4.4.3).

Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire (DAS) et par injection d'eau (DIE)

Modélisation numérique

RAPPORT FINAL

Tableau 3 – Donges6 : Récapitulatif des maximums ponctuels calculés et des temps de passage sous le seuil de 20 mg/l

Donges	Morte Eau	Vive Eau
300 m ³ /s	<p>DAS DIE</p>  <p>Nb heures pour que la conc. moy. passe sous le seuil de 20 mg/l :</p> <p>DAS: 228 h / DIE : 228h</p>	<p>DAS DIE</p>  <p>Nb heures pour que la conc. moy. passe sous le seuil de 20 mg :</p> <p>DAS: 216 h / DIE : 96h</p>
800 m ³ /s	<p>DAS DIE</p>  <p>Nb heures pour que la conc. moy. passe sous le seuil de 20mg :</p> <p>DAS: 228 h / DIE : 252h</p>	<p>DAS DIE</p>  <p>Nb heures pour que la conc. moy. passe sous le seuil de 20mg :</p> <p>DAS: 216 h / DIE : 84h</p>
2000 m ³ /s	<p>DAS DIE</p>  <p>Nb heures pour que la conc. moy. passe sous le seuil de 20mg :</p> <p>DAS: 228 h / DIE : 228h</p>	<p>DAS DIE</p>  <p>Nb heures pour que la conc. moy. passe sous le seuil de 20mg :</p> <p>DAS: 216 h / DIE : 72h</p>

Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire (DAS) et par injection d'eau (DIE) et par injection d'eau (DIE)

Modélisation numérique

RAPPORT FINAL

Tableau 4 – Donges6 : Récapitulatif des temps de dépassement sur 15 jours à différents seuils de concentration

Donges	Morte Eau	Vive Eau																																
300 m ³ /s	<table border="1"> <thead> <tr> <th>DAS</th> <th>15 jours</th> <th>DIE</th> <th>15 jours</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	DAS	15 jours	DIE	15 jours													<table border="1"> <thead> <tr> <th>DAS</th> <th>15 jours</th> <th>DIE</th> <th>15 jours</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	DAS	15 jours	DIE	15 jours												
	DAS	15 jours	DIE	15 jours																														
DAS	15 jours	DIE	15 jours																															
800 m ³ /s	<table border="1"> <thead> <tr> <th>DAS</th> <th>15 jours</th> <th>DIE</th> <th>15 jours</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	DAS	15 jours	DIE	15 jours													<table border="1"> <thead> <tr> <th>DAS</th> <th>15 jours</th> <th>DIE</th> <th>15 jours</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	DAS	15 jours	DIE	15 jours												
	DAS	15 jours	DIE	15 jours																														
DAS	15 jours	DIE	15 jours																															
2000 m ³ /s	<table border="1"> <thead> <tr> <th>DAS</th> <th>15 jours</th> <th>DIE</th> <th>15 jours</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	DAS	15 jours	DIE	15 jours													<table border="1"> <thead> <tr> <th>DAS</th> <th>15 jours</th> <th>DIE</th> <th>15 jours</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	DAS	15 jours	DIE	15 jours												
	DAS	15 jours	DIE	15 jours																														
DAS	15 jours	DIE	15 jours																															

Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire (DAS) et par injection d'eau (DIE)

Modélisation numérique
RAPPORT FINAL

4.3. ZONE D'EVITAGE DE TRENTEMOUT

Analyse de l'influence de la marée

La marée a très peu d'influence sur l'impact de la pratique de la DAS. Les enveloppes des maximas sont assez similaires et les temps nécessaires pour que la concentration moyenne passe sous les 20 mg/l sont aussi très peu différents : 228h en morte-eau contre 216 h en vive-eau. Les enveloppes de temps de dépassement sont légèrement plus resserrées en morte-eau.

Effectuer une opération de dragage par DIE pendant une période de vive-eau permet de disperser plus rapidement les rejets dans l'estuaire : 84h pour passer sous le seuil de 20mg/l au lieu de 168h en morte-eau. En contrepartie, l'enveloppe des concentrations maximales et les concentrations maximales sont plus importantes en vive-eau.

Tableau 5 – ZE Trentemoult : Récapitulatif des maximums ponctuels calculés et des temps de passage sous le seuil de 20 mg/l

Donges	Morte Eau	Vive Eau
300 m ³ /s		
	Nb heures pour que la conc. moy. passe sous le seuil de 20 mg/l :	Nb heures pour que la conc. moy. passe sous le seuil de 20mg :
	DAS: 228 h / DIE : 168h	DAS: 216 h / DIE : 84h

Tableau 6 – ZE Trentemoult : Récapitulatif des temps de dépassement sur 15 jours à différents seuils de concentration

Donges	Morte Eau	Vive Eau
300 m ³ /s		
	<ul style="list-style-type: none"> ○ classe: 0 à 0,02 g/l ○ classe: 0,02 à 0,1 g/l ○ classe: 0,1 à 0,5 g/l ○ classe: 0,5 à 1 g/l ○ classe: 1 à 2 g/l ○ classe: 2 à 3 g/l ○ classe: 3 à 4 g/l ○ classe: 4 à 5 g/l 	<ul style="list-style-type: none"> ○ classe: 0 à 0,02 g/l ○ classe: 0,02 à 0,1 g/l ○ classe: 0,1 à 0,5 g/l ○ classe: 0,5 à 1 g/l ○ classe: 1 à 2 g/l ○ classe: 2 à 3 g/l ○ classe: 3 à 4 g/l ○ classe: 4 à 5 g/l
	MES 1/3 de surface de la colonne d'eau	MES 1/3 de surface de la colonne d'eau
	MES 1/3 intermédiaire	MES 1/3 intermédiaire
	MES 1/3 du fond de la colonne d'eau	MES 1/3 du fond de la colonne d'eau

Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire (DAS) et par injection d'eau (DIE)

Modélisation numérique

RAPPORT FINAL

Analyse de l'influence de la pratique :

En morte-eau, les écarts entre les deux pratiques sont faibles. En effet, les forces hydrodynamiques étant moins importantes pour ces marées, le rejet par injection d'eau va se déposer en partie sous forme de crème de vase liquide dans le chenal de navigation au lieu de se disperser en suspension. Cette crème de vase est reprise sur plusieurs jours. De ce fait, les reprises et la dispersion se font sur un peu plus de 8 jours comme pour une pratique DAS. Ceci est particulièrement visible sur les profils temporels de concentration au niveau du point d'injection dans l'annexe D.

Par contre, lorsque la DIE est pratiquée en vive-eau, la majeure partie du rejet peut être directement reprise en suspension par les conditions hydrodynamiques dans les premiers jours, ce qui fait que la concentration moyenne ne met que 84h pour passer sous le seuil de 20mg/l au lieu de 216h en pratique DAS. En contrepartie, l'enveloppe des concentrations maximales et les concentrations maximales sont plus importantes en pratique DIE.

4.4. COMPARAISON AU MILIEU NATUREL

4.4.1. Concentrations en MES dans le milieu naturel

Les concentrations en MES dans le milieu naturel sont décrites dans le fascicule L1-E2 : La dynamique du bouchon vaseux. Cahier indicateurs N°1 avril 2014 du GIP Loire Estuaire (GIPLE).

Dans ce document, « Le bouchon vaseux correspond à des concentrations comprises entre 0,5 g/l et 30 g/l. Au-delà, les sédiments ne sont plus considérés en suspension, mais déposés sous la forme de crème de vase. Dans l'estuaire, l'eau est définie comme turbide à partir de 0,1 g/l. »

TABLEAU L1E2 - 1

Définition des différentes classes de concentration de la masse turbide

	Dénomination	Concentration (g/l)	Forme	
Masse turbide	Bouchon vaseux	Panache du bouchon vaseux (hors apports de crue)	$0,1 \leq < 0,5$	suspension
		Bouchon vaseux faiblement concentré	$0,5 \leq < 1$	suspension
		Bouchon vaseux <i>stricto sensu</i>	$1 \leq < 10$	suspension
	Crème de vase	Bouchon vaseux dense	$10 \leq < 30$	suspension
		Crème de vase liquide	$30 \leq < 100$	dépôt
		Crème de vase <i>stricto sensu</i>	$100 \leq < 300$	dépôt
		Crème de vase consolidée	$300 \leq < 500$	dépôt

Source : GIP Loire Estuaire

Figure 32 : Définition des différentes classes de concentration de la masse turbide (GIP Loire Estuaire, 2014)

Le réseau de mesure SYVEL (SYstème de Veille dans l'Estuaire de la Loire), géré par le GIP Loire Estuaire depuis sa mise en service en 2007, est composé de 6 stations. Chacune mesure, toutes les 10 minutes à toutes les heures suivant les stations et les périodes, la turbidité (matières en suspension), la conductivité (salinité), la concentration en oxygène dissous et la température.

L'analyse de ces mesures entre 2007 et 2013 a permis de tirer les deux principaux graphiques de la page suivante. On notera que les sondes sont représentatives des concentrations de surface (-1 à 1,5m sous la surface sauf pour Donges où il y a aussi une sonde à -4m)

Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire (DAS) et par injection d'eau (DIE)

Modélisation numérique
RAPPORT FINAL

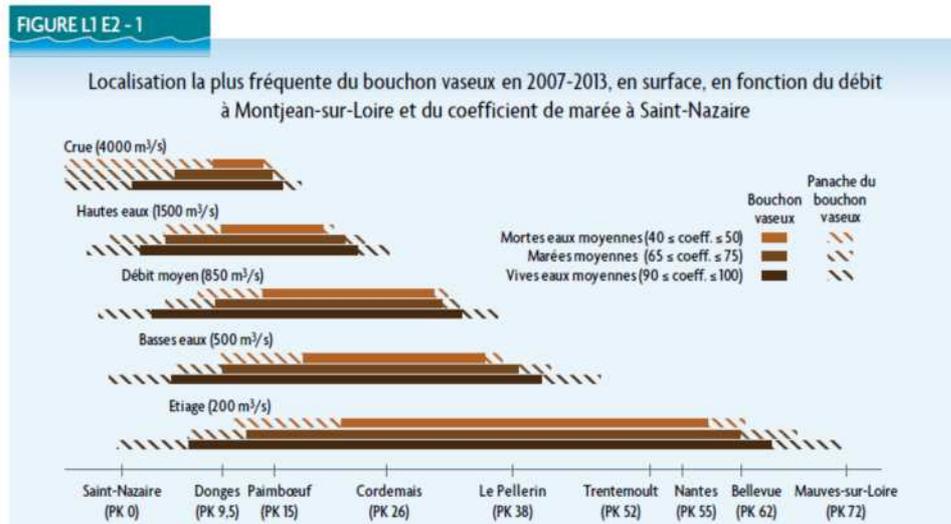


Figure 33 : Localisation la plus fréquente du bouchon vaseux en surface en fonction du débit (GIP Loire Estuaire, 2014)

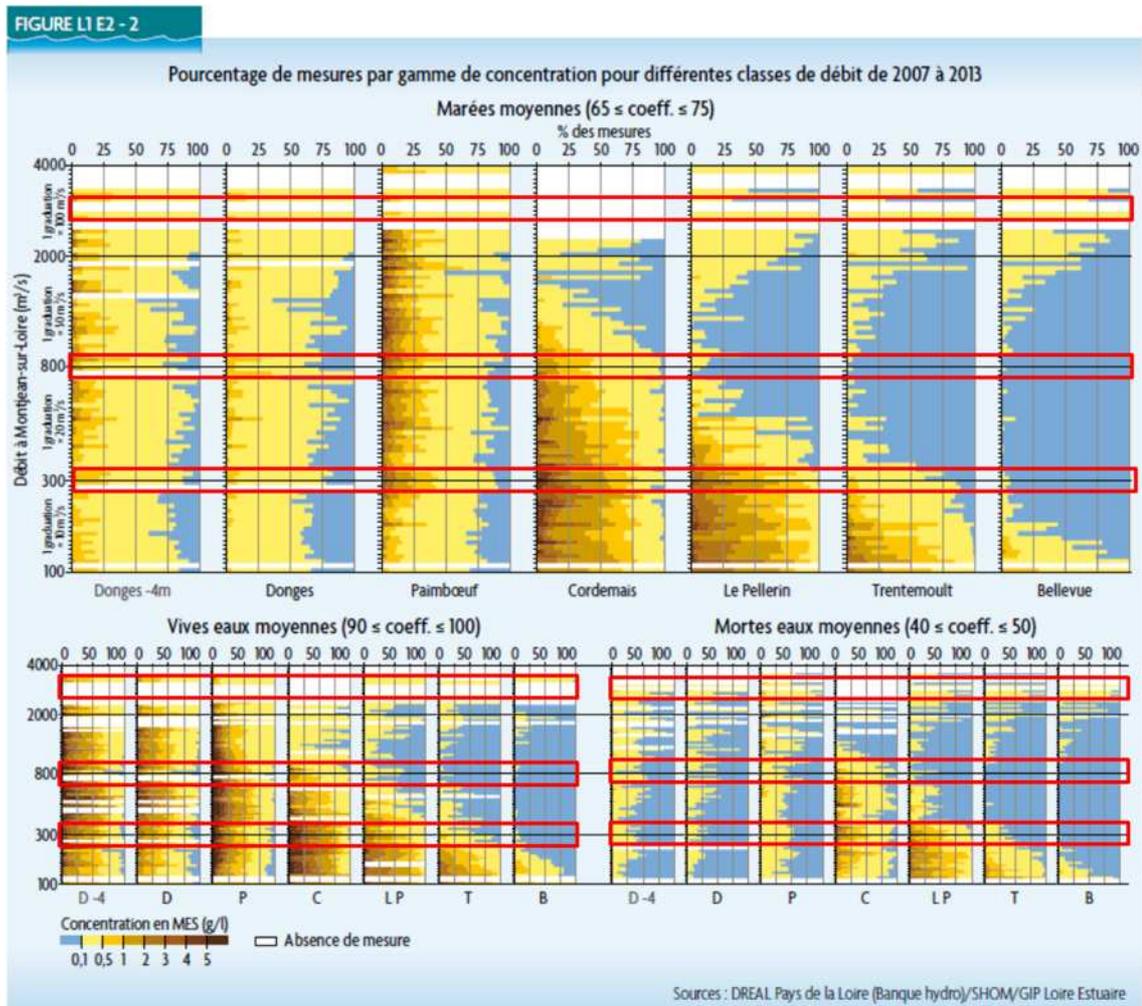


Figure 34 : Pourcentages de mesures par gamme de concentration pour différentes classes de débit (GIP Loire estuaire, 2014)

Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire (DAS) et par injection d'eau (DIE)

Modélisation numérique

RAPPORT FINAL

4.4.2. Extension des impacts par rapport au milieu naturel

Tableau 7 – Donges 6 : Comparaison des impacts DAS et DIE aux extensions de panache du bouchon vaseux et de crème de vase

Donges	DAS	DIE
300 m ³ /s	<p>Localisation la plus fréquente du bouchon vaseux en 2007-2013, en surface, en fonction du débit à Montjean-sur-Loire et du coefficient de marée à Saint-Nazaire</p>	<p>Localisation la plus fréquente du bouchon vaseux en 2007-2013, en surface, en fonction du débit à Montjean-sur-Loire et du coefficient de marée à Saint-Nazaire</p>
800 m ³ /s	<p>--- Impact équivalent au panache du bouchon vaseux: 0,1 à 0,5g/l --- Impact équivalent au bouchon vaseux: > 0,5g/l</p> <p>Conc surf < 0.1g/l</p>	<p>Localisation la plus fréquente du bouchon vaseux en 2007-2013, en surface, en fonction du débit à Montjean-sur-Loire et du coefficient de marée à Saint-Nazaire</p>
2000 m ³ /s	<p>Conc surf < 0.1g/l</p>	<p>Localisation la plus fréquente du bouchon vaseux en 2007-2013, en surface, en fonction du débit à Montjean-sur-Loire et du coefficient de marée à Saint-Nazaire</p>

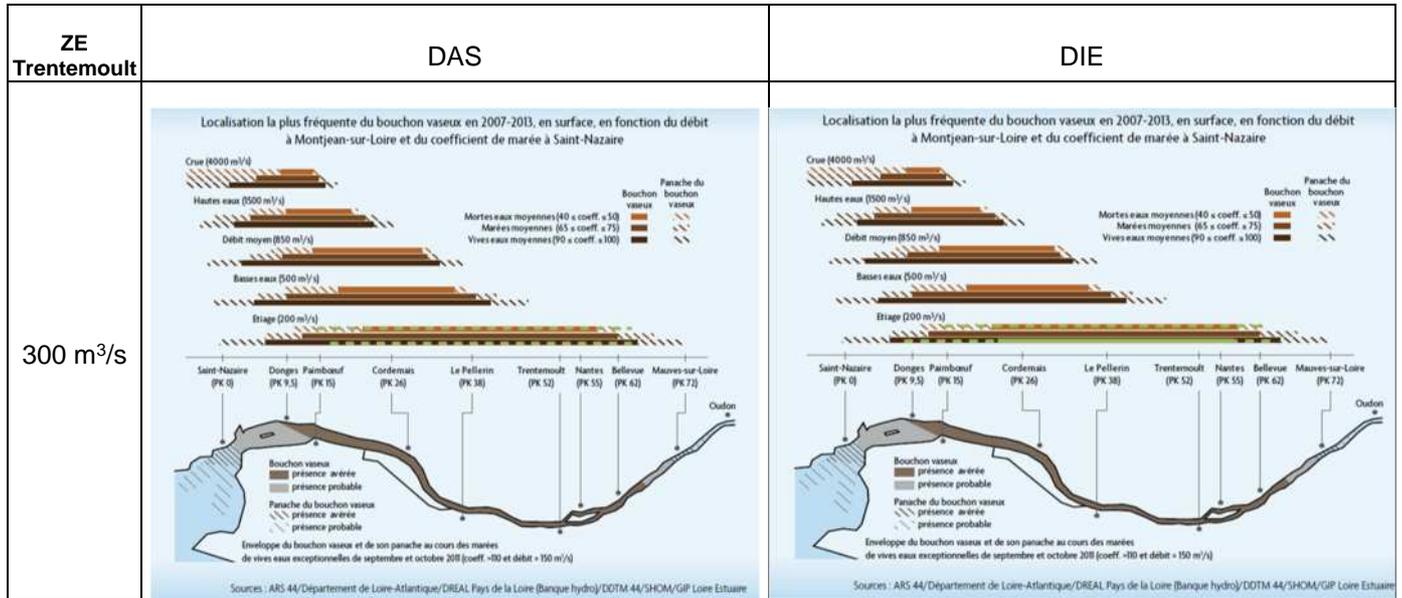
Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire (DAS) et par injection d'eau (DIE)

Modélisation numérique

RAPPORT FINAL

Dans ce tableau, nous avons replacé les extensions des impacts sur la figure de position du bouchon vaseux et de son panache pour chaque condition et pratique, pour les mêmes gammes de concentration établies par le GIP LE. On notera que pour être cohérent avec les mesures, c'est la MES calculée se trouvant dans le tiers supérieur de la colonne d'eau qui a été pris en compte ici.

Tableau 8 – ZE Trentemoult : Comparaison des impacts DAS et DIE aux extensions de panache du bouchon vaseux et de crème de vase



- Impact équivalent au panache du bouchon vaseux: 0,1 à 0,5g/l
- Impact équivalent au bouchon vaseux: > 0,5g/l

Au final, on observe que la zone d'impact de chaque type de dragage se trouve toujours dans la zone de gammes de concentrations équivalentes ou inférieures au milieu naturel, sauf pour le cas de Donges 6 en morte-eau et Q=300 m³/s, pour lequel la zone d'impact entre 0,1 et 0,5 g/l se trouve plus étendue en aval que ce soit en DAS ou DIE.

4.4.3. Temps de dépassement des impacts par rapport au milieu naturel au point de rejet

Dans un second temps, nous avons repris l'analyse du GIP LE sur les temps de dépassement des MES dans l'estuaire en deux points de mesure (Donges et Trentemoult) pour comparer avec nos simulations. Les tableaux qui suivent reprennent des extraits des analyses du GIPLE déjà présentées dans la figure 34. Nous avons estimé, à partir de ces graphes, des valeurs numériques pour le seuil de concentration 0,1g/l et pour les conditions hydrodynamiques de nos simulations (cadres rouges) et nous les avons comparés à nos résultats.

Tableau 9 – Trentemoult : Pourcentage de mesures par gamme de concentration pour différentes classes de débit et de marnage (GIP Loire estuaire, 2014)

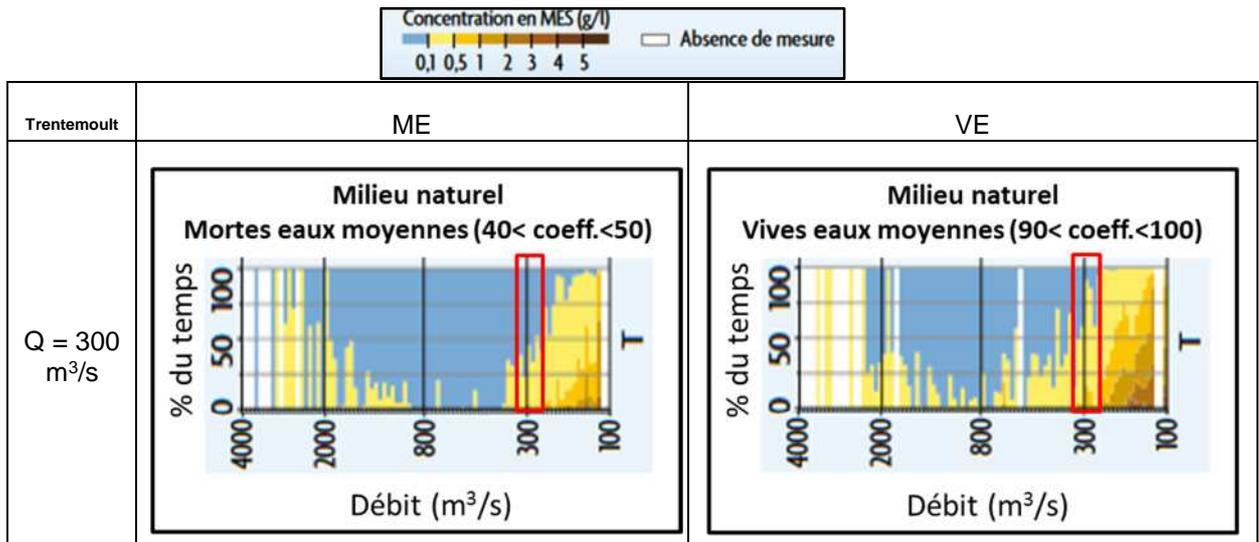


Tableau 10 – Trentemoult : Comparaison des temps de dépassement du seuil de 0,1g/l entre le milieu naturel, un dragage par DAS et un dragage par DIE

TRENTEMOULT	ME (% temps > 0,1g/l)	VE (% temps > 0,1g/l)
	MILIEU NATUREL / DAS / DIE	MILIEU NATUREL / DAS / DIE
Q = 300 m³/s	50% / 80% / 46%	90% / 71% / 27%

A Trentemoult, cette comparaison montre que les concentrations aux points de rejets sont dans des gammes inférieures à celles mesurées dans le milieu ambiant pour le dragage par DIE aussi bien en ME qu'en VE. Par contre, le dragage par DAS, conduit à un pourcentage de temps de dépassement supérieur en morte-eau (80% contre 50%).

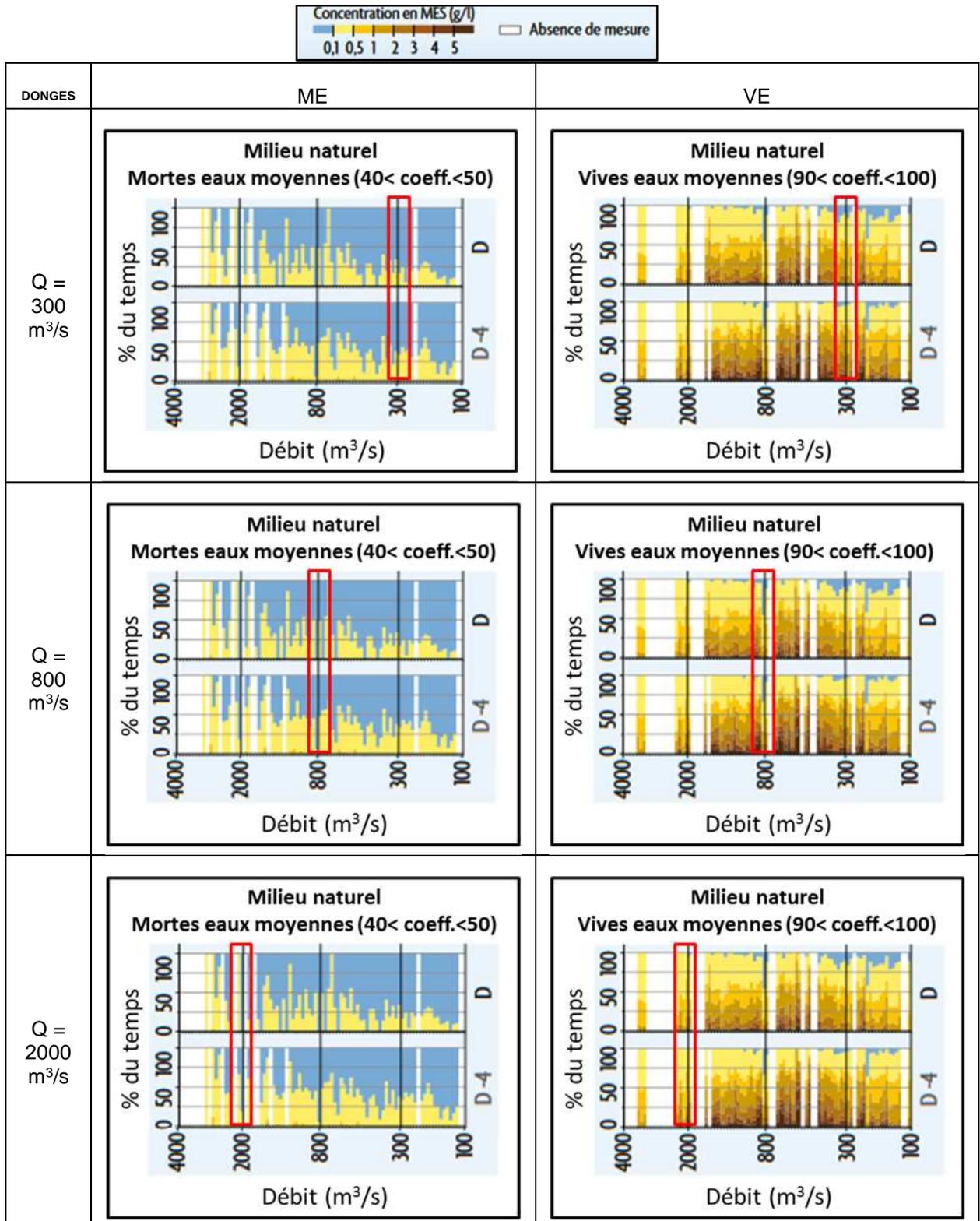
A Donges (voir tableaux ci-après), les concentrations aux points de rejets sont également dans des gammes inférieures à celles mesurées dans le milieu ambiant pour les deux pratiques de dragage, quelles que soient les conditions hydrométéorologiques étudiées.

Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire (DAS) et par injection d'eau (DIE)

Modélisation numérique

RAPPORT FINAL

Tableau 11 – Donges : Pourcentage de mesures par gamme de concentration pour différentes classes de débit et de marnage (GIP Loire estuaire, 2014)



Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire (DAS) et par injection d'eau (DIE)

Modélisation numérique

RAPPORT FINAL

Tableau 12 – Donges 6 : Comparaison des temps de dépassement du seuil de 0,1g/l entre le milieu naturel, un dragage par DAS et un dragage par DIE

DONGES poste 6	ME (% temps > 0,1g/l)	VE (% temps > 0,1g/l)
	MILIEU NATUREL / DAS / DIE	MILIEU NATUREL / DAS / DIE
Q = 300 m ³ /s	30% / 28 % / 23%	90% / 18% / 11%
Q = 800 m ³ /s	50% / 31% / 18%	90% / 21% / 12%
Q = 2000 m ³ /s	60% / 31% / 12%	100% / 26% / 12%

REFERENCES

Boutin, 2000. Dragages et rejets en mer, les produits de type vase. Presses de l'école nationale des ponts et chaussées.

GIP Loire Estuaire, 2014. Fascicule L1-E2 : La dynamique du bouchon vaseux. Cahier indicateurs N°1

Hocer, 2012: « Suivi de dragages par injection d'eau pour le GPMNSN– campagne 2011 »

Hamm L., Walther R., 2008, Morphodynamic coupling of bottom roughness and fluid mud for modeling tidal propagation in the Loire estuary, ICCE 2008, Hambourg

Sanchez M., Levacher D., 2008. Erosion d'une vase de l'estuaire de la Loire sous l'action du courant. Bull Eng Envir, 67, p597-605

Sanchez M., Grimigni P. Delanoe Y., 2004. Distribution des sédiments cohésifs en relation avec la vitesse de la phase solide dans l'estuaire de la Loire . comptes-rendus des VIIIemes journées Nationales Génie Civil-Génie Côtier, Compiègne 7 et 9 septembre 2004.

Walther R., Rivier A., Rieu J., David E. and Hamm L., 2009. Modeling three-dimensional hydro-sedimentary of the estuary of the Loire - evaluation of vertical turbulence model, Société hydraulique de France, Morphodynamics and sediment management in estuaries, bays and deltas, Paris, France, 22-23 September 2009

Walther R., Schaguene J., Hamm L., David E., 2012. Coupled 3D modeling of turbidity maximum dynamics in the Loire estuary, Coastal Engineering Proceedings, 1(33).

oOo

**Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire
(DAS) et par injection d'eau (DIE)**

Modélisation numérique

RAPPORT FINAL

ANNEXES

**Evaluation comparée des impacts sur la MES d'un dragage par aspiratrice stationnaire
(DAS) et par injection d'eau (DIE)**

Modélisation numérique

RAPPORT FINAL
