

PLAN DE GESTION PERENNE DES SEDIMENTS DE L'ESTUAIRE DE LA RANCE

TOME 2 : ETAT DES LIEUX ET DIAGNOSTIC



Mars 2024



DINAN
AGGLOMÉRATION



Auteur principal :

EPTB Rance Frémur baie de Beaussais

5 rue Gambetta, 22100 DINAN

02 96 85 02 49

Version : 8 mars 2024

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	5
PARTIE 1 : FONCTIONNEMENT HYDROSEDIMENTAIRE DU BASSIN MARITIME DE LA RANCE	6
1.1. QUEL EST LE VOLUME DE SEDIMENTATION ANNUEL ?	6
1.1.1. Les estimations antérieures au plan de gestion expérimental	6
1.1.2. Evolution de l'épaisseur des fonds et quantification de la sédimentation par bathymétrie dans le cadre du plan expérimental.....	7
1.1.3. Précisions locales des vitesses de sédimentation par datation.....	14
1.1.4. Quantification du volume de sédimentation par mesures de turbidité.....	14
1.1.5. Quantification du volume de sédimentation par modélisation.....	16
1.2. QUELLE EST L'EVOLUTION DE LA NATURE DES FONDS ?	17
1.2.1. Etudes antérieures.....	17
1.2.2. Réactualisation dans le cadre du plan expérimental	18
1.3. QUELS SONT LES FACTEURS QUI INFLUENCENT LA SEDIMENTATION ?.....	19
1.3.1. Une hydrodynamique modifiée par l'usine marémotrice	19
1.3.2. Les facteurs influençant la dynamique des sédiments en suspension	20
1.3.3. La contribution du barrage dans la sédimentation.....	21
PARTIE 2 : FONCTIONNEMENT ECOLOGIQUE DU BASSIN MARITIME DE LA RANCE.....	22
PARTIE 3 : LES ENJEUX ET ATTENTES DU TERRITOIRE EN LIEN AVEC LA GESTION DES SEDIMENTS	23
3.1. QUELQUES TRAVAUX MENES SUR LE TERRITOIRE DE L'ESTUAIRE DE LA RANCE.....	23
3.2. DELIMITATION DU PERIMETRE DE L'ESTUAIRE DE LA RANCE	23
3.3. LES USAGES DE L'ESTUAIRE DE LA RANCE ET LEUR EVOLUTION	24
3.3.1. Les usages passés et actuels de la mer.....	25
3.3.2. L'essor des activités nautiques : contribution de l'usine marémotrice ?.....	29
3.3.3. Les usages de la terre	30
3.4. IDENTIFICATION DES ENJEUX DU TERRITOIRE	32
3.5. MOBILISATION HISTORIQUE SUR LA PROBLEMATIQUE DE L'ENVASEMENT.....	33
PARTIE 4 : RETOURS D'EXPERIENCE DES OPERATIONS DE GESTION SEDIMENTAIRE	37
4.1. HISTORIQUE DE LA GESTION SEDIMENTAIRE DANS L'ESTUAIRE DE LA RANCE	37
4.2. CADRE REGLEMENTAIRE ET PROCEDURES PREALABLES A TOUTE OPERATION.....	39
4.2.1. Réglementation liée aux extractions de sédiments.....	39
4.2.2. Réglementation liée au devenir des sédiments extraits.....	40
4.3. RETOURS D'EXPERIENCE DES OPERATIONS DE DRAGAGE.....	43
4.3.1. Spécificités de l'estuaire de la Rance influençant les modalités de dragage	44
4.3.2. Méthodes de dragage adaptées aux spécificités de l'estuaire de la Rance.....	45
4.3.3. Synthèse des moyens de dragage mobilisables dans l'estuaire de la Rance	51
4.4. GESTION A TERRE DES SEDIMENTS EXTRAITS	53

4.4.1. Fonctionnement du site de transit de la Hisse (ICPE).....	53
4.4.2. Possibilités d'optimisation de la gestion du site de transit de la Hisse.....	55
4.4.3. Retours d'expérience de la gestion des sédiments stockés sur le site de St-Jouan-des-Guérets (IOTA)	56
4.5. SYNTHÈSE DES ÉTAPES À SUIVRE POUR RÉALISER UNE OPÉRATION DE DRAGAGE.....	57
4.6. RETOURS D'EXPÉRIENCE SUR LA VALORISATION DES SÉDIMENTS.....	59
4.6.1. Filière de valorisation des sédiments de dragage existantes.....	59
4.6.2. Principaux facteurs influençant la valorisation des sédiments marins de la Rance	59
4.6.3. Valorisation des sédiments en agriculture	62
4.6.4. Fabrication de béton à base de sédiments.....	65
4.6.5. Incorporation de sédiments dans un aménagement cyclable.....	67
4.6.6. Incorporation de sédiments dans le corps d'une digue ou d'un merlon végétalisé.....	67
4.6.7. Matériaux en terre crue.....	69
4.6.8. Barrière d'étanchéité	69
4.6.9. Remblaiement de carrière	70
4.6.10. Autres filières potentielles non testées avec les sédiments marins de la Rance.....	70
4.7. DEMARCHES POUR LA VALORISATION DES SÉDIMENTS ET LE DÉVELOPPEMENT DE FILIÈRES	71
4.7.1. Rappel des quantités de sédiments à valoriser	71
4.7.2. Besoin et opportunités pour la valorisation des sédiments	71
4.7.3. La démarche Sédimatériaux pour le développement de filières de valorisation des sédiments ..	74
4.7.4. Mise en œuvre d'un projet de valorisation avec les sédiments	75
4.7.5. Principaux leviers pour l'industrialisation de filières de valorisation	76
4.8. ESTIMATIONS DES COÛTS DES OPÉRATIONS	81
4.8.1. Estimation des coûts d'extraction et de gestion à terre des sédiments	81
4.8.2. Estimation des coûts de valorisation des sédiments de dragage	82
PARTIE 5 : LES CINQ LEVIERS D' ACTIONS PRÉCONISÉES PAR LE CONSEIL SCIENTIFIQUE	83
5.1. LEVIER N°1 : RÉDUIRE LES APPORTS DE SÉDIMENTS FINS.....	83
5.2. LEVIER N°2 : RECHERCHE D'UN FONCTIONNEMENT ALTERNATIF DE L'USINE MAREMOTRICE.....	83
5.3. LEVIER N°3 : MAINTIEN DU PIÈGE DU LYVET ET GESTION SÉDIMENTAIRE DE LA SÉDIMENTATION AMONT	84
5.4. LEVIER N°4 : RÉALISER DES EXTRACTIONS LOCALISÉES DE VASE POUR MAINTENIR CERTAINS USAGES, OU À FINALITÉ PATRIMONIALE	84
5.5. LEVIER N°5 : ENVISAGER UNE EXTRACTION MASSIVE DE VASE, SOUS CERTAINES CONDITIONS.....	84
LEXIQUE.....	85
ANNEXES	87
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	88

INTRODUCTION

L'état des lieux et le diagnostic basés sur l'exploitation des connaissances acquises et des retours d'expérience sont détaillés dans le présent document. Il aborde les deux volets suivants :

- **Le fonctionnement de l'estuaire d'un point de vue hydrosédimentaire, écologique et territorial.**

Ce volet vise à développer la démarche scientifique menée par le Conseil Scientifique sur la base des résultats issus des études antérieures au plan expérimental. Les choix pris par le conseil scientifique pour tenter de répondre aux questions relatives au fonctionnement de l'estuaire et aux enjeux qui se posent sur ce territoire y sont expliqués.

Ce chapitre n'a pas pour objectif de présenter en détail les résultats obtenus dans le cadre du plan expérimental, ces derniers étant déjà formalisés de façon précise au sein des rapports diagnostic du Conseil Scientifique. Il vise à rappeler les principaux messages qui ont été exploités lors de la phase de définition du plan de gestion pérenne.

- **Les retours d'expérience de la gestion sédimentaire dans l'estuaire de la Rance.**

Après un rappel de l'historique des opérations menées dans l'estuaire de la Rance, ce volet a pour but de présenter un bilan des expérimentations de gestion sédimentaire menées par l'EPTB Rance Frémur et par les précédents maîtres d'ouvrage. Ce bilan concerne tous les aspects de cette gestion des sédiments incluant les différentes modalités possibles (extraction, redistribution vers la mer, stockage à terre et valorisation).

Chaque expérimentation réalisée dans le cadre du plan expérimental a été exploitée pour en tirer des enseignements et des préconisations pour la première phase du plan de gestion pérenne.

*Les termes avec un * sont définis dans le lexique en fin de document page 85.*

PARTIE 1 : FONCTIONNEMENT HYDROSEDIMENTAIRE DU BASSIN MARITIME DE LA RANCE

L'ensemble des résultats produits par le Conseil Scientifique dans le cadre du plan de gestion expérimental ont été publiés au sein d'un rapport diagnostic « Fonctionnement hydro-sédimentaire du bassin maritime de la Rance » (Annexe 1). Dans son diagnostic, le Conseil Scientifique a choisi de mettre l'accent sur des acquis récents, sans reprendre l'ensemble des connaissances anciennes issues des travaux antérieurs. De nombreuses études ont déjà été menées par le passé, permettant d'apporter des connaissances sur le phénomène de sédimentation dans le bassin maritime de la Rance. Pour autant, malgré ces nombreux travaux, certaines questions sont restées en suspens, les estimations étant trop variables d'une étude à l'autre, avec des incertitudes fortes, et/ou les connaissances obtenues restant très localisées ou parfois non comparables entre elles.

Construire le plan de gestion pérenne nécessite de s'appuyer sur des connaissances scientifiques robustes. Ces dernières servent en effet d'aide à la décision en apportant des éléments de réponse aux questions relatives à la gestion sédimentaire dans le bassin maritime de la Rance. La mission d'expertise du CGEDD-CGE concluait dans son rapport que le programme scientifique du plan expérimental « devait porter principalement sur la principale question encore non résolue qui est celle de la connaissance de la dynamique du phénomène de sédimentation et de ses causes » (CGEDD-CGE, 2017). Les résultats ainsi précisés doivent permettre de décider d'un plan de gestion basé sur des données plus précises et admises par l'ensemble des acteurs du territoire.

Avec le temps, les méthodologies d'évaluation sont devenues plus fiables et les imprécisions de mesure ont pu ainsi être réduites. Pour autant, il est à noter qu'il est souvent difficile de s'affranchir des incertitudes ou de pouvoir apporter des éléments de réponse à toutes les questions qui se posent. La prise de décision pour la gestion sédimentaire dans le bassin maritime de la Rance s'appuiera alors sur des connaissances fiables, d'autres présentant des incertitudes ou enfin sur des hypothèses.

Le présent document n'a pas pour objectif de synthétiser l'ensemble des résultats du diagnostic mais il a pour ambition d'expliquer la démarche scientifique qui a été menée au cours du plan expérimental. Les résultats du diagnostic n'intègrent pas encore les analyses de la bathymétrie 2023 acquises dans le courant de l'année et donc du différentiel bathymétrique 2023-2018, ni de l'exploitation des données acquises dans le cadre de l'opération Chêne Vert.

1.1. QUEL EST LE VOLUME DE SEDIMENTATION ANNUEL ?

L'estimation du volume de sédimentation est d'une importance majeure puisque cette valeur va déterminer l'ampleur des actions de gestion sédimentaire à mener pour répondre aux objectifs fixés dans le rapport CGEDD-CGE, à savoir réduire au maximum, voire mettre un terme à la sédimentation (CGEDD-CGE, 2017).

1.1.1. LES ESTIMATIONS ANTERIEURES AU PLAN DE GESTION EXPERIMENTAL

Plusieurs études ont été réalisées pour analyser l'évolution des fonds et quantifier au cours du temps les dépôts de sédiments dans le bassin maritime de la Rance. Les estimations obtenues de ces différents travaux sont très variables, parfois basées sur un certain nombre d'approximations et avec, lorsqu'elles sont calculées, des incertitudes fortes.

A titre d'exemple, les études publiées par EDF/LNHE (Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement) estimaient une sédimentation variant environ de 33 000 m³/an (1,5 millions de m³ en 45 ans, avec une marge d'erreur importante) à 152 000 m³/an. Ces dernières ont été estimées à partir de profils de levés

bathymétriques* datant de 1957 (EDF), 1981 (LCHF – Laboratoire Central d’Hydraulique de France) et de 1998 (Denot et Marcos, 1999) et par modélisation (Guesmia, 2001), respectivement.

D’autres mesures plus précises ont permis d’estimer la vitesse de sédimentation en certains points de l’estuaire telles que des mesures par datation de radioéléments (Bonnot-Courtois et al., 2002) et des suivis altimétriques sur vasière (Jigorel et al., 2012). Cependant, ces estimations sont ponctuelles dans le temps et dans l’espace et il est délicat de les extrapoler à l’échelle de l’estuaire pour en tirer un volume annuel de sédimentation sans que le résultat ne soit entaché d’une forte incertitude.

Depuis, des mesures plus précises et/ou couvrant l’ensemble de l’estuaire ont pu être acquises. Le Conseil Scientifique du plan de gestion a souhaité les exploiter pour mettre à jour ces estimations. Cette démarche est expliquée ci-après.

1.1.2. EVOLUTION DE L’ÉPAISSEUR DES FONDS ET QUANTIFICATION DE LA SEDIMENTATION PAR BATHYMETRIE DANS LE CADRE DU PLAN EXPERIMENTAL

En vue d’objectiver les volumes de sédimentation tel que recommandé par le rapport du CGEDD-CGE de mai 2017, le Conseil Scientifique du plan de gestion expérimental a travaillé à partir de trois relevés topo-bathymétriques* à peu près complets du bassin maritime (figure 1) : la carte de 1957 élaborée par EDF, la carte de « 2010 » (combinant les informations du levé LiDAR* de 2009 et les sondages hydrographiques* de 2011) et la carte de 2018.

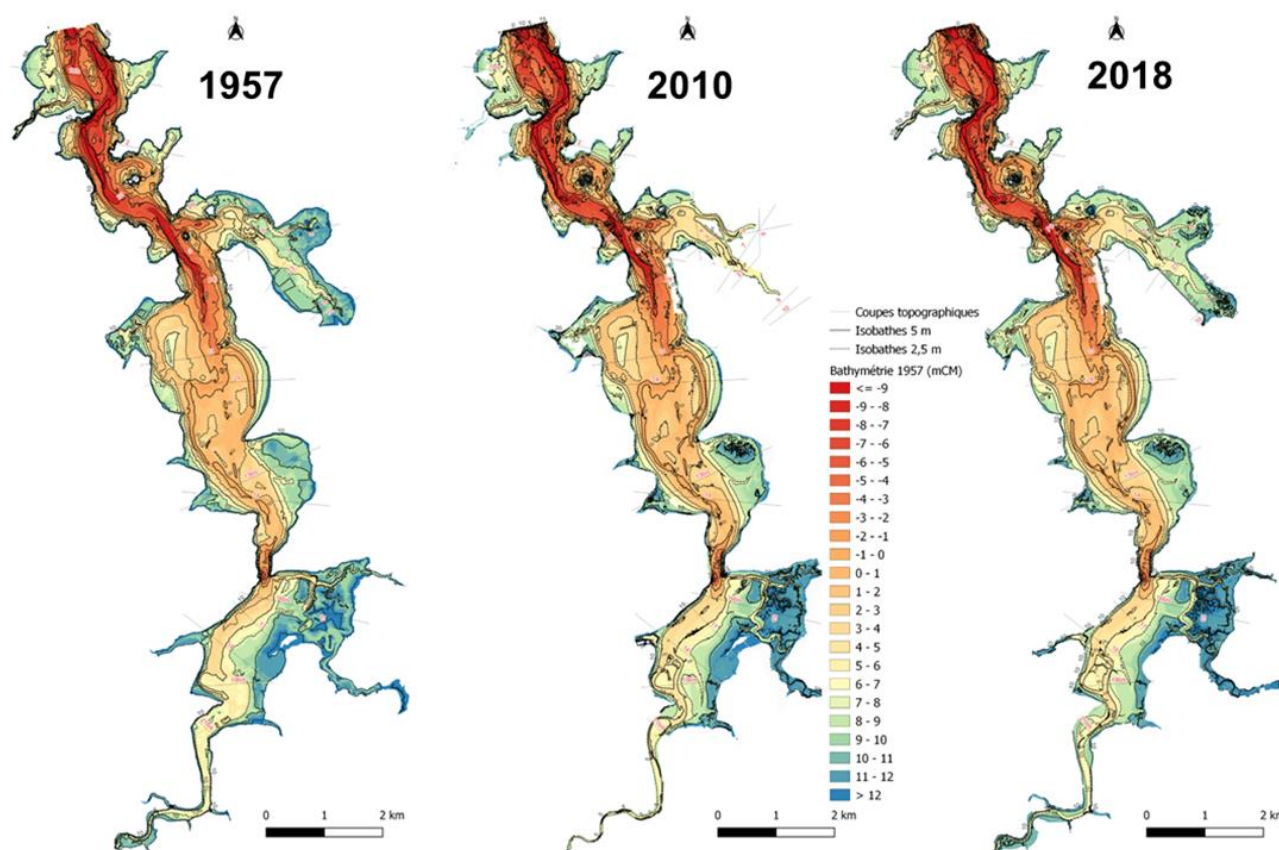


Figure 1 : Bathymétrie de l’estuaire de la Rance en 1957, 2010 et 2018 (extrait du rapport diagnostic « Fonctionnement hydro-sédimentaire du bassin maritime de la Rance » du Conseil Scientifique, 2023)

1.1.2.1. Exploitation des cartographies

La comparaison de ces cartographies, réalisée par un calcul de différentiel bathymétrique*, permet de déterminer l’évolution morphologique du bassin maritime entre :

- La situation avant barrage et au cours de la dernière décennie (2018), représentant de façon schématique l'effet du barrage et de l'usine marémotrice,
- La situation en 2018 et celle de 2010, représentant la « dynamique actuelle » des sédiments, qui sera actualisée par l'exploitation de la bathymétrie de 2023.

Il est à noter que les mesures topo-bathymétriques ont toujours une imprécision de l'ordre de la dizaine de cm pour les données récentes, et sans doute plus pour les données anciennes. Lorsqu'un différentiel bathymétrique est calculé, les erreurs sont susceptibles de s'ajouter. Bien que les erreurs ne s'appliquent pas uniformément sur l'ensemble du bassin, elles entraînent néanmoins une énorme incertitude sur les bilans sédimentaires. En effet, un « décalage » de 20 cm étendu sur une surface de 20 km² représente un volume de 4 millions de m³.

Pour tenir compte de l'incertitude sur les différents levés, le Conseil Scientifique a décidé de blanchir les secteurs pour lesquels la différence entre les topo-bathymétries est inférieure à + 25 ou - 25 cm (cf. Annexe A6 du diagnostic - « Note d'analyse du différentiel bathymétrique de 2018-2010 »). Les différentiels bathymétriques 2018-2010 et 2018-1957 sont présentés dans la figure 2. Les zones en accrétion* sont en rouge et celles en érosion en bleu.

1.1.2.2. Evolution des fonds avant et après barrage

Le fichier numérique de la bathymétrie 1957 (Modèle Numérique de Terrain – MNT*), réalisé à partir de la numérisation de la carte de 1957, contient quelques erreurs. Ces dernières sont liées à des isobathes* non étiquetées sur la carte qui n'ont pas été prises en compte lors de la numérisation. De plus, le MNT était caractérisé par un décalage de la partie amont de l'estuaire, probablement induit pendant la numérisation lors de la jointure de ce secteur avec le reste de l'estuaire. Il a donc été fait le choix de supprimer le secteur amont du fichier numérique (figure 2). Le MNT de 1957 étant incomplet, le Conseil Scientifique a donc estimé qu'il était préférable d'analyser des sections caractéristiques plutôt que de calculer un bilan sédimentaire global.

Même si des incertitudes demeurent, ce différentiel reste le seul élément factuel de comparaison avant/après barrage disponible aujourd'hui. Il serait intéressant de rééditer le fichier numérique à partir d'une nouvelle numérisation de la carte de 1957. Cependant, cela représente un travail long et coûteux.

Pour s'assurer toutefois de la qualité des données du MNT de 1957 et confirmer les tendances observées (accrétion/érosion) dans certains secteurs sur le différentiel bathymétrique 2018-1957 (figure 2), un travail important de comparaison entre les différentes bathymétries a été réalisé par le Conseil Scientifique. Sur 24 sections réparties dans le bassin maritime (visibles sur les figures 1 et 2), les bathymétries issues des MNT 1957, 2010 et 2018 ont été reportées ainsi que les relevés manuels issus de la carte de 1957. En effet, un scan à très haute résolution de la carte de 1957 a pu être récupéré auprès des archives départementales d'Ille-et-Vilaine et exploité à cet effet, en reportant les sections produites par le Conseil Scientifique sur ce scan.

D'autres levés bathymétriques ont été acquis en 1981 (LCHF) et 1998 (EDF) le long de ces mêmes sections. Cependant, seulement quelques-uns ont pu être exploités. Pour le reste, le Conseil Scientifique a estimé que la superposition de ces levés avec les profils plus récents ne permettait pas une comparaison fiable et a préféré les écarter du jeu de données. En effet, la superposition des profils de 1981 et de 1998 entre eux réalisée par Denot et Marcos (1999) repose déjà sur un certain nombre d'approximations avec des incertitudes fortes, rendant encore plus difficile leur comparaison avec les autres levés.

L'ensemble des coupes topo-bathymétriques et l'analyse associée sont consultables dans le rapport du Conseil Scientifique. Seule la synthèse des évolutions à l'échelle de l'estuaire est retranscrite ci-après.

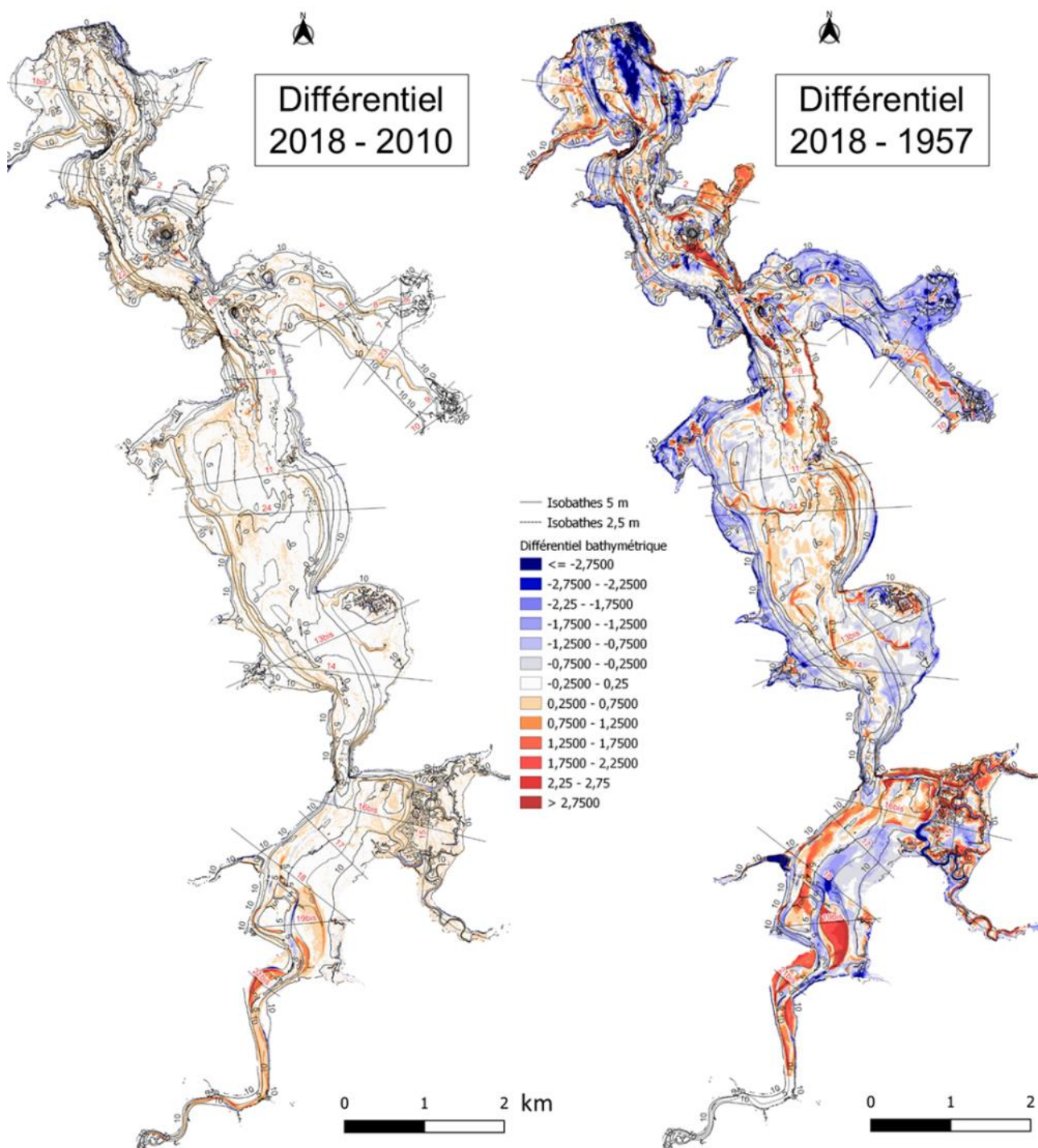


Figure 2 : différentiel bathymétrique 2018-2010 (à gauche) et différentiel 2018-1957 (à droite) exprimés en mètres. Les secteurs en érosion sont en bleu et les dépôts sont en rouge. Les isobathes* 2018 et les sections sont tracées en noir sur chaque carte pour visualiser le relief (extrait du rapport diagnostic « Fonctionnement hydro-sédimentaire du bassin maritime de la Rance » du Conseil Scientifique, 2023)

La comparaison entre la situation de 2018 et celle d'avant barrage montre une sédimentation importante dans la partie amont de l'estuaire, en particulier au sud de Mordreuc, avec des dépôts pouvant atteindre parfois 2 à 3 m (exemple du Chêne Vert, figure 3). A l'inverse, le reste du bassin au Nord de la cluse du Port St-Jean, à l'exception de quelques zones localisées comme au sud de l'île Chevret, est en érosion. Le bras de Châteauneuf semble également dominé par une érosion de l'ordre de 50 cm à 1 m (figure 2).



Figure 3 : Carte postale ancienne du Chêne Vert (date estimée entre 1904-1908) issue de la collection publique des Archives départementales des Côtes d'Armor et photographie plus récente prise par E. Motte (extraites de la collection diffusée par E. Motte, 2016 dans le cadre de sa thèse à l'adresse suivante : <http://geocomme.cluster030.hosting.ovh.net/doc/le-chene-vert-6/?Back=1>)

Excepté à l'amont immédiat des vannes du barrage, où une érosion intense provoquée par les forts courants générés par le fonctionnement de l'UMR est visible, l'érosion est principalement concentrée sur les rives, en particulier pour la rive occidentale, là où les courants de marée sont pourtant faibles. Une possible explication serait l'amplification du rôle érosif des clapots* sur le haut estran*, entretenu par l'étalement* de pleine mer prolongée, cette dernière se produisant à un niveau d'eau qui varie moins depuis la mise en service de l'usine marémotrice.

L'érosion est également significative dans des secteurs dont l'élévation actuelle est comprise entre 5 et 8 m CM* (= Cote Marine), bien inférieure aux niveaux d'eau hauts actuellement pratiqués. Une bonne partie de cette érosion pourrait avoir eu lieu pendant les trois années de fermeture de l'estuaire (de 1963 à 1966) lors de la phase de construction de l'usine, période pendant laquelle le plan d'eau est resté à la cote 8,5 m CM. Les clapots générés par le vent auraient pu alors impacter des fonds situés entre 6 et 8 m CM pendant cette période.

1.1.2.3. Evolution « actuelle » des fonds : quantification d'un volume de sédimentation annuelle

Un bilan sédimentaire a pu être établi par le Conseil Scientifique à partir des bathymétries de 2010 et 2018. Toutefois, il faut garder à l'esprit que ce différentiel bathymétrique présente une incertitude encore élevée (cf. Annexe A6 du rapport diagnostic « Note d'analyse du différentiel bathymétrique de 2018-2010 »).

La comparaison entre les cartographies de 2010 et 2018 donne une sédimentation nette de l'ordre de 1 Mm³ (960 000 m³ précisément), soit un volume annuel moyen de 120 000 m³/an (figure 2). Ce volume inclut à la fois l'apport du bassin versant et celui du large, transitant par le barrage. A partir de ces résultats, et en considérant un apport de vase provenant de la Rance fluviale entre 3 800 et 19 000 m³/an basé sur un calcul approximatif (cf. Annexe 1), le Conseil Scientifique a estimé un flux annuel transitant à travers le barrage de l'ordre de 100 000 m³/an.

La distribution de ce volume varie en fonction des zones concernées. Très spectaculaire en amont de la pointe du Chêne Vert, elle est répartie à 80% entre l'écluse du Châtelier et la commune du Minihic-sur-Rance (pointe du Ton), soit les zones 1B, 2 et 3 (figure 4). Les dépôts sont majoritaires dans les secteurs toujours immergés et ceux situés un peu au-dessus des niveaux d'eau bas actuels (6 m CM). A l'échelle du bassin, les niveaux supérieurs à 10 m CM sont globalement en érosion. Là encore, l'action érosive des clapots, entretenue par la longue étalement de pleine mer, pourrait en être la cause.

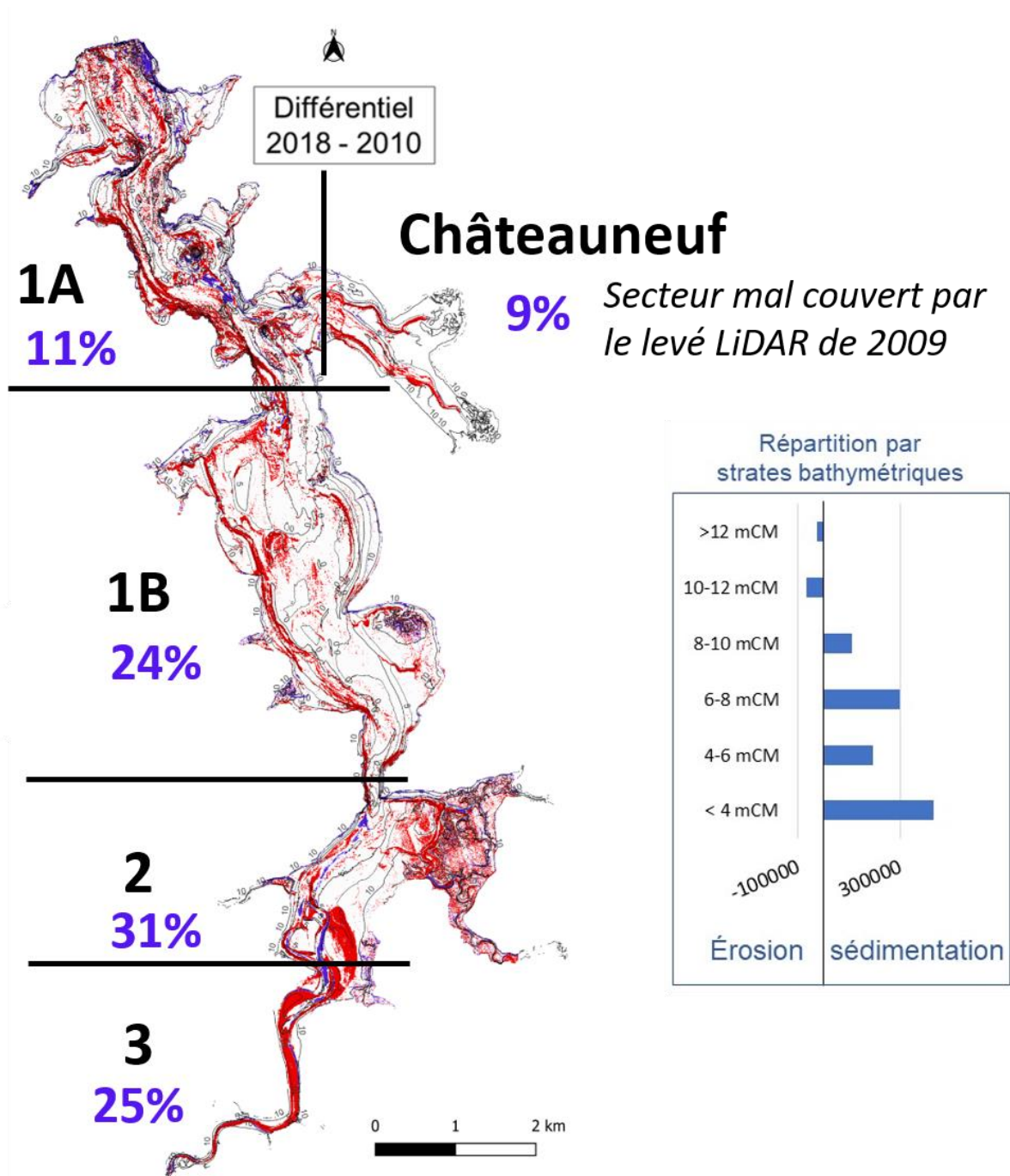


Figure 4 : Répartition du bilan sédimentaire entre 2010 et 2018 par secteurs géographiques, avec les zones en accrétion représentées en rouge et celles en érosion, en bleu (à gauche) et selon les strates bathymétriques (à droite). La zone « Châteauneuf » est un secteur qui a été mal couvert par le levé bathymétrique réalisé en 2009. Le chiffre en bleu indique la répartition de la sédimentation par zone. Les secteurs ont été renumérotés pour coïncider avec la numérotation ancienne utilisée dans les précédentes études. La correspondance entre cette dernière et celle utilisée par le Conseil Scientifique est la suivante : Châteauneuf = 5, 1A = 4, 1B = 3, 2 = 2 et 3 = 1 (modifiée d'après les figures 34 et 35 du rapport « Fonctionnement hydro-sédimentaire du bassin maritime de la Rance » du Conseil Scientifique, 2023).

1.1.2.4. Comparaison avec les travaux antérieurs

La mise en regard avec les bathymétries anciennes (carte du SHOM de 1889, consultable en annexe 2b, et carte de 1957 d'EDF) permet de montrer que certains secteurs sont caractérisés par une dynamique intense. Par exemple, le chenal de la Moinerie existait à la fin du 19^{ème} siècle (visible sur la carte du SHOM de 1889) mais avait quasiment disparu en 1957 (figure 1). Depuis, le chenal s'est creusé avant de se combler rapidement lors de la dernière décennie (figures 5 et 6).



Figure 5 : Vues aériennes du secteur Chêne Vert / Mordreuc en 1953 et 2003 (d'après IGN remonterletemps.ign.fr ; en bas) (extrait du rapport diagnostic « Fonctionnement hydro-sédimentaire du bassin maritime de la Rance » du Conseil Scientifique, 2023).

Ces résultats mettent aussi en avant que la comparaison de bathymétries réalisées entre 2 périodes éloignées ne traduise pas forcément la dynamique d'un secteur dans son intégralité, en particulier sur ce qui se passe entre ces 2 périodes, mais seulement son état à des dates données.

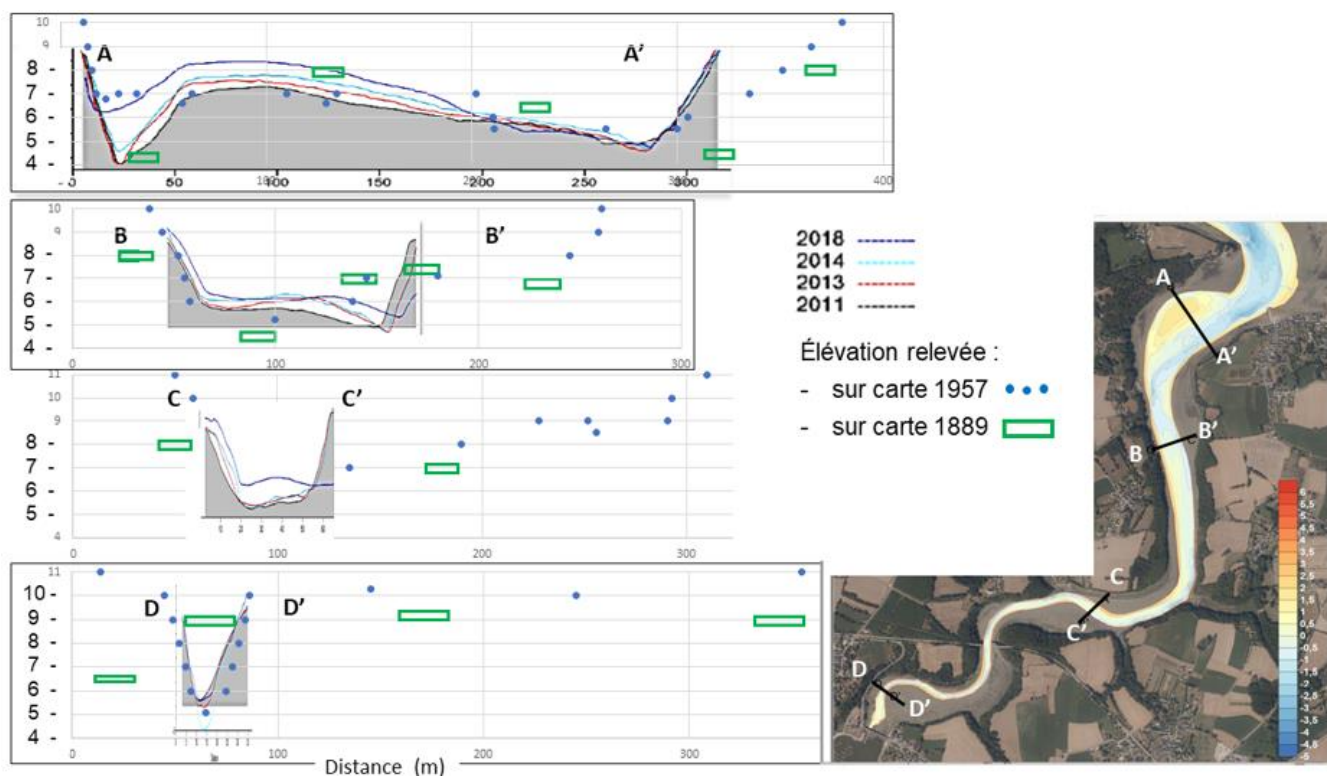


Figure 6 : Evolution de la morphologie de l'amont du bassin de la Rance selon 4 sections (d'après les données EDF et les traitements iDRA pour les sections postérieures à 2011, et les relevés manuels à partir des cartes de 1889 et 1957 réalisés par le Conseil Scientifique (extrait du rapport diagnostic « Fonctionnement hydro-sédimentaire du bassin maritime de la Rance » du Conseil Scientifique, 2023).

Dans le bras de Châteauneuf, le levé LiDAR* de 2009 ne couvrait pas entièrement le secteur, ne permettant pas d'avoir un bilan sédimentaire global de la zone (figure 4). Toutefois, la comparaison de photographies aériennes récentes et datant de 1952 montre que le secteur semble avoir peu évolué, avec la présence des

mêmes petits chenaux (filandres ou ruets), mais potentiellement remplis de vase molle car moins actifs depuis la construction du barrage (figure 7). L'exploitation de la bathymétrie 2023 permettra de déterminer si la tendance d'érosion observée sur la période 1957-2018 en haut d'estran est un processus qui se poursuit.



Figure 7 : Comparaison de deux vues aériennes du bras de Châteauneuf à près de 70 ans d'intervalle (d'après le site IGN remonterletemps.ign.fr, extrait du rapport diagnostic « Fonctionnement hydro-sédimentaire du bassin maritime de la Rance » du Conseil Scientifique, 2023).

Globalement, les herbus* dans le bassin maritime sont plutôt en érosion, aussi bien latéralement (un exemple d'érosion latérale de front d'herbus est visible à la figure 7 dans le secteur entouré en rouge) que verticalement (pour plus d'informations, cf. partie 2).

1.1.2.5. Evolution très récente du secteur amont : comparaison aux bathymétries locales

En amont de Mordreuc, la sédimentation constatée entre 2010 et 2018 s'est poursuivie depuis (observée sur les bathymétries plus récentes d'EDF, figure 8), avec en particulier un comblement assez rapide du chenal du banc de la Moinerie.

Cette sédimentation soudaine après construction du barrage est en partie engendrée par l'impossibilité pour la marée de se propager au-delà du Châtelier, du fait d'un rehaussement du barrage de Lyvet. Cet envasement, se produisant à l'origine plus en amont, est favorisé par la réduction du marnage liée au fonctionnement de l'usine marémotrice (cf. partie 1.3.1).

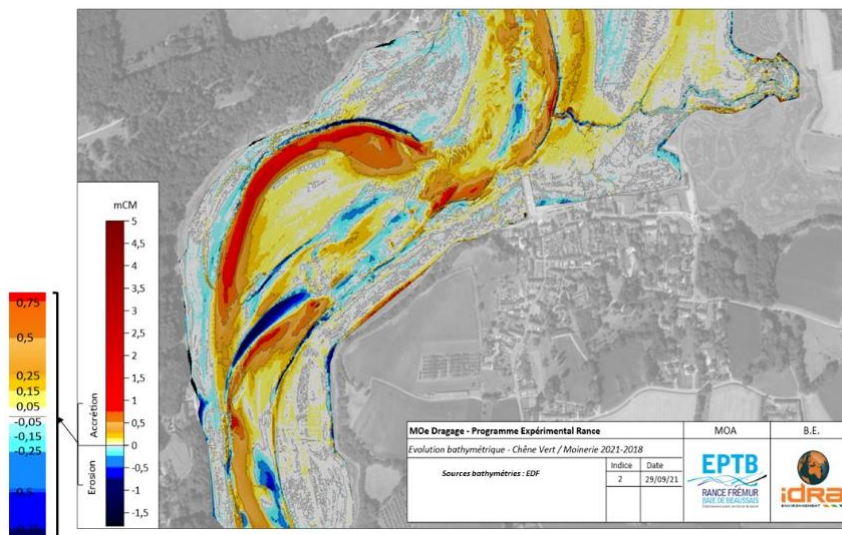


Figure 8 : Sédimentations et érosions récentes dans la partie amont de la Rance, à partir du différentiel bathymétrique 2021-2018 (données EDF et traitements idRA pour l'EPTB, extrait du rapport diagnostic « Fonctionnement hydro-sédimentaire du bassin maritime de la Rance » du Conseil Scientifique, 2023).

La réactualisation de ces connaissances avec l'exploitation de la bathymétrie 2023 permettra de compléter les informations pour les secteurs dont la donnée manquait (exemple du bras de Châteauneuf) et de préciser

le volume annuel avec des imprécisions de mesure plus réduites. En effet, la bathymétrie 2023 a été réalisée par EDF selon le même protocole et surface d'échantillonnage qu'en 2018.

1.1.3. PRECISIONS LOCALES DES VITESSES DE SEDIMENTATION PAR DATATION

Pour préciser les vitesses actuelles de sédimentation et dans la mesure du possible les comparer à la situation d'avant barrage, une campagne de carottage* a été réalisée dans le cadre du plan expérimental par l'Université de Bordeaux et Géo-transfert, sous pilotage de l'EPTB Rance Frémur et du Conseil Scientifique (Maneux et al., 2022). Un des objectifs était de mesurer les vitesses avec lesquelles les sédiments se déposent par datation. Ces mesures sont très précises et permettent de pallier l'imprécision des estimations obtenues avec les différentiels bathymétriques mais n'apportent de l'information que de façon très localisée.

Parmi les 19 carottes prélevées, 11 ont fait l'objet d'analyses d'éléments radioactifs (le plomb 210 et le Césium 137). Les analyses réalisées et l'ensemble des résultats sont décrits en annexes 1 et 3. Seuls les principaux résultats sur les datations sont récapitulés ci-après.

Les mesures montrent une augmentation des vitesses de sédimentation d'aval en amont du bassin maritime, avec des valeurs qui varient de l'ordre du mm à plusieurs cm/an (5 à 6 cm/an pour la carotte N°1). Trois carottes (au Sud du Camp Viking, en face de l'anse du Minihic-sur-Rance et dans l'anse de La Gautier) étaient caractérisées par des radioactivités négligeables, ne révélant pas de sédimentation fine récente (figure 9).

Dans certains cas, les analyses ont permis d'accéder à un taux de sédimentation pour la période avant barrage (chiffres en bleu dans la figure 9). C'est le cas pour les carottes 18 et 24, qui présentaient des vitesses 2 à 3 fois plus faibles avant la construction du barrage. Ces résultats sont cohérents avec les valeurs issues des précédentes campagnes de carottage (Bonnot-Courtois et al., 2002 et Motte, 2016).

Les carottages et datations permettent d'apporter des précisions sur la dynamique actuelle, mais seulement de façon très localisée. Dans l'ensemble, les résultats des datations sont cohérents avec ceux des différentiels bathymétriques, sauf pour 2 carottes qui présentaient des vitesses difficilement compatibles (cf. Annexe 1). C'est le cas pour la carotte prélevée en baie de Châteauneuf dont l'explication avancée serait un défaut de positionnement.

Ces résultats sont également cohérents avec les suivis altimétriques sur vasière réalisés par l'INSA de Rennes (Jigorel et al., 2012). Souvent, l'épaisseur estimée des dépôts sédimentaires, même cumulés depuis la construction de l'usine marémotrice, reste du même ordre que la marge d'erreur des différentiels (zones blanches).

L'analyse du différentiel bathymétrique réactualisé avec la bathymétrie de 2023, permettra de lever le doute sur certaines observations.

1.1.4. QUANTIFICATION DU VOLUME DE SEDIMENTATION PAR MESURES DE TURBIDITE

Avant le plan expérimental, la connaissance sur la dynamique des sédiments en suspension dans le bassin maritime de la Rance restait partielle. Les études antérieures reposaient surtout sur des mesures ponctuelles de concentration en matières en suspension* (MES) ne permettant pas de décrire la variabilité des MES de l'estuaire, particulièrement importante dans ce type d'environnement.

Avant la construction du barrage, seule la thèse de Roa Morales (1956) s'est intéressée à la turbidité* dans l'estuaire. Depuis la mise en service de l'usine, quelques travaux ont permis de mesurer la turbidité en différentes stations de l'estuaire à partir des années 90 (Bonnot-Courtois et Lafond, 1991 ; Lorin, 1999 ; Le Normand et Marcos, 1999).

En combinant les données de concentrations en MES à des mesures de vitesses de courant acquises conjointement, il est possible d'estimer un flux sédimentaire annuel à travers une section de l'estuaire. Les précédents travaux ne permettent pas toujours de faire une estimation rigoureuse. Bien souvent ces mesures ont été réalisées au mieux à l'échelle d'un cycle de marée. L'extrapolation de ces mesures ponctuelles dans le temps sur une année reste délicate. En se basant sur de fortes approximations, Bonnot-Courtois et Lafond (1991) avaient estimé un flux traversant la cluse de Port St-Jean à hauteur de 32 500 tonnes/an, calculé à partir de la moyenne des mesures réalisées pour un cycle de marée en vive-eau* (VE) et en morte-eau* (ME). En considérant que lorsque les particules en suspension sédimentent, elles constituent une vase de concentration d'environ 500 kg/m³ (cf. Annexe 1), cela constitue un apport sédimentaire vers l'amont d'environ 65 000 m³/an.

Des mesures très récentes de courant et de MES, obtenues dans le cadre du plan expérimental par l'EPTB Rance Frémur en 2020-2021, ont permis de mieux comprendre les facteurs qui influencent la dynamique sédimentaire de l'estuaire de la Rance (cf. 1.3.2). Ces dernières ont été acquises en continu par le déploiement de 2 stations fixes, au niveau de la cluse du Port St-Jean et à l'aval du barrage, sur une période de 3 et 6 mois, respectivement (figure 10). A partir de ces mesures simultanées de courant et de MES, le Conseil Scientifique a pu estimer un flux de sédiments fins dans la cluse du Port St-Jean sur 3 mois. En extrapolant sur une année, ce flux net transitant dans la cluse et orienté toujours vers l'amont, s'élève à environ 50 000 m³/an.

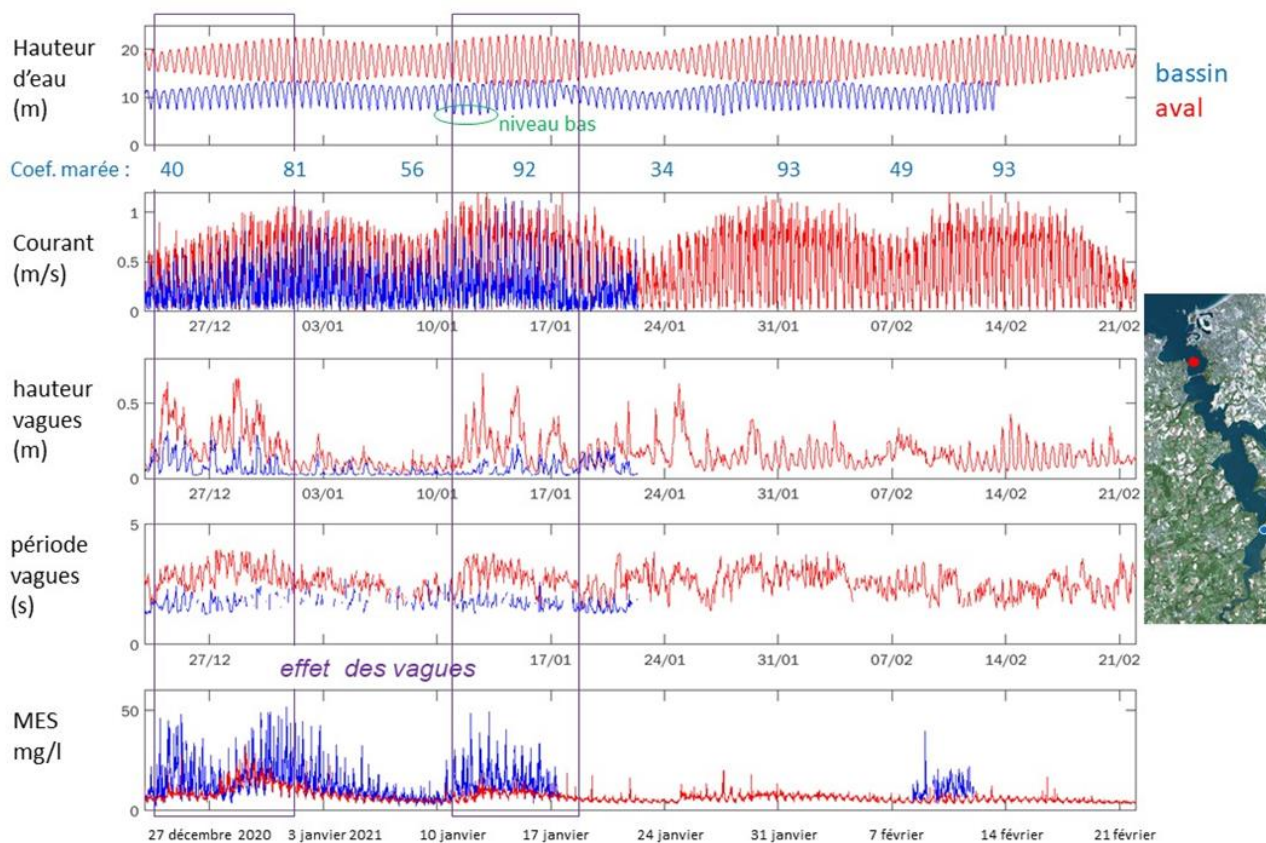


Figure 10 : Mesure en continu de hauteur d'eau, de courant, de hauteur et période des vagues et de MES près du fond à la station de la pointe de la Jument (rouge) et dans la cluse de Port St-Jean (bleu) (données EPTB Rance), de décembre 2020 à février 2021 (extrait du rapport diagnostic « Fonctionnement hydro-sédimentaire du bassin maritime de la Rance » du Conseil Scientifique, 2023).

1.1.5. QUANTIFICATION DU VOLUME DE SEDIMENTATION PAR MODELISATION

Comme évoqué précédemment, le volume de sédimentation par modélisation a déjà été estimé par le passé mais avec des incertitudes relativement importantes.

Dans le cadre du plan de gestion expérimental, deux modèles hydro-sédimentaires complémentaires ont été développés afin de mieux comprendre le fonctionnement hydro-sédimentaire du bassin et mettre en évidence le rôle de l'usine marémotrice (cf. partie 1.3). Les résultats de simulations issues du modèle MARS-3D et exploités par le Conseil Scientifique ont permis d'estimer à travers le barrage un flux net de sédiments fins orienté vers l'amont d'environ 140 000 m³/an.

1.2. QUELLE EST L'EVOLUTION DE LA NATURE DES FONDS ?

1.2.1. ETUDES ANTERIEURES

La nature des fonds de l'estuaire de la Rance a été décrite dès la fin du 18^{ème} et du 19^{ème} siècle dans des cartes réalisées respectivement par les Ingénieurs Géographes militaires (dans Bonnot-Courtois et al., 2002) et le Service Hydrographique de la Marine (SHM, appelé aujourd'hui SHOM), consultables dans les annexes 2a et 2b. Bien qu'imprécises, ces cartes permettent d'avoir une idée approximative de la nature des fonds de l'époque. Elles décrivent notamment la présence de bancs de sables dans la partie aval de l'estuaire tandis que des sables vaseux et des vases fines recouvraient les anses et la partie amont de l'estuaire.

Les premières cartes permettant de connaître plus précisément la répartition des sédiments avant la construction du barrage ont été réalisées en 1956 par Ruellan et Roa Morales (cf. annexe 2c). Ces cartes sédimentologiques restent schématiques mais mettent en évidence que la plupart des anses, environ les trois-quarts d'après Stratakis (1986), étaient tapissées de vases avant la construction du barrage. Le chenal était quant à lui composé de fonds durs depuis l'aval, avec toujours la présence des bancs de sable à l'embouchure (banc des Rozias ou de Solidor), jusqu'à Port Saint-Jean, suivis de sable jusqu'au Châtelier. La partie centrale de la plaine de Mordreuc était également recouverte par des fonds sableux. Des bandes étroites de sables moyens issus de l'érosion côtière bordaient le haut estran de certaines anses. A l'exception de l'extrémité amont (entre Mordreuc et l'écluse du Châtelier) où de la vase fraîche se déposait déjà, Roa Morales (1956) précise que toutes les formations fines présentes dans l'estuaire correspondaient à des dépôts anciens (aussi appelés tangué*).

Depuis la construction de l'usine marémotrice, plusieurs cartes ont été dressées pour faire état de l'évolution de la distribution des sédiments superficiels dans le bassin (Retière et Richard, 1980 ; LCHF, 1982 ; Bonnot-Courtois et al., 1995). La comparaison de ces cartes entre elles, réalisées à partir de méthodes d'analyse différentes avec des incertitudes parfois élevées, n'est pas très précise et doit être faite avec prudence. Par exemple, la carte du LCHF, réalisée presque vingt ans après la mise en service de l'usine marémotrice, se focalisait uniquement sur la fraction fine des sédiments. De plus, la classification des échantillons en faciès sédimentaire diffère selon les auteurs, ce qui rend la comparaison difficile. Bonnot-Courtois et al. (2002) soulignent toutefois une augmentation de la sédimentation fine dans la zone centrale de l'estuaire, un remplacement des cailloutis et sables grossiers par des sables moyens et grossiers au Nord et à l'inverse, une érosion des fonds formés maintenant de matériaux très grossiers à l'amont immédiat du barrage (érosion liée à l'action des turbines).

Une carte comportant des classes granulométriques* très précises et plus détaillées que celles des cartes précédentes est finalement réalisée en 1994 (publiée dans Bonnot-Courtois et al., 1995, Annexe 2d). Là aussi, la comparaison avec les études antérieures reste difficile mais montre également un affinement de la taille des sédiments en amont de la cluse du Port St-Jean.

Ces observations sur la nature vaseuse des fonds de l'estuaire avant barrage, en particulier pour la partie amont, font l'objet de discussions. Plusieurs témoignages et documents font état d'une modification de la nature du sédiment superficiel dans ce secteur passant de sableux avant barrage à vaseux ensuite : avant la mise en place de l'UMR, le sédiment de l'estran entre l'écluse du Châtelier et le pont de Lessart est souvent décrit comme sableux, comme le montre la photographie de la figure 11. Toujours est-il que ces observations ne contredisent pas le fait que ce secteur s'est fortement engraisé depuis par un apport de vase et que ce phénomène se poursuit encore aujourd'hui.



Figure 11 : Photographie ancienne montrant un fond sédimentaire probablement sableux au niveau du pont de Lessart, en cours de reconstruction vers 1950 (photo aimablement transmise par L. Delahaie, extrait du rapport diagnostic « Fonctionnement hydro-sédimentaire du bassin maritime de la Rance » du Conseil Scientifique, 2023).

1.2.2. REACTUALISATION DANS LE CADRE DU PLAN EXPERIMENTAL

Dans le cadre du plan expérimental, le Conseil Scientifique a analysé la variation de la nature des sédiments superficiels en comparant les résultats d'analyses granulométriques de prélèvements datant de 1994 (Bonnot-Courtois et al., 1995) et d'un échantillonnage récent de 2020-2022 (Ifremer et EPTB Rance) obtenus sur la base du même protocole d'analyse.

Un essai de cartographie de la couverture sédimentaire a été réalisé par l'Université de Bordeaux. En raison d'un nombre d'échantillons trop faible en 2020-2022 (129) et des variations spatiales importantes de la granulométrie* compte tenu de la morphologie du bassin, il n'a pas été possible pour l'instant d'aboutir à une carte sédimentaire interpolée. Une approche basée sur une méthode recoupant plusieurs paramètres tels que la bathymétrie, vitesse des courants de marée, etc., sera testée en 2024.

Dans l'attente, le Conseil Scientifique a raisonné sur les stations elles-mêmes et s'est focalisé sur la fraction fine au sein de chaque échantillon, en rassemblant les classes de vase pure (particules de taille inférieure à 40 μm) et de silts (entre 40 et 100 μm). La comparaison montre une légère réduction de la fraction fine pour les secteurs situés en bas et moyen estran (figure 12, secteurs entre 3 et 8 m CM). A l'inverse, le pourcentage de la fraction (vase et silts) augmente dans les secteurs plus profonds (<0 m CM) et dans les secteurs du haut estran (8-10 m CM).

Ces résultats semblent cohérents avec les résultats du différentiel bathymétrique.

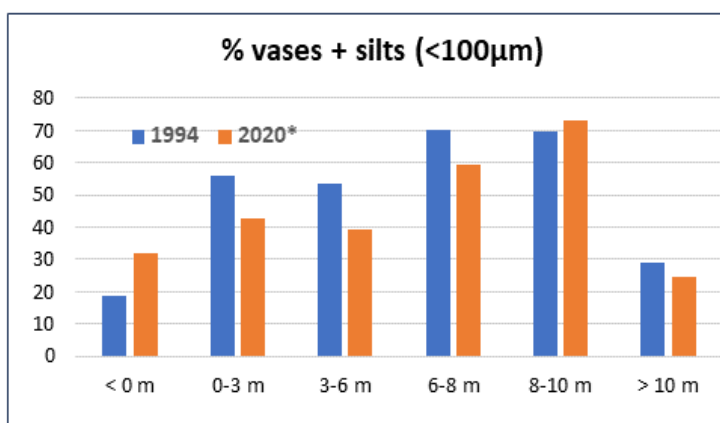


Figure 12 : Evolution de la fraction fine dans le sédiment superficiel : comparaison statistique des valeurs 1994 et 2020-2022 par tranches bathymétriques (extrait du rapport diagnostic « Fonctionnement hydro-sédimentaire du bassin maritime de la Rance » du Conseil Scientifique, 2023).

1.3. QUELS SONT LES FACTEURS QUI INFLUENCENT LA SEDIMENTATION ?

1.3.1. UNE HYDRODYNAMIQUE MODIFIEE PAR L'USINE MAREMOTRICE

Les modifications de la marée dans le bassin maritime de la Rance depuis la mise en service de l'usine sont bien connues et sont étayées par de nombreuses études (Retière et Richard, 1980 ; LCHF, 1982 ; Denot et Marcos, 1999).

Le marnage* a en effet été divisé d'un facteur 2. Cette réduction se traduit par une hausse du niveau bas, qui reste maintenant quasi constant (en dehors des niveaux très bas pratiqués par EDF depuis 2020) et correspond au niveau de mi-marée avant barrage, et une baisse du niveau haut (6,7 m CM en moyenne), qui varie peu par rapport aux variations naturelles (figure 13). Il en résulte un rétrécissement de l'estran et la quasi-disparition des secteurs qui n'étaient immergés que lors des fortes vives eaux.

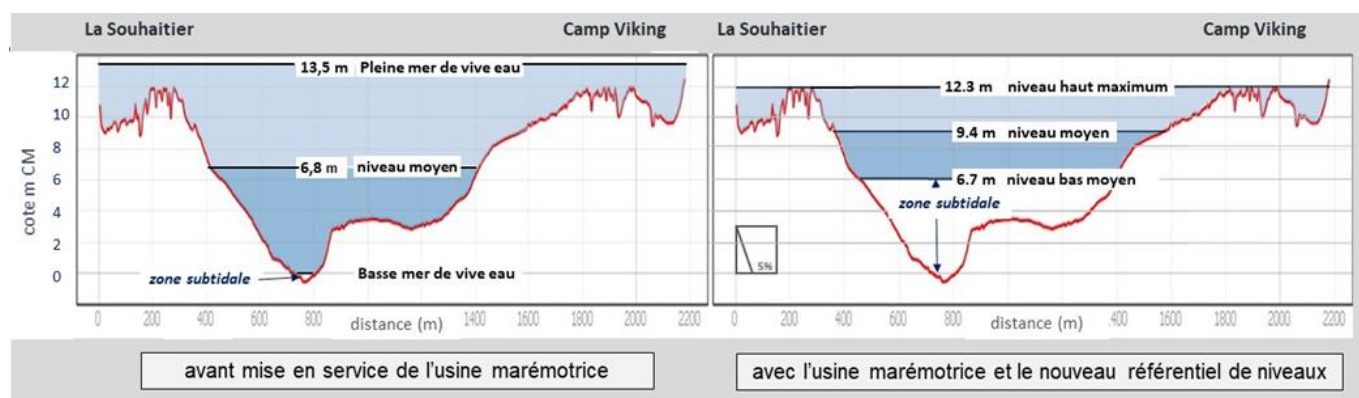


Figure 13 : Représentation des niveaux d'eau avant (à gauche) et après (à droite) mise en service de l'usine marémotrice, sur la section La Souhaitier – camp viking (en rouge sur la carte) (extrait du rapport diagnostic « Fonctionnement hydro-sédimentaire du bassin maritime de la Rance » du Conseil Scientifique, 2023).

Jusqu'au plan expérimental, les mesures de courant acquises par le passé n'étaient pas nombreuses et ce d'autant plus avant la construction du barrage (Manceau, 2007). Elles se résument souvent à des données obtenues sur quelques stations et ponctuellement dans le temps, ne permettant pas de décrire la courantologie à l'échelle du bassin. Dans le cadre du plan expérimental, les mesures récentes acquises par l'EPTB mais surtout l'utilisation de la modélisation numérique par le Conseil Scientifique, en particulier à partir du modèle MARS-3D d'Ifremer (Ifremer 2021a, 2021b, 2021c), ont permis d'avoir accès à cette information. Des cartes horaires de courants de marée ont ainsi notamment été produites pour 3 marées, à savoir en ME, en VE et pour une marée moyenne (consultables en annexes du rapport diagnostic du Conseil Scientifique). Des simulations avec et sans barrage ont également permis de mieux comprendre l'impact de la mise en place de l'UMR sur le fonctionnement hydrosédimentaire. Seuls les principaux messages sont retranscrits ci-après.

La réduction du marnage a entraîné une importante diminution des courants de marée, en flot* comme en jusant*. Bien que déjà existante avant barrage, l'asymétrie des courants en faveur du flot a été légèrement exacerbée. Cette domination du flot est propice au transport de sédiments vers l'amont.

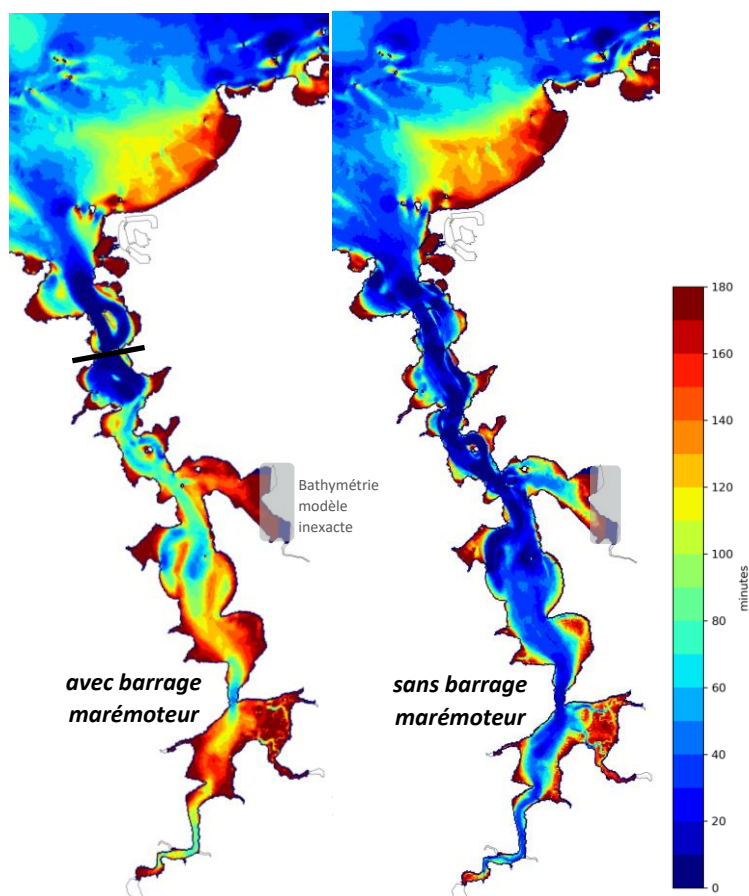


Figure 14 : Répartition spatiale des durées d'étales de courant (vitesse < 10 cm/s) à pleine mer, en moyenne par marée pour un cycle complet vive eau / morte eau. Calculs réalisés avec la bathymétrie 2010 (extrait du rapport diagnostic « Fonctionnement hydro-sédimentaire du bassin maritime de la Rance » du Conseil Scientifique, 2023).

1.3.2. LES FACTEURS INFLUENÇANT LA DYNAMIQUE DES SEDIMENTS EN SUSPENSION

Comme évoqué précédemment, jusqu'au démarrage du plan expérimental, la dynamique des sédiments en suspension était peu décrite. Les études antérieures faisaient surtout état d'une faible turbidité sur l'ensemble du bassin, avec une augmentation de la concentration en MES dans le secteur amont compris entre l'écluse du Châtelier et Mordreuc, où des valeurs atteignant une centaine de mg/l ont pu être mesurées.

Les mesures en continu de MES, de vagues et de courants acquises par l'EPTB en 2020-2021, déjà évoquées précédemment (section 1.1.4, figure 10) et en 2019-2021 par EDF (Parquet, 2021 ; Rtimi, 2022) ont permis au Conseil Scientifique d'analyser plus finement la dynamique sédimentaire en aval du barrage et dans le bassin. Seuls les principaux messages sont retranscrits ci-après.

En aval du barrage, en dehors des fortes vives eaux, il y a peu de remises en suspension par la marée. Comme indiqué dans les travaux antérieurs, les eaux restent claires la plupart du temps sauf en cas de tempête. Dans le bassin, les eaux sont également peu turbides. Les mesures à la cluse du port St-Jean ont mis en évidence des remises en suspension en période de vives eaux mais aussi en revif* conjointement à des épisodes de niveau très bas exceptionnel. Les mesures ont révélé que lors d'un niveau très bas exceptionnel, une hausse simultanée du signal de MES en aval du barrage et à la cluse a été enregistrée, associée à une augmentation du courant liée au changement de fonctionnement de l'UMR.

Il existe une relation très claire entre les vagues au large et l'apport de sédiments au niveau du barrage que l'on retrouve ensuite dans le bassin, même au niveau de la cluse. Dans le bassin, le clapot joue également un rôle non négligeable, en provoquant des remises en suspension. Son impact potentiel sur la sédimentation a été conforté par les résultats de modélisation.

La variation des courants au cours d'un cycle de marée est également très dépendante du fonctionnement de l'UMR avec une réponse quasi instantanée du système. Les courants sont en phase avec les débits qui transitent à travers les vannes ou les groupes bulbes. L'exploitation des mesures et de la modélisation ont montré que par exemple, le pic de flot, en tout début de marée ascendante, est très marqué, pouvant entraîner un transfert de sédiments vers l'amont. Les épisodes de niveaux très bas pratiqués depuis 2020 entraînent également des pics de vitesse en jusant mais aussi lors du flot suivant, renforçant ainsi le flux de sédiments vers l'amont.

Le rallongement de la durée de l'étales de courant à pleine mer dans le bassin est connu (figure 14) : avec barrage, elle atteint 2-3 heures contre une durée inférieure à une heure sans barrage (typique des estuaires bretons). Cette modification est favorable au processus de sédimentation mais aussi à l'entretien de l'action érosive du clapot pour les secteurs du haut estran, immergés à pleine mer.

Le flux net de sédiment estimé par le Conseil Scientifique à la cluse (déjà évoqué en section 1.1.4) est, malgré les fluctuations flot*/jusant*, toujours orienté vers l'amont et influencé par les forçages révélés précédemment, à savoir l'amplitude de marée, les niveaux très bas, le clapot et les tempêtes au large (figure 15). Ce transport sédimentaire peut être à l'origine de sédimentations locales. Les mesures EDF ont permis d'enregistrer sur le banc de la Moinerie des dépôts de l'ordre du cm lors d'épisodes de niveau très bas et de 2 cm lors d'une VE exceptionnelle.

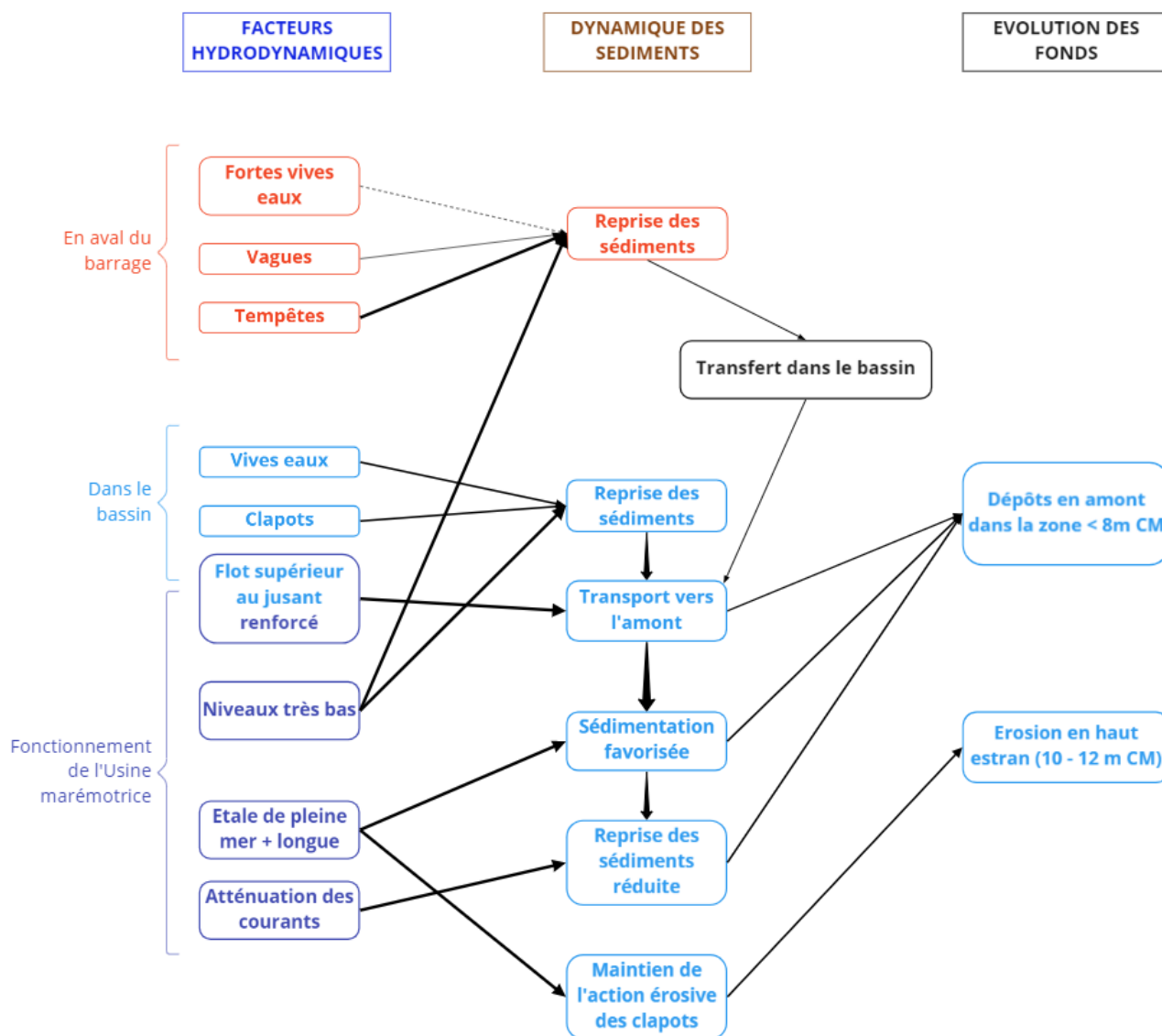


Figure 15: Schéma explicatif du fonctionnement hydrosédimentaire du bassin maritime de la Rance

1.3.3. LA CONTRIBUTION DU BARRAGE DANS LA SEDIMENTATION

L'exploitation de la modélisation par le Conseil Scientifique a également permis d'étudier l'influence du barrage sur la sédimentation dans le bassin. Des simulations avec et sans barrage ont montré que sans barrage, les courants de marée seraient plus forts, générant des resuspensions plus importantes de sédiments et une sédimentation accrue dans le secteur amont, mais aussi et surtout une dispersion des sédiments vers le large. Ces tendances seraient renforcées avec la prise en compte des vagues (clapot).

Des simulations ont été réalisées avec et sans barrage marémoteur pour estimer le flux net de sédiments qui transite annuellement à travers le barrage. Sans barrage marémoteur, les entrées de sédiments fins dans l'estuaire sont significativement plus faibles, presque 2 fois moins, ce qui donne une information sur la contribution de l'usine marémotrice à la sédimentation dans le bassin.

PARTIE 2 : FONCTIONNEMENT ECOLOGIQUE DU BASSIN MARITIME DE LA RANCE

Dans l'attente du diagnostic du CS.

PARTIE 3 : LES ENJEUX ET ATTENTES DU TERRITOIRE EN LIEN AVEC LA GESTION DES SEDIMENTS

Plusieurs études et démarches basées sur des approches différentes ont été menées sur l'estuaire de la Rance pour mieux appréhender les enjeux et attentes de ce territoire. Abordant le sujet d'un point de vue différent, ces travaux permettent d'avoir une vision d'ensemble et constituent une bonne base de connaissances pour aider à la prise de décisions. Parmi ces études, un grand nombre d'entre elles se sont appuyées sur l'approche du paysage pour mener à bien leur analyse. En effet, le paysage est le reflet des actions et des politiques menées sur un territoire (Dhellemmes, 2023), ce qui en fait un outil adéquat pour caractériser les enjeux territoriaux. Quelques travaux ont été sélectionnés et présentés brièvement ci-après pour illustrer la diversité des recherches et de leur approche.

3.1. QUELQUES TRAVAUX MENES SUR LE TERRITOIRE DE L'ESTUAIRE DE LA RANCE

Dans le cadre du plan expérimental, en parallèle des diagnostics hydro-sédimentaires et écologiques, le Conseil Scientifique a souhaité aborder la question de la gestion sédimentaire du point de vue des enjeux territoriaux et socio-politiques. Leur réflexion est publiée au sein d'un rapport diagnostic « Le territoire de la Rance : dynamiques paysagères, inscription socio-politique de la gestion des sédiments et propositions d'action » (Annexe 4). Pour cela, un diagnostic territorial spatialisé des usages de l'estuaire de la Rance en lien avec sa dynamique sédimentaire a été réalisé par des étudiants du Master 2 « Environnement Territoire Paysage » de l'Université de Tours afin d'avoir une connaissance plus fine et actualisée des représentations du paysage par différents acteurs du territoire. Une démarche de réflexion collective, intitulée « Quel(s) paysage(s) veut-on pour la Rance de Dinan à Saint-Malo », avait été lancée en 2006 par la FAUR (Fédération des associations d'usagers de la Rance) et Rance Environnement. Cette dernière avait abouti à la production d'un livre blanc associatif et citoyen « Pour un renouveau de l'estuaire de la Rance, de Dinan à Saint-Malo » en 2008.

Dans sa thèse, Motte (2017) s'est appuyée sur des documents iconographiques des rivages pour mettre en évidence la dynamique du littoral et de l'envasement de la Rance maritime depuis la mise en place de l'usine marémotrice. En 2021, un diagnostic paysager a été réalisé par les étudiants de l'Ecole de la Nature et du Paysage de Blois sur la vallée de la Rance (depuis Rophémel jusqu'à l'embouchure de l'estuaire de la Rance), en réponse à la sollicitation de la DDTM des Côtes d'Armor pour avoir un document facilitant la lecture du territoire et valorisant les paysages de la vallée de la Rance. En 2023, EDF, en partenariat avec l'Ecole nationale supérieure de paysage, a mené, dans le cadre de la Chaire paysage et énergie, une étude complémentaire sur les paysages de l'estuaire de la Rance, d'hier à aujourd'hui (Dhellemmes, 2023).

Enfin, une analyse approfondie des documents retraçant l'histoire socio-politique de la construction de l'usine marémotrice de la Rance et de ses conséquences a été réalisée en 2022 dans le cadre d'un stage encadré par l'EPTB, avec l'appui du Conseil Scientifique du plan de gestion (Ba, 2022). L'exploitation de ces archives documentaires a permis d'avoir une vision rétrospective du positionnement des acteurs vis-à-vis du barrage mais aussi de la gestion sédimentaire.

3.2. DELIMITATION DU PERIMETRE DE L'ESTUAIRE DE LA RANCE

La délimitation du périmètre de la zone d'étude ne représente pas un choix anodin pour la description et l'analyse des enjeux et attentes d'un territoire. Un estuaire peut être défini comme étant la partie aval d'un fleuve dans laquelle, sous l'influence des marées, les eaux douces se mélangent avec les eaux marines. Il est généralement délimité à l'amont par la limite de pénétration de la marée dynamique* et à l'aval, par la limite d'extension des eaux saumâtres.

Dans le cadre du plan pérenne, la gestion sédimentaire de l'estuaire de la Rance ne s'intéresse qu'à la partie de la Rance maritime qui s'étend de l'écluse du Châtelier jusqu'à l'usine marémotrice, souvent appelée bassin maritime de la Rance (figure 16). Toutefois, cette partie vise à dresser une synthèse des enjeux et des attentes du territoire en lien avec la gestion sédimentaire, en s'appuyant notamment sur des travaux dont le périmètre d'étude varie.

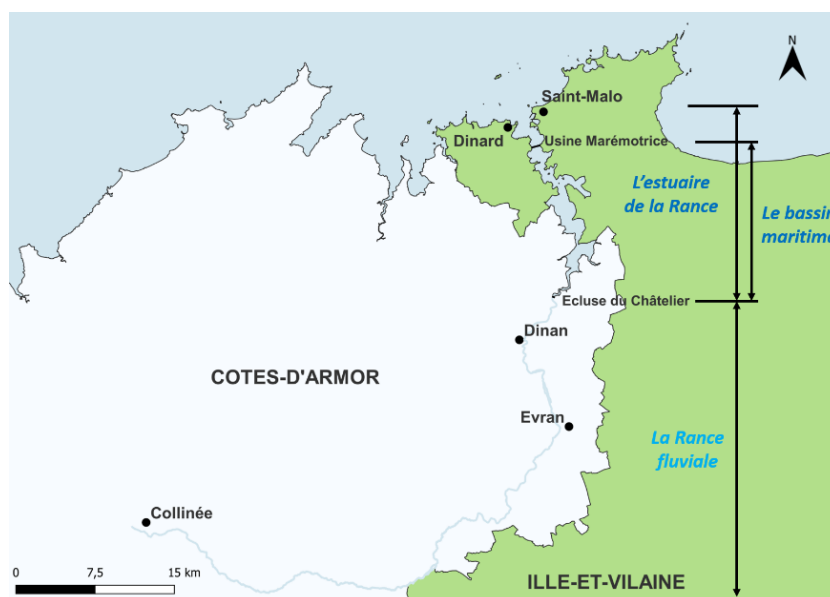


Figure 16 : Carte de la géographie générale du territoire de la Rance (Réalisation : EPTB Rance Frémur, 2023 ; source : BDCarto N°2017-DINO-1-29-153, OpenStreetMap)

Bien que la marée ne remonte aujourd'hui plus en amont de l'écluse du Châtelier, de nombreuses études paysagères et territoriales intègrent la partie « fluviale » de la Rance dans leur analyse, limitant souvent cette dernière à la portion comprise entre Dinan et l'écluse. La limite aval peut également différer d'un document à l'autre : certaines études s'arrêtent au barrage marémoteur, distinguant d'une part la mer et d'autre part, le bassin maritime soumis depuis 1966 au rythme artificiel des marées, tandis que d'autres considèrent l'embouchure entre Saint-Malo et Dinard, voire même plus loin, allant ainsi au-delà de l'ouvrage.

Le Conseil Scientifique du plan de gestion indique que « l'élargissement du périmètre d'étude à l'ensemble des territoires de la Rance permet ainsi de prendre en compte toutes les dynamiques territoriales » (cf. Annexe 4). En plus des limites amont/aval, la question des frontières transversales se pose également. L'ouverture de ces dernières aux étendues terrestres permet de mettre en avant l'interrelation forte qui existe entre les activités maritimes et terrestres et qui donne son sens à ce territoire (GRIEFF, 2016). C'est pourquoi le choix a été fait de définir pour cette partie le périmètre de l'estuaire de la Rance depuis Dinan jusqu'à l'embouchure, en incluant son bassin versant.

3.3. LES USAGES DE L'ESTUAIRE DE LA RANCE ET LEUR EVOLUTION

Bien que l'estuaire de la Rance constitue une seule et même entité, son découpage en unités paysagères « permet une analyse plus précise, localisée et cerne mieux les valeurs, les dynamiques, les pressions et les transformations qui constituent chaque unité (Franchi, 2015) » (cf. Annexe 4).

Utilisant des méthodes d'analyse paysagère similaires mais avec une délimitation du périmètre d'étude différente, les étudiants du Master 2 « Environnement Territoire Paysage » de l'Université de Tours (2020) et Dhellemmes (2023) ont proposé un découpage de l'estuaire en sept unités paysagères (figure 17). Ces travaux permettent de mettre en avant les éléments structurants du paysage et de recenser les usages de l'estuaire de la Rance. Dans le présent document, les unités paysagères décrites dans ces travaux ne sont pas reprises. Seuls les principaux usages et leur évolution sont retranscrits ci-après.

L'estuaire de la Rance est un territoire attractif, siège de nombreuses activités qui ont évolué au cours du temps. En Rance, le travail de la terre et la pêche sont des pratiques anciennes, qui ont participé à donner « l'identité même aux habitants de ce territoire » (Dhellemmes, 2023).

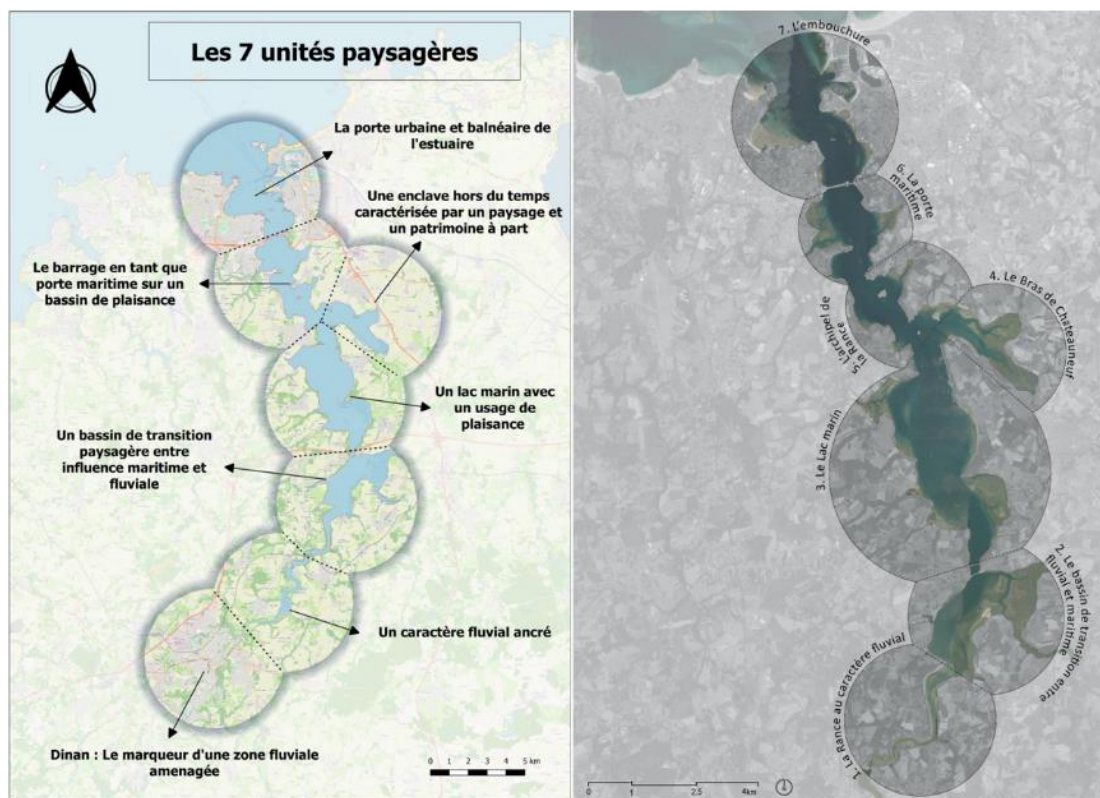


Figure 17 : Découpage de l'estuaire de la Rance en sept unités paysagères à gauche, selon la méthode de l'analyse paysagère mise en œuvre dans le diagnostic territorial des étudiants de l'Université de Tours, depuis Dinan jusqu'à l'embouchure (carte issue du rapport du Master « Environnement Territoire Paysage », 2020, p. 29) et à droite, selon la méthode utilisée par Dhellemmes, depuis l'écluse du Châtelier jusqu'à l'embouchure (carte issue du rapport de Dhellemmes, 2023, p 23).

3.3.1. LES USAGES PASSES ET ACTUELS DE LA MER

Les pratiques liées à la présence de l'eau ont été fortement modifiées au cours du dernier demi-siècle. La diminution des ressources halieutiques, la décroissance du poids économique de ces activités anciennes, la dégradation de la qualité de l'eau et la construction du barrage ont profondément modifié les usages de la mer.

La pêche était l'activité principale de la région : les habitants des bords de Rance pratiquaient la pêche nourricière, qui a principalement été substituée de nos jours par une pêche de loisirs. Pendant plusieurs siècles, la Rance a été le lieu d'embarquement de centaines d'hommes et de navires avec notamment la « Grande Pêche » à la morue des Terre-neuvas (Février, 2012). Les pêcheurs professionnels sont aujourd'hui beaucoup moins nombreux : une pratique professionnelle de pêche en plongée s'est développée pour les bivalves tels que la coquille Saint-Jacques (site du CDPMEM 35), une activité de conchyliculture existe (huîtres, palourdes, moules) et il subsiste une activité de pêche à pied des coquillages (palourdes, coques) et de pêche aux civelles (cette pêche n'est aujourd'hui plus pratiquée que par un seul pêcheur).

Certaines manières de pêcher ont en effet disparu comme la pêche aux lançons, à la chevrette (figure 18), aux seines, etc., tandis que d'autres pratiques sont encore observées dans l'estuaire mais dans une moindre mesure, comme la culture d'algues.

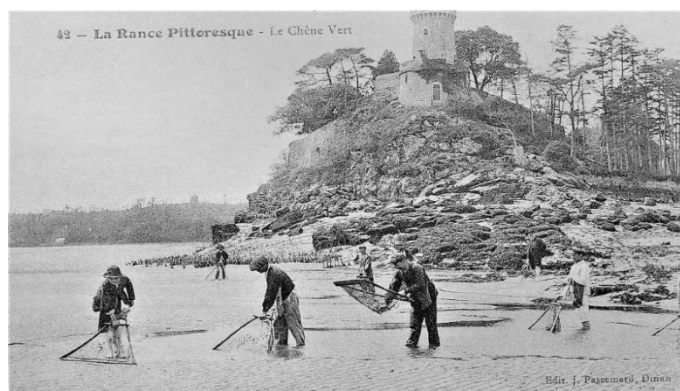


Figure 18 : Vue des rives de la Rance près du château du Chêne Vert en Plouër-sur-Rance, avec au premier plan plusieurs pêcheurs munis d'épousettes (source : Carte postale Le Chêne Vert, extraite des collections en partage du Musée de Bretagne)

Construites sur pilotis dans les années 1960 entre l'écluse du Châtelier et Morgrève, les cabanes à carrelets



Figure 19 : Photographie d'un carrelet dans l'estuaire de la Rance, situé à proximité du pont de Lessard (EPTB, 2023)

ont substitué les bateaux carrelets alors délaissés lors de la construction du barrage (figure 19). Dans les filets, les pêcheurs y trouvaient du mulot, du bar, de la plie, « mais aussi de la sardine et parfois même du saumon » (Le Petit Bleu, 01/02/2023). De la trentaine qui aurait existé, il n'en reste aujourd'hui plus que 17, dont certaines, par manque d'entretien, ne sont que ruines.

Créée en 2022, l'association Les

Copines et Copains des carrelets de la Rance œuvre pour la réhabilitation des carrelets, afin de se réapproprier ce patrimoine historique.

En plus de la pêche, le transport maritime constituait une activité essentielle sur l'estuaire : de nombreuses marchandises étaient transportées sur des embarcations traditionnelles, à l'image des gabarres de Pleudihen-sur-Rance qui assuraient le transport de bois, de fagots ou de pommes (figure 20). A partir du début du 19^{ème} siècle, le transport de passagers se développe : des bateaux à vapeur permettaient d'effectuer la traversée de Dinard à Saint-Malo et de remonter la Rance jusqu'à Dinan. Aujourd'hui, une vedette moderne, le *Chateaubriand*, propose des croisières touristiques pour découvrir la Rance (Février, 2012).



Figure 20 : Cartes postales anciennes Les Bas-Champs : à gauche, vue sur une gabarre reposant dans la souille de Monsieur Desvaux derrière laquelle s'entassent des fagots, à droite, terrain au niveau des Bas-Champs occupé collectivement par les tas de fagots et les gabares (sources : Courtois, 1995 ; Motte, 2017)

Pour répondre aux besoins de ces activités, de nombreux chantiers navals jalonnaient les bords de Rance : au 19^{ème} siècle, la grève de La Landriais ne comptait pas moins d'une douzaine de chantiers (Février, 2012, figure 21). Utilisés pour assembler des navires de gros tonnage, ils servaient également à la construction des petites embarcations traditionnelles et locales telles que les bocs de Plouër-sur-Rance, les chipes de Saint-Suliac ou encore les bateaux carrelots de Lyvet. Les activités liées aux chantiers navals ont aujourd'hui quasiment disparu : les chantiers encore existants ne proposent plus que des services plus limités aux usagers (vente, hivernage, entretien).



Figure 21 : A gauche, carte postale ancienne des chantiers navals de La Landriais dirigés par Lemarchand et fils constructeurs (source : Courtois, 1995) et à droite, négatif sur film : vue d'un volier quatre mâts mis en cale sèche à La Landriais, première moitié du 20^{ème} siècle (photographie de Laurent-Nel Henri, extraite des collections en partage du Musée de Bretagne).

Au cours des siècles, de nombreux accès à la mer ont également été construits dans l'estuaire. Plusieurs petits ports historiques bordent encore la Rance maritime tels que Mordreuc (autrefois port d'accueil des gabarres, figure 22), Port Saint-Jean, Saint-Suliac, La Richardais et bien d'autres, dont l'activité liée à la pêche et au transport maritime a été fortement modifiée au profit de la plaisance.

Construit en 1991 à l'emplacement de l'ancienne retenue du moulin à marée, le Port de La Minotais à Plouër-sur-Rance permet aujourd'hui d'accueillir 240 bateaux sur pontons et 150 sur corps morts. De nombreuses cales et pontons permettent également aux plaisanciers de mettre leur bateau à l'eau telles que la cale de La Jouvente, Saint-Jouan-des-Guérets ou encore La Passagère (figure 23).



Figure 22 : Négatif sur film Pleudihen-sur-Rance : vue de la cale de Mordreuc en construction avec des voiliers et barques amarrés, première moitié du 20^{ème} siècle (photographie de Laurent-Nel Henri, extraite des collections en partage du Musée de Bretagne).

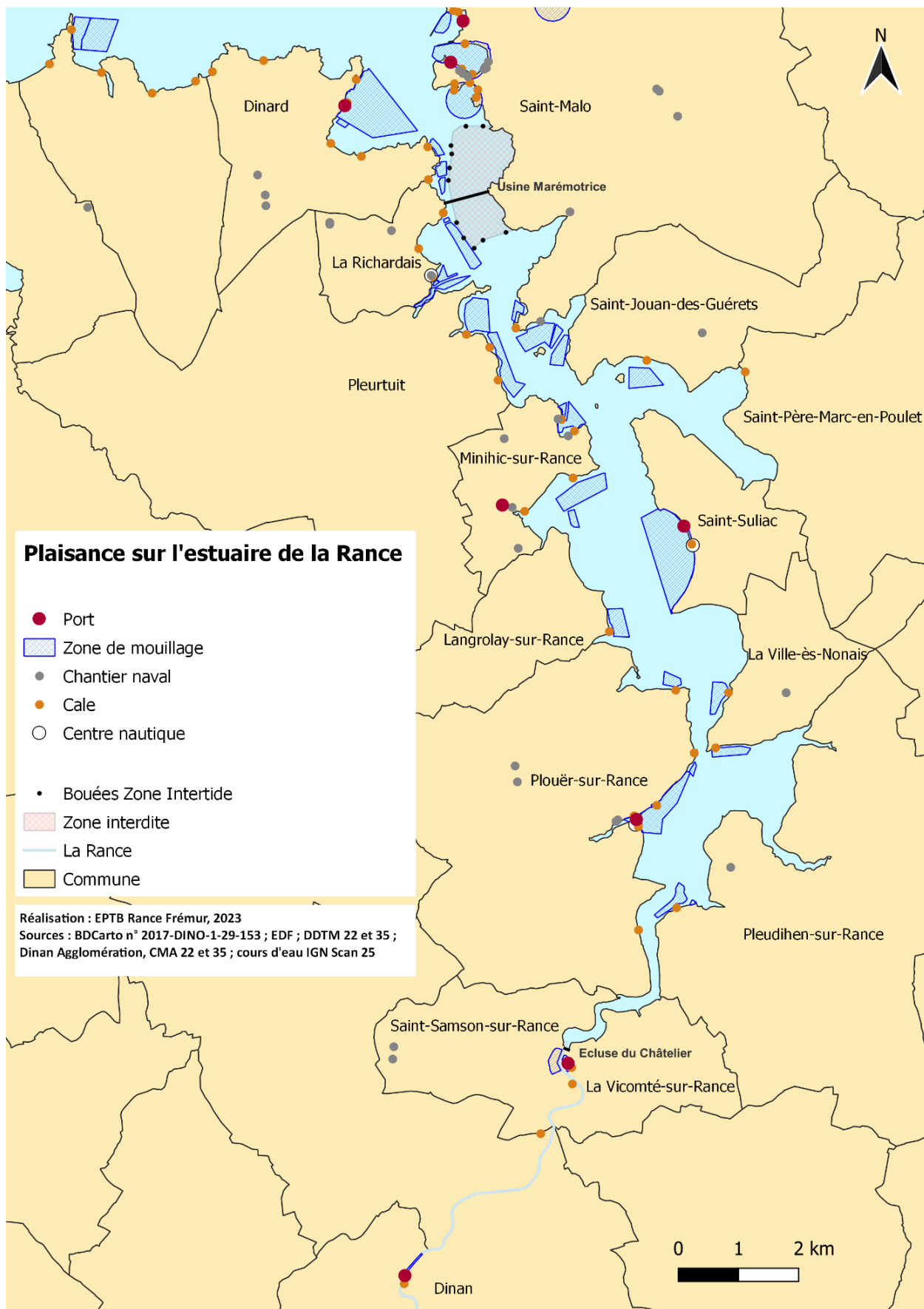


Figure 23 : Plaisance sur l'estuaire de la Rance : localisation des zones de mouillage, des ports, des cales de mise à l'eau et des chantiers navals

3.3.2. L'ESSOR DES ACTIVITES NAUTIQUES : CONTRIBUTION DE L'USINE MAREMOTRICE ?

La construction du barrage et la mise en service de l'usine marémotrice ont fortement contribué à l'apparition de nouvelles pratiques (figure 24).

Utilisant l'énergie de la marée, l'usine marémotrice produit de l'électricité renouvelable et prédictible à hauteur de 500 GWhs par an, soit l'équivalent de la consommation de 225 000 habitants (site EDF). Outre l'exploitation de la masse d'eau par EDF pour produire de l'électricité, les usages actuels de la Rance sont essentiellement tournés vers les activités de loisirs liées au tourisme, qui représente une part non négligeable de l'économie locale.



Figure 24 : Négatif sur film Barrage de la Rance : vue du barrage achevé (des véhicules circulent sur la route) vers 1967 (Photographie de Henrard Roger, Musée de Bretagne).

La création du « plan d'eau », avec le maintien d'un niveau minimal, coïncide avec un développement important des activités nautiques. Le nombre de bateaux présents dans l'estuaire s'est en effet fortement accru, entraînant ainsi l'extension rapide et importante du nombre de mouillages. En 1959, le nombre de places était estimé à 211 contre 2 630 en 2014 (Tableau 1, figure 23). De même, alors qu'ils n'étaient que 6 000 dans les années 1960, c'est près de 20 000 bateaux qui franchissent l'écluse chaque année (CGEDD/CGE, 2017). Trois centres nautiques ont également été construits dans le bassin maritime pour la pratique d'activités sportives (voile, canoé, kayak, etc.) : Saint-Suliac, Plouër-sur-Rance et la Richardais (figure 23).

Le bassin maritime de la Rance compte également des sites de baignade. Malgré la création d'un plan d'eau plus calme, la baignade est dangereuse à proximité du barrage, du fait des forts courants générés par le fonctionnement de l'usine. Des zones interdites à la baignade, au mouillage et à la navigation ont été établies de part et d'autre de l'ouvrage par arrêté préfectoral (figure 23). En amont du barrage, on dénombre environ 9 zones dévolues à la baignade, dont certaines font l'objet d'un rechargement en sable, avec un encadrement permettant de répondre aux objectifs affichés dans le DOCOB du site Natura 2000 (Lang, 2017, figure 25).

L'usine marémotrice est souvent présentée comme un ouvrage ayant favorisé le développement des activités nautiques dans l'estuaire. Si l'infrastructure a en effet permis la création d'une vaste zone à l'abri de la houle et des vents et aux bateaux d'être toujours à flot et de ne pas s'échouer, Sonnic (2015) s'interroge sur la contribution réelle du barrage au développement de la plaisance. Il indique que « ce lien de cause à effet est probablement inexistant » et bien qu'important, le nombre de bateaux présents dans l'estuaire s'expliquerait d'abord par la proximité des espaces urbains de Saint-Malo, de Dinard et de Dinan, voire même de Rennes.

Tableau 1 : Evolution du nombre de navires de plaisance (ports et mouillages) depuis 1959 jusqu'à 20 dans le bassin maritime de la Rance. Sources : 1. Gestionnaires des ports et mouillages, 2005 et 2015 ; EDF, 2014 (extrait du rapport GRIEF, 2016) ; 2. Saunier techna, 1997 ; 3. FAUR et Syndicat mixte du Pays de Dinan, 2015 ; 4. Données diffusées par Saint-Malo Agglomération.

Nombre de places (ports et mouillages) dans le bassin maritime de la Rance					
Années					
1959 ¹	1993 ¹	1997 ²	2004 ¹	2015 ³	2020 ⁴
211	1822	1850	2379	2 402	2 481

3.3.3. LES USAGES DE LA TERRE

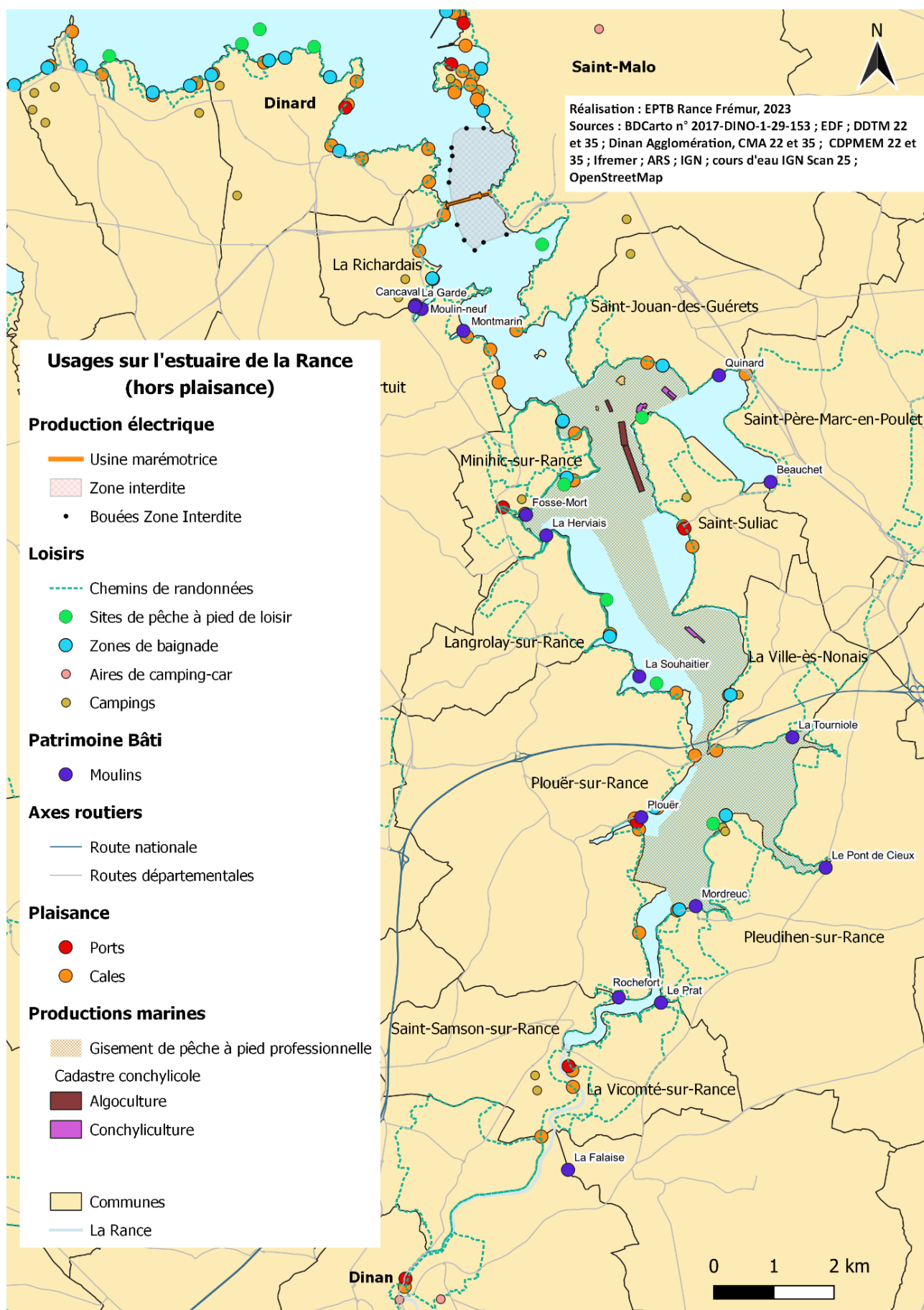
L'agriculture représente l'activité principale du territoire au regard de l'occupation du sol. Les types d'agricultures pratiqués sont diversifiés. Dans le sud du territoire, on y trouve principalement des grandes cultures céréalières (blé tendre, maïs, colza, orge) et des prairies (pâturage), tandis qu'en allant vers le Nord, les cultures céréalières sont progressivement remplacées par les cultures maraîchères, en particulier entre Saint-Malo et Cancale où la production de légumes y est importante (Master 2 « Environnement Territoire Paysage », 2020). Au sein du territoire, il existe également des petites parcelles dédiées à la culture du sarrasin et de vergers de pommiers, témoins d'anciennes pratiques agricoles. La plus importante proportion de vergers de pommiers se trouve autour de la commune de Pleudihen-sur-Rance, avec la production de cidre et de jus de pomme.

Les aires urbaines des trois grandes agglomérations que sont Dinard, Saint-Malo et Dinan, influencent fortement la dynamique du territoire. La ville de Saint-Malo s'est fortement développée depuis la 2nd guerre mondiale, tant aussi bien du point de vue économique (tourisme, activités portuaires), démographique qu'urbanistique, avec une expansion de l'urbanisation vers le Sud. Dinard est une ville balnéaire dont l'extension se poursuit actuellement vers Pleurtuit (Master 2 « Environnement Territoire Paysage », 2020).

Le territoire se caractérise aussi par la présence d'infrastructures routières permettant de relier les trois agglomérations. La construction du barrage a notamment permis la création d'une liaison routière rapide entre Saint-Malo et Dinard, favorisant ainsi les échanges et contribuant à la dynamique territoriale. Avant 1966, des vedettes et un bac assuraient des traversées quotidiennes entre Dinard et Saint-Malo. Sinon, les riverains devaient parcourir 45 km en passant par le pont Saint-Hubert ou 55 km par l'écluse du Châtelier. La route a permis de réduire cette distance à 15 km (André, 1978) mais elle a aussi contribué à la réduction entre 1966 et 1967 de l'activité des vedettes et du bac, à hauteur de 35 et 60% respectivement (Stratakis, 1986). Pendant l'été, il y a de fortes interférences entre la navigation avec le passage de l'écluse et la circulation routière sur le barrage. Aujourd'hui, ce sont en moyenne 30 000 véhicules par jour qui empruntent le barrage et jusqu'à 60 000 par jour durant la saison estivale. L'usine marémotrice constitue également en elle-même un attrait touristique avec plus de 30 000 visiteurs par an (site EDF).

Témoins d'une ancienne pratique basée sur l'énergie de la marée pour moudre le grain et fabriquer de la farine, les moulins à marée constituent un patrimoine historique incontournable de l'estuaire (figure 25). Autrefois au nombre de quinze, certains moulins ont aujourd'hui complètement disparu ou sont à l'état de ruine. D'autres ont été transformés en habitation privée ou en maison de tourisme. Le moulin du Prat, situé sur la commune de la Vicomte-sur-Rance, a quant à lui été restauré par une association et permet aujourd'hui aux visiteurs de comprendre son fonctionnement (Porte, 2017).

De nombreux chemins de randonnées et sentiers littoraux sillonnent également le territoire le long de l'estuaire, permettant aux randonneurs de voir et visiter d'autres éléments du patrimoine en Rance (Dhellemmes, 2023, figure 25).



3.4. IDENTIFICATION DES ENJEUX DU TERRITOIRE

Dans le cadre du diagnostic territorial des étudiants de l'Université de Tours, une enquête, combinant un questionnaire diffusé sur les réseaux sociaux et des entretiens semi-directifs auprès d'acteurs et habitants, a permis de faire ressortir les représentations associées au territoire de l'estuaire de la Rance. Seuls les principaux résultats sont présentés ci-après et mis en exergue avec les résultats d'études complémentaires.

D'après l'enquête des étudiants, les personnes interrogées ont une représentation consensuelle du territoire, à savoir celle d'un paysage « naturel, fluvial, maritime » qui offre à ses habitants un « cadre de vie remarquable ». La réflexion collective menée par la FAUR et RANCE Environnement en 2006 mettait également en avant un fort attachement des participants au caractère maritime de l'estuaire et la volonté de développer des activités liées à la mer et au tourisme, le « paysage terrestre » étant même perçu comme une composante d'un espace côtier.

La majorité des répondants de l'enquête identifie bien l'envasement de l'estuaire, qui apparaît comme le changement paysager majeur. Son origine varie cependant selon les personnes interrogées : naturelle, anthropique ou les deux. Une majorité des enquêtés (58%) perçoit la vase comme une nuisance qui menace le caractère maritime de l'estuaire, impactant la baignade, la navigation, le paysage et même, selon certains, la biodiversité. Cette représentation est d'autant plus importante que les personnes interrogées résident en bord de Rance et habitent depuis longtemps sur le territoire. Cette tendance rejoint également les conclusions de la réflexion collective publiées au sein du Livre Blanc (2008) : le thème « Sédiments » (désigné « Vases ») était jugé comme étant le plus important et le plus urgent à prendre en compte, en extrayant les « vases et sédiments excédentaires » (sont considérés comme excédentaires, « les vases et sédiments » déposés dans l'estuaire depuis la construction du barrage).

Le barrage est quant à lui peu représenté et vu à la fois comme un atout, avec la production d'énergie renouvelable et la liaison routière, et comme un inconvénient, identifié comme responsable de l'envasement pour certains enquêtés. Stratakis (1986) indique que l'altération visuelle du paysage produite par le barrage lui-même est en effet peu importante, sa structure s'élevant très peu au-dessus de l'eau, mais que l'ouvrage tronque surtout le champ de vision des navigateurs. Si son existence n'était pas non plus remise en cause par les participants de la réflexion collective, la mise en place d'un fonctionnement alternatif du barrage afin d'agir sur l'envasement était fortement souhaitée.

Dans le cadre de l'enquête des étudiants, un autre groupe de personnes interrogées, minoritaires en nombre, relativisent les effets de l'envasement, accordant une valeur biologique aux vasières, ainsi que « l'urgence et l'ampleur d'un éventuel désenvasement à mener ». Ce groupe se compose principalement de personnes installées plus récemment sur le territoire, habitant ou visitant moins fréquemment les bords de Rance.

D'autres causes de changements paysagers sont également identifiées telles que les pollutions diverses, l'urbanisation croissante et différentes activités anthropiques générant des déchets. La qualité de l'eau et la maîtrise des pollutions représentaient également des aspects prépondérants du second thème prioritaire « Plan d'eau » identifié dans le cadre de la réflexion collective de 2006. Pour le thème « Paysage terrestre », jugé moins prioritaire que les précédents, les participants mettaient notamment l'accent sur le suivi de la gestion de l'urbanisation et la préservation de l'environnement.

L'ensemble des études ont en commun de mettre en évidence l'attachement particulier des participants à la nature maritime de l'estuaire et la volonté très forte pour la majorité d'entre eux de traiter la gestion sédimentaire comme un enjeu prioritaire. Ces derniers considèrent qu'il est urgent de réhabiliter le caractère maritime de l'estuaire en menant des opérations d'extraction de sédiments. Pour les participants de la réflexion collective de 2006, la meilleure approche pour répondre aux objectifs exprimés serait de « lancer une mission globale portée par une maîtrise d'ouvrage identifiée et traitant chaque problème sous forme de projet spécifique ».

3.5. MOBILISATION HISTORIQUE SUR LA PROBLEMATIQUE DE L'ENVASUREMENT

La problématique de l'envasement apparaît donc comme un enjeu fort du territoire. Bien que les mobilisations sociales et politiques semblent continues et anciennes, la prise en charge institutionnelle de l'envasement est quant à elle discontinue, avec deux périodes différentes : celle du contrat de baie de 1996 à 2005 et celle du plan de gestion expérimental de 2018 à 2023. Afin de mieux comprendre les ressorts de cette mobilisation, il est nécessaire de comprendre comment l'enjeu s'est imposé sur le territoire.

Basé en partie sur les travaux de Ba (2022), qui visait à avoir une vision rétrospective du positionnement des acteurs du territoire autour de la construction du barrage et de ses conséquences par l'exploitation d'archives documentaires sur la période 1945-2005, le Conseil Scientifique du plan de gestion a proposé un récit simplifié de la mobilisation et des actions autour de la problématique de l'envasement (cf. Annexe 4). Seules les grandes étapes de ce récit sont retranscrites ci-après.

La construction de l'usine marémotrice et du barrage entre 1961 et 1966 a marqué une rupture majeure dans l'histoire de ce territoire. Présentée à l'époque des années 50 comme une prouesse technologique d'intérêt national, pouvant contribuer à l'indépendance énergétique de la Bretagne, l'usine marémotrice a été fortement soutenue par de nombreux acteurs du territoire en raison des promesses d'emploi du chantier et des perspectives de développement économique et d'industrialisation qu'elle pouvait offrir (figure 26).



Figure 26 : Manifestation à Saint-Malo pour le démarrage des travaux du barrage (source : archives départementales d'Ille-et-Vilaine, photographie datant de 1959 extraite du rapport de Ba, 2022).

D'autres acteurs ont toutefois contesté le projet en alertant sur une rentabilité incertaine de l'usine et sur les impacts

potentiels qu'un tel projet pourrait engendrer sur ce site exceptionnel (Annales de la Société d'Histoire et d'Archéologie de l'Arrondissement de Saint-Malo (SHAASM), 1953).

L'usine n'a d'ailleurs pas été sans effet. D'un côté, elle contribue à l'économie du territoire, de manière directe d'une part, via la production d'énergie et les emplois, et de manière indirecte d'autre part, via la route reliant Dinard et St-Malo et les activités maritimes. D'un autre côté, la phase de construction de l'usine a été très impactante pour l'environnement de l'estuaire, isolé de la mer pendant 3 ans (figure 27, cf. partie 2). Par ailleurs, la modification de l'hydrodynamique induite par le fonctionnement de l'usine (augmentation des durées d'étales, réduction du marnage, etc.) accélère sa dynamique naturelle d'envasement dans certains secteurs (cf. partie 1). Ce problème émergera progressivement à partir de la fin des années 70.



Figure 27 : Négatif sur film : Vue aérienne du barrage de la Rance reliant Saint-Malo à Dinard. La vue est prise entre les deux rives durant les travaux (photographie datant du 16 mai 1964, Créations Artistiques Heurtier (Photographe), extraite des collections en partage du Musée de Bretagne)

En effet, si des mobilisations autour d'enjeux liés au risque inondation apparaissent dès les années 60 et du désenvasement de la Rance fluviale en amont du Châtelier dès les années 70 (avec la création en 1973 du Comité de Développement des Pays de Rance – CODEPRAN – qui va être progressivement sensibilisé au problème de sur-sédimentation), les mobilisations associative et politique deviennent très actives sur les enjeux de qualité de l'eau et de gestion sédimentaire de l'estuaire à partir de la fin des années 70. Le 26 octobre 1978 à Pleudihen-sur-Rance, la première réunion d'alerte des acteurs locaux sur le sujet de l'envasement dans l'estuaire a constitué une étape clé dans la mobilisation du territoire. La situation sédimentaire au niveau de l'écluse du Châtelier étant devenue critique, une première série d'opérations de désenvasement, financée par EDF dans le cadre de ses obligations contractuelles, a lieu de 1990 à 1993 (cf. partie 4.1.). A cette époque, plusieurs associations souhaitant agir pour améliorer la qualité environnementale de l'estuaire sont créées comme la FAUR en 1982 et Rance Environnement en 1993.

L'association CŒUR (Comité Opérationnel des Elus et Usagers de la Rance) est créée ainsi en 1994 à l'initiative d'élus et d'associations des bords de Rance, avec la volonté de rassembler tous les acteurs concernés, dont EDF, afin d'agir à l'échelle globale de la partie maritime de la Rance. Pendant près de 10 ans, la prise en charge de ces enjeux va être organisée autour du contrat de baie, créé en 1996 et porté par l'association CŒUR. Ce contrat de baie concernait 3 volets : reconquête de la qualité des eaux en améliorant l'assainissement, gestion des sédiments par la réalisation d'opérations de dragage et entretenir le patrimoine par la restauration des ouvrages maritimes (digues, perrés, chemins de randonnées).



Figure 28 : Vue aérienne du piège du Lyvet en aval immédiat de l'écluse du Châtelier, (photographie de A tire d'ailes, 2022)

Plusieurs opérations de dragage dont le piège du Lyvet (expérimentation en 1996 avec extraction de 10 000 m³ et agrandissement en 2000/2001 avec extraction de 92 000 m³ de sédiments, figure 28) ont été réalisées pendant ce contrat (cf. partie 4.1). Au début des années 2000, une seconde opération d'envergure est envisagée entre l'amont et l'aval de la cale de Mordreuc mais ne sera finalement réalisée qu'en 2005 avec une extraction à hauteur de 91 000 m³ de sédiments (31 000 m³ de vase, 60 000 m³ de sable). L'opération prévoyait une valorisation agricole des vases extraites, ce qui impliquait au préalable une décantation de ces dernières dans un bassin pour réduire leur salinité. La construction de bassins de décantation dans un site classé a suscité des enjeux paysagers : le ministère s'oppose dans un premier temps à l'opération et une mission d'expertise de l'Inspection Générale de l'Environnement est réalisée en 2003. En conclusion, la mission autorisait une partie du projet en limitant les zones de dragage et sous réserve de réaliser des mesures de sauvegarde du paysage lors des travaux de décantation et d'épandage.

Le contrat de baie prend finalement fin en 2005 sur une réussite concernant le volet assainissement mais sur une déception des acteurs quant aux volumes de sédiments extraits (193 000 m³ sur un objectif d'1 million pour la partie maritime). La majeure partie des acteurs ont en effet placé le volet désenvasement comme un enjeu prioritaire, reléguant parfois les autres volets au second plan, et considère que « le désenvasement a partiellement échoué » (Idea Recherche, 2008). L'arrêt du contrat de baie et l'absence de poursuite des travaux suscitent également des frustrations et des interrogations sur le territoire.

A partir de 2007, CCEUR, qui devient CCEUR Emeraude, est en charge du projet de création d'un Parc Naturel Régional (PNR), avec le soutien de la Région. Par ailleurs, plusieurs initiatives de concertation ont été entreprises par les associations mobilisées sur le sujet, avec notamment la démarche de réflexion collective élaborée par la FAUR et RANCE Environnement en 2006, autour du thème « Quel paysage veut-on pour la Rance de Dinan à Saint-Malo ? », qui met en évidence la préoccupation majeure que représente la gestion des sédiments sur le territoire (Livre blanc associatif et citoyen, 2008). Il s'ensuit la mise en place d'une Commission Estuaire Rance par ces mêmes associations pour élaborer un schéma global d'aménagement de l'estuaire prenant en compte l'impact environnemental et sociétal du barrage, avec la publication d'un rapport en 2010 et d'un plan de gestion des sédiments en 2012 et modifié en 2015 (Thébault, 2012 - 2015). En 2014, les maires des communes des bords de Rance se structurent en collectif (avant de devenir une association en 2021) afin d'obtenir un plan de réhabilitation de l'estuaire.

En 2015, CCEUR Emeraude change de gouvernance et poursuit ses actions de gestion sédimentaire : suivi des vasières, création du site de transit de La Hisse et opération de vidage du piège du Lyvet (Lyvet II) en 2014/2015. En 2016, l'association s'inspire des propositions de la Commission Estuaire pour élaborer sa propre version du plan de gestion des sédiments. En parallèle, les acteurs du territoire alertent la ministre de l'Environnement, qui diligente alors une expertise du CGEDD/CGE. A la suite de la mission, l'Etat lance en 2018 le plan de gestion expérimental des sédiments pour une durée de 5 ans, dont la maîtrise d'ouvrage est confiée à l'EPTB Rance Frémur.

Ce plan expérimental avait pour ambition d'aboutir à un plan de gestion pérenne tout en intégrant une dimension écologique en lien avec l'atteinte du bon potentiel de l'estuaire. Au terme des cinq années, ce plan expérimental a permis de préciser la connaissance du fonctionnement de l'estuaire et de tester différents modes de gestion sédimentaire pour aboutir à des préconisations adaptées au contexte de l'estuaire de la Rance. Toute la démarche mise en place pour définir le plan de gestion pérenne et ses objectifs est décrite dans le Tome 1.

Sous l'impulsion du Préfet de Région, le plan de gestion pérenne est construit par phases jusqu'au renouvellement de la concession en 2043. Il débute par une première brique financée de 5 ans à compter de 2024, construite à partir de l'ensemble des données et résultats obtenus dans le cadre de la phase expérimentale. Au terme de chaque phase, une évaluation de l'efficacité des mesures prises sera faite, basée sur les retours d'expérience des opérations menées et sur les suivis du milieu, en particulier de la sédimentation. Ces évaluations périodiques permettront d'ajuster, au fur et à mesure, les actions prioritaires à réaliser lors de la phase suivante. La priorisation des actions sera faite en toute transparence de manière partagée par le biais de comité de pilotage et au travers d'actions de communication.

En parallèle, les associations historiques du territoire continuent de se mobiliser sur la problématique de l'envasement. En 2020, un collectif appelé « Les Envasés » rassemblant des riverains de l'estuaire se forme pour faire entendre ses revendications sur la gestion sédimentaire et les enjeux sur le paysage et les usages.

Sur ce territoire marqué par la construction de l'usine marémotrice, les mobilisations et les actions publiques pour la gestion sédimentaire ont évolué dans le temps. Le Conseil Scientifique du plan de gestion indique qu'il existe une forte incertitude sur les données d'entrée du problème, à savoir le flux annuel de sédimentation, le stock de sédiments accumulés depuis la construction de l'usine et la part de sédimentation attribuable à l'usine. Cette longue histoire est fortement influencée par ces incertitudes mais aussi par les délais importants entre le constat de la nécessité de mise en œuvre d'une démarche globale et le passage à l'acte avec une prise en charge institutionnelle de la problématique. Ces facteurs sont à l'origine d'une grande frustration et d'une forte attente des acteurs du territoire, qui pour certains sont mobilisés sur le sujet depuis plus de 30 ans.

PARTIE 4 : RETOURS D'EXPERIENCE DES OPERATIONS DE GESTION SEDIMENTAIRE

4.1. HISTORIQUE DE LA GESTION SEDIMENTAIRE DANS L'ESTUAIRE DE LA RANCE

A partir de 1990, des opérations de dragage ont été réalisées au sein de l'estuaire (cf. Tableau 2). Dans le cadre de la concession de l'usine marémotrice, EDF a l'obligation de garantir la navigabilité du chenal dans la partie maritime de la Rance (Décret du 8 mars 1957, rapport CGE-CGEED). Au début des années 90, l'envasement important dans la partie amont de l'estuaire, à proximité de l'écluse du Chatelier, est devenu critique. La situation a amené EDF à effectuer des dragages d'entretien pendant 3 années consécutives de 1990 à 1992. A partir de 1996, EDF a adapté son mode de gestion sédimentaire de la partie amont : des chasses hydrauliques par le biais de l'écluse du Châtelier ont régulièrement été réalisées pour éroder le secteur amont. Depuis, seulement deux opérations d'entretien du chenal ont été menées de manière par EDF dans ce secteur, en 2017 et 2018.

En parallèle des dragages d'entretien réalisés par EDF, des expérimentations ont été réalisées à partir de 1993 comprenant des extractions de sédiments au Lyvet et de premiers essais de valorisation agricole (historiquement pratiquée par les riverains de l'estuaire). Dans le cadre du contrat de baie porté par l'association CŒUR, une première opération expérimentale de piégeage des sédiments sur un petit volume a été mise en place en 1996 sur le site du Lyvet. L'opération a été un succès et le piège a été agrandi en 2000/2001 (Lyvet I). Les sédiments extraits ont été valorisés directement par épandage agricole. Une seconde opération d'envergure a été réalisée au niveau de Mordreuc en 2003/2004, avec une valorisation agricole des sédiments fins après décantation (30 000 m³) et un rechargement de plages avec les sédiments sableux (61 000 m³).

Ces expérimentations ont également montré la nécessité de réduire la salinité contenue dans les sédiments marins avant valorisation agricole. Afin de faciliter la gestion de ces sédiments à terre, le site de La Hisse a ainsi été créé en 2014 pour les déshydrater et les désaliniser. L'opération de curage du piège, dite Lyvet II, a été réalisée en 2014/2015 et les sédiments extraits ont été déposés au sein du site de La Hisse avant d'être valorisés par épandage agricole.

Dans le cadre du plan de gestion expérimental, le piège du Lyvet a de nouveau été vidé en 2018/2019 (opération Lyvet III sous maîtrise d'ouvrage de COEUR Emeraude) et d'autres opérations de dragage expérimentales ont été réalisées par l'EPTB Rance Frémur plus en aval, à savoir :

- Le dragage des accès aux cales de Saint-Jouan-des-Guérets et Saint-Suliac fin 2020/2021, avec la création d'un site de transit temporaire à Saint-Jouan-des-Guérets (cf. Annexe 5a) ;
- Le dragage à proximité du chenal d'accès du port de La Richardais en 2021, avec redistribution des sédiments devant le barrage pour les évacuer vers la mer, via une canalisation de 1km (cf. Annexe 5b) ;
- L'opération de dragage du Chêne Vert en 2023, avec redistribution des sédiments devant le barrage pour les évacuer vers la mer, avec refoulement depuis la drague aspiratrice (cf. Annexe 5c).

En parallèle, des opérations de dragage d'entretien sont régulièrement réalisées dans le Port de La Minotais par la commune de Plouër-sur-Rance. Depuis sa création en 1991, quatre opérations ont été menées environ tous les 7 ans dans le bassin du port. Les sédiments extraits sont gérés à terre, via une lagune attenante au port, pour les déshydrater et les désaliniser avant de les valoriser, soit par un épandage agricole, soit pour étanchéifier les lagunes du site de transit de La Hisse selon le besoin.

Tableau 2 : Synthèse des opérations de dragage réalisées entre 1990 et 2023 dans l'estuaire de la Rance. Les travaux de dragage sont distingués par couleur selon le cadre dans lequel ils sont réalisés

Entretien du chenal de navigation par EDF au titre de l'obligation de la concession, projet porté par CŒUR, entretien du Port de Plouër-sur-Rance, plan de gestion expérimental des sédiments de l'estuaire de la Rance, autre expérimentation.

Année	Volume (m³)	Nature	Technique	Coût (€)	Localisation	Maître d'Ouvrage	Filière de valorisation
1990	6 000	Dragage d'entretien chenal	Remise en suspension au jusant	50 k€	Aval de l'écluse du Chatelier	EDF	Redistribution
1991	10 000			84 k€			Redistribution
1992	10 000			84 k€			Redistribution
1993	3 000	Expérimentation privée	Dragage mécanique	38 k€	Lyvet	Privé (+CG22)	Valorisation directe par épandage agricole
1996	10 000	Contrat de baie Chantier expérimental	Piège Dragage mécanique		Lyvet	Etat, Région, CG 22, CG 35	Multiples essais de valorisation
2000-2001	93 000	Contrat de baie - Lyvet I	Piège Dragage hydraulique	1 500 k€	Lyvet	EDF	Valorisation directe par épandage agricole
2002	-	Dragage d'entretien du Port	Dragage hydraulique	-	Plouër-sur-Rance	Commune de Plouër-sur-Rance	Site IOTA lagune de Plouër-sur-Rance puis valorisation agricole
2003-2004	91 000	Contrat de baie	Dragage hydraulique Hydro-cyclonage	3 700 k€	Zone de Mordreuc	EDF	Epandage agricole (31 000 m3) et reconstitution plages et dunes (60 000 m3)
2008	10 000	Dragage d'entretien du Port	Dragage hydraulique	-	Plouër-sur-Rance	Commune de Plouër-sur-Rance	Site IOTA lagune de Plouër puis aménagement site de La Hisse
2014-2015	65 000	Lyvet II	Piège (63000 m3) + chenal aval écluse (2000 m3) Dragage hydraulique	1 500 k€ dont 760 k€ pour le curage	Piège du Lyvet	Cœur Emeraude	Site ICPE La Hisse puis valorisation agricole (~35 000 m3)
2015	9 300	Dragage d'entretien du Port	Dragage hydraulique	140 k€*	Plouër-sur-Rance	Commune de Plouër-sur-Rance	Site IOTA lagune de Plouër-sur-Rance puis valorisation agricole
2017	500	Dragage d'entretien chenal	Remise en suspension au jusant	50 k€	Aval écluse du Châtelier	EDF	Rejet en aval à marée descendante
2018	7 100	Dragage d'entretien chenal	Dragage hydraulique	180 k€	Aval écluse du Châtelier	EDF	Site ICPE La Hisse
2018-2019	80 000	Lyvet III	Piège Dragage hydraulique	1 100 k€	Piège du Lyvet	Cœur Emeraude	Site ICPE La Hisse puis valorisation agricole et multiples essais de valorisation (SURICATES)
2020-2021	5 620	Dragage d'accès aux cales	Dragage mécanique	454 k€	Saint-Jouan-des-Guérets	EPTB	Site IOTA Saint-Jouan-des-Guérets
	1 414				Saint-Suliac		
2021	5 200	La Richardais	Dragage avec refoulement	320 k€	La Richardais	EPTB	Rejet en mer
2022	11 000	Dragage d'entretien du Port	Dragage hydraulique	165 k€*	Plouër-sur-Rance	Commune de Plouër-sur-Rance	Site IOTA lagune de Plouër-sur-Rance
2023	17 200	Opération Chêne Vert	Dragage avec rejet en mer	954 k€	Chêne Vert – La Moinerie	EPTB	Rejet en mer

* Les coûts des dragages d'entretien du Port de Plouër-sur-Rance sont basés sur un coût au m³ d'environ 15 €.

4.2. CADRE REGLEMENTAIRE ET PROCEDURES PREALABLES A TOUTE OPERATION

4.2.1. REGLEMENTATION LIEE AUX EXTRACTIONS DE SEDIMENTS

Plusieurs réglementations définies dans le Code de l'environnement peuvent s'appliquer notamment celle relative à l'eau et aux milieux aquatiques (Loi sur l'Eau, article L.214-1 du code de l'environnement) ou encore, à la protection de la faune et de la flore des sites Natura 2000 (article L.414-4). Leur mise en application dépend de la nature du projet : localisation, volumes, qualité des sédiments, méthodologie, périmètres de protection existants... (EGIS et IDRA, 2019).

Les dragages en milieu maritime et estuarien sont soumis en premier lieu à la rubrique 4.1.3.0 de la nomenclature Loi sur l'Eau. Selon cette rubrique, le régime d'autorisation ou de déclaration des travaux est directement lié à la qualité des sédiments et au volume dragué. Quelle que soit l'opération menée jusqu'à présent dans l'estuaire de la Rance, les diagnostics sédimentaires obligatoires avant extraction montrent que les sédiments sont de bonne qualité avec l'absence de dépassement du seuil de qualité N1 conformément à la Circulaire dragage n°2000-62 du 14 juin 2000. Dans ce cas où les sédiments sont de bonne qualité, toute opération de dragage sera soumise à :

- Une demande d'autorisation : si le volume in situ dragué au cours de douze mois consécutifs est supérieur ou égal à 500 000 m³.
- Une demande de déclaration : si le volume in situ dragué au cours de douze mois consécutifs est supérieur ou égal à 5 000 m³ sur la façade Atlantique-Manche-mer du Nord ou lorsque le rejet est situé à moins de 1 km d'une zone conchylicole ou de cultures marines, mais inférieur à 500 000 m³.

Une étude d'impact environnemental peut également être demandée lors de dragages et/ou rejets de sédiments de qualité inférieure au seuil N1 si le volume concerné est supérieur ou égal à 50 000 m³ sur 12 mois consécutifs (examen au cas par cas selon l'article R122-2 du Code de l'environnement).

Lorsque des opérations d'extraction visent l'entretien régulier d'un secteur délimité tel que l'entretien du chenal de navigation par EDF ou du port de Plouër-sur-Rance par la commune, une autorisation décennale peut être obtenue. Celle-ci est basée sur un programme de gestion prédéterminé sur 10 ans maximum (localisations, volume maximal, méthodes d'extraction, suivis...). Cette autorisation décennale ne dispense pas de toute autre procédure réglementaire spécifique susceptible de s'appliquer.

A défaut d'autorisation décennale pour les opérations de dragage du plan de gestion expérimental des sédiments de l'estuaire de la Rance, les prescriptions réglementaires spécifiques pour ces opérations sont déterminées sur la base de l'arrêté préfectoral relatif au dragage du chenal de navigation de l'estuaire de la Rance par EDF du 26 avril 2019. Cet arrêté fixe entre autres la période de dragage autorisée du 15 septembre au 10 avril de l'année suivante, excepté pour les travaux à moins d'un kilomètre de l'îlot Chevret devant être menés avant le 1^{er} mars pour préserver la période de nidification de l'avifaune (site protégé au titre de la directive Oiseaux).

Lors des procédures, une attention particulière est portée sur les sites d'intérêt écologique et patrimonial que présentent l'estuaire de la Rance. Plusieurs périmètres de protection subsistent (cf. figure 29) et nécessitent des démarches complémentaires selon la localisation des dragages et les modalités de gestion :

- Deux sites Natura 2000 : l'un au titre de la Directive Oiseaux (ZPS Ilots Notre-Dame et Chevret) et le second au titre de la Directive Habitats (ZSC Estuaire de la Rance), au niveau desquels l'ensemble des enjeux liés aux espaces protégés sont à considérer tels que les herbiers de zostères, les zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique (ZNIEFF)...
- Site classé / site inscrit : ces périmètres de protection tenant compte du patrimoine bâti et naturel concernent une surface très importante de l'estuaire, principalement en domaine terrestre.
- Une demande d'autorisation de travaux en site classé peut s'avérer nécessaire pour des questions environnementales et paysagères liées aux impacts potentiels du chantier. Cette contrainte

réglementaire n'est pas bloquante pour la réalisation de travaux. L'autorisation est délivrée par le Ministère de l'environnement, impliquant des délais d'instruction de plusieurs mois.

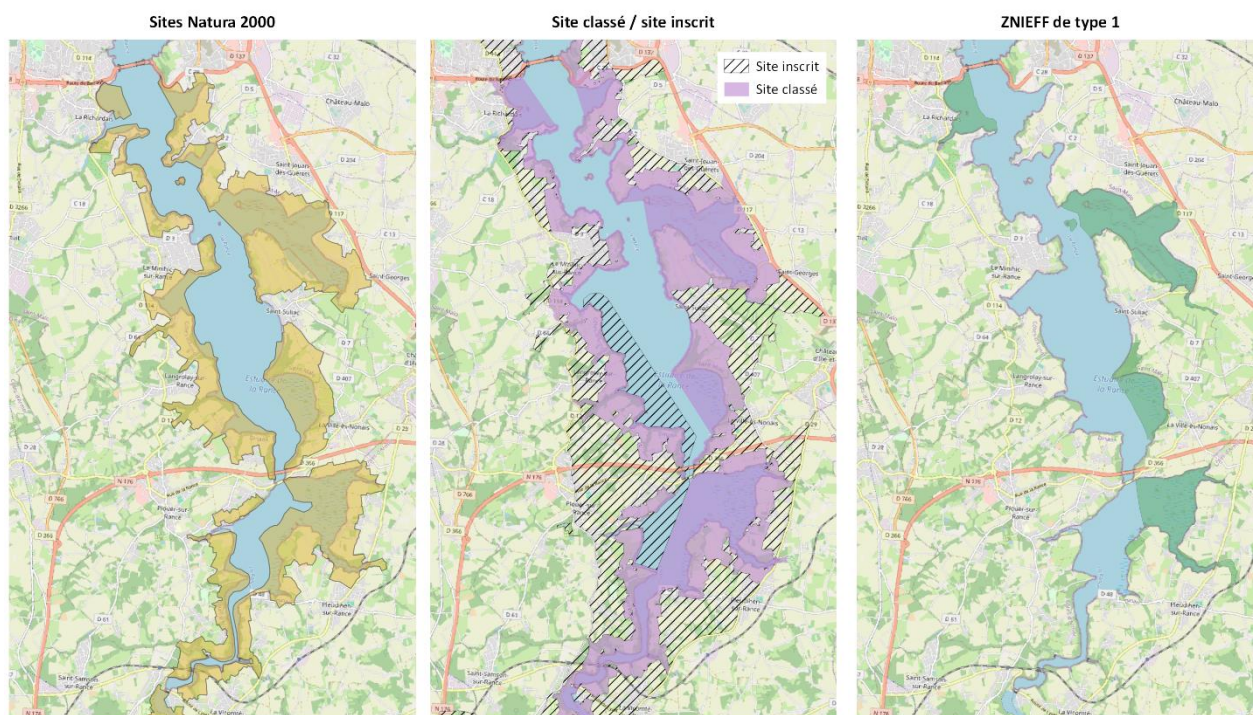


Figure 29 : Périmètres de protection environnementaux et patrimoniaux

4.2.2. REGLEMENTATION LIEE AU DEVENIR DES SEDIMENTS EXTRAITS

Compte-tenu de la bonne qualité des sédiments extraits, trois modes de gestion après extraction sont possibles : la redistribution progressive de sédiments dilués en amont immédiat du barrage en utilisant les courants de jusant, le clapage en mer ou une gestion à terre. Une valorisation immédiate après extraction des sédiments n'est pas possible à ce jour en raison notamment de la teneur en eau trop importante (une phase de décantation à terre de plusieurs mois est nécessaire). Selon les filières de valorisation actuellement en place, la salinité est également un frein à une valorisation rapide des sédiments.

Suite à une harmonisation des polices de l'eau et des milieux aquatiques, de la pêche et de l'immersion des déchets en 2005, les trois modes de gestion après extraction mentionnés ci-dessus sont soumis à autorisation ou déclaration selon la Loi sur l'eau au même titre que les extractions (EGIS et IDRA, 2019). Cela étant, le clapage en mer n'est possible qu'au droit d'une zone d'immersion bien définie et autorisée. La création d'une zone d'immersion en mer nécessite des études d'impacts environnementaux très poussées pour veiller à préserver le milieu littoral et les activités professionnelles à proximité. La mise en place de nouvelles zones d'immersion est possible mais complexe à obtenir dans un contexte réglementaire visant à réduire à terme les immersions des sédiments de dragage en privilégiant une gestion à terre et une valorisation de ces sédiments (Loi du 20 juin 2016 pour l'économie bleue s'appliquant en premier lieu aux sédiments pollués).

4.2.2.1. Réglementation liée aux stockages à terre des sédiments

En l'absence de cadrage spécifique, les sédiments, une fois extraits pour être gérés à terre, ont le statut réglementaire de déchets selon l'article L.541-4 du Code de l'Environnement et la Directive Cadre Déchets n° 2008/98/CE.

La teneur en sel présente dans les sédiments estuariens ne permet pas un stockage à terre en dehors d'installations dédiées empêchant tout transfert de cette salinité dans le sol, la nappe phréatique et les cours d'eau. Le statut de déchet influe ainsi à plusieurs niveaux sur la gestion des sédiments (EGIS et IDRA, 2019) :

- Sur le classement des matériaux gérés à terre : inertes/non inertes et dangereux/non dangereux ;
- Sur les conditions de transit et de traitement ;
- Sur les conditions de valorisation des sous-produits selon les filières et de sortie du statut de déchet (cf. partie 4.2.2.2.).

De 2010 à 2017, l'encadrement réglementaire des sites de transit de sédiments relevait exclusivement du champ d'application des Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Depuis avril 2017, deux types d'installations de transit sont envisageables :

(1) Des ICPE permettant l'accueil de sédiments de dragage contenant des substances dangereuses ou non dangereuses, quelle que soit sa provenance. Des traitements particuliers pour transformer ces sédiments en matériaux valorisables (autres que la déshydratation et la désalinisation par ressuyage) peuvent être réalisés sur site si nécessaire. Une ICPE ne doit pas engendrer d'impacts pour l'environnement, la santé ou la sécurité publique.

Les procédures de création d'une ICPE sont dépendantes du régime applicable. Dans le cas d'une ICPE visant à stocker plus de 1 000 m³ de sédiments non dangereux et non inertes (Rubrique 2716), l'ICPE est soumise à enregistrement correspondant à une autorisation simplifiée. Les démarches à réaliser pour la création sont synthétisées dans la figure 30. Pour la création d'un site de transit de sédiments non dangereux, une autorisation environnementale n'est pas systématiquement nécessaire (examen au cas par cas selon l'article R122-2 du Code de l'environnement).

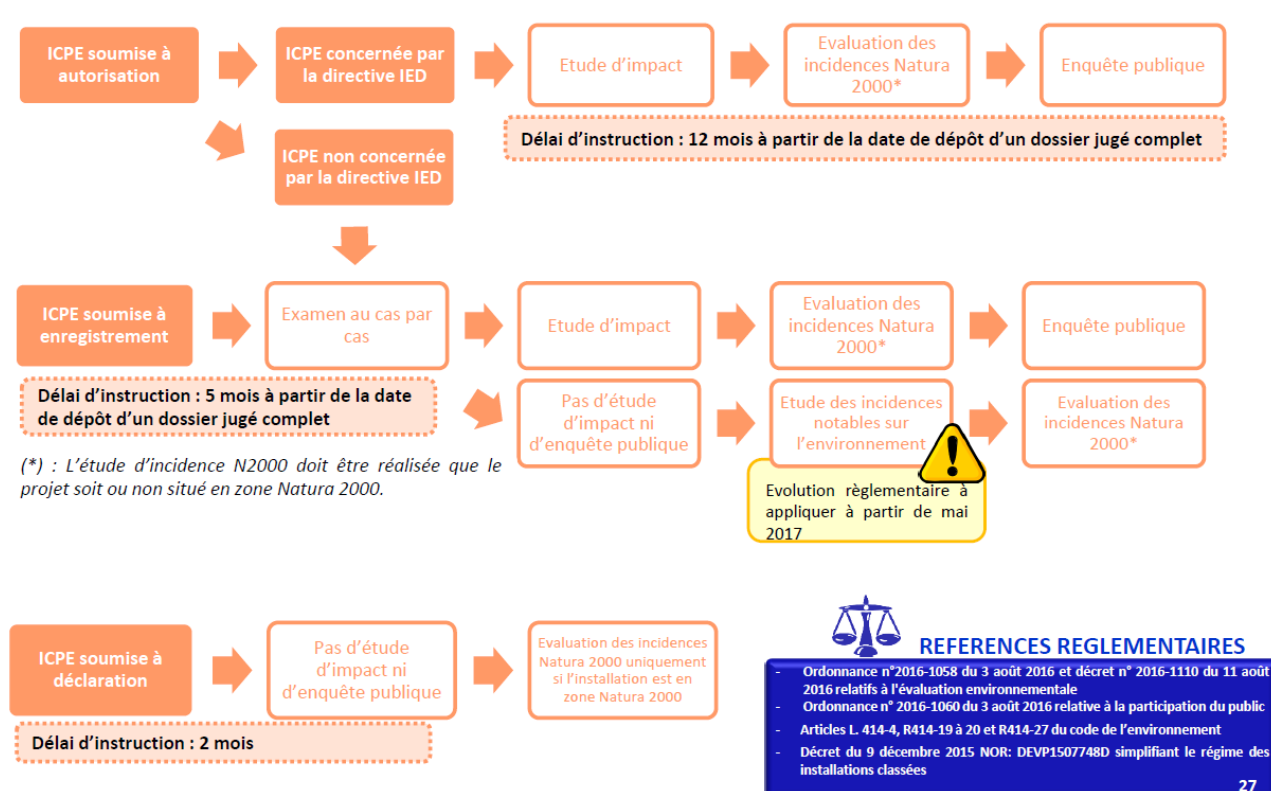


Figure 30 : Procédures administratives pour la création d'une ICPE (Circulaire Dragage VNF, 2008)

(2) Des IOTA (Installations, Ouvrages, Travaux et Activités) permettant de stocker des sédiments extraits sur un secteur prédéfini situé à proximité du lieu de stockage (ex. pour le dragage d'entretien du port de Plouër-sur-Rance). La création d'une IOTA peut être encadrée par la Loi sur l'eau à condition qu'aucun traitement des sédiments autre que leur déshydratation et leur désalinisation par ressuyage ne soit réalisé, que les sédiments soient non dangereux et entreposés dans un lieu approprié permettant de récupérer les eaux de ressuyage afin d'en contrôler le rejet (Circulaire du 25 avril 2017).

Quel que soit le dispositif mis en place, le stockage à terre ne peut excéder 3 ans lorsque les sédiments peuvent être valorisés ou 1 an s'ils doivent être enfouis en installation de stockage des déchets (ISD). Un stockage définitif en ISD nécessite que les sédiments soient non dangereux et non inertes (désalinisés) avant enfouissement.

4.2.2.2. Réglementation liée à la valorisation des sédiments

Début des années 2000, 95 % des sédiments extraits sur la façade Manche, étaient immergés en mer et les 5 % restant étaient gérés à terre (CETMEF, 2012). La valorisation des sédiments déposés à terre était largement minoritaire de l'ordre de 0.01%. Ces dernières années, la réglementation a évolué pour favoriser la valorisation des sédiments considérés comme des déchets une fois extraits du milieu (volonté de limiter les immersions en mer, développer le recyclage des déchets et l'économie circulaire...).

Depuis une dizaine d'année, divers travaux ont été menés pour expérimenter diverses filières et cadrer la valorisation de sédiments de dragage. Selon leur qualité et la filière de valorisation visée, les sédiments peuvent être valorisés sous statut de déchet ou suite à une sortie du statut de déchet (cf. figure 31).

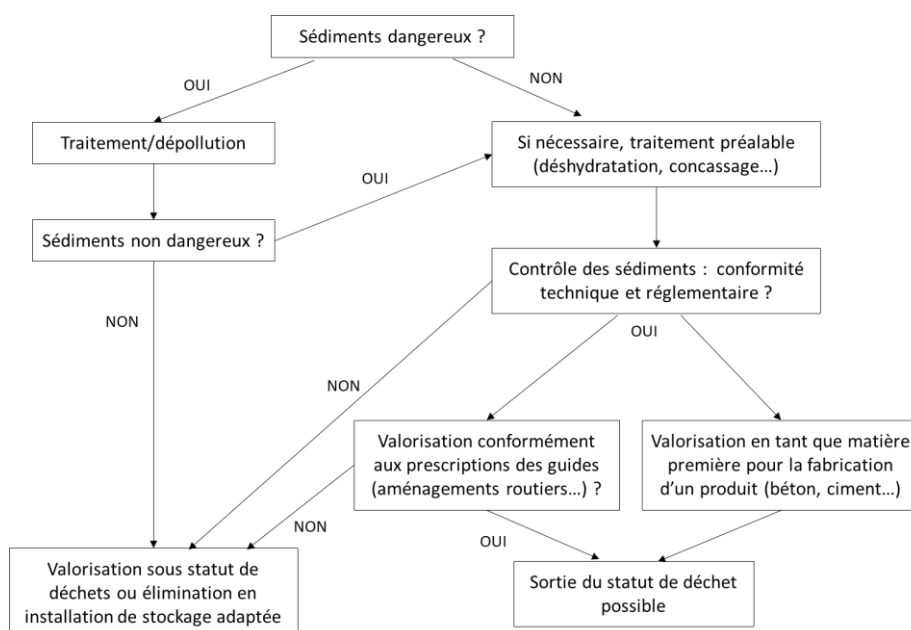


Figure 31 : Logigramme décisionnel pour la sortie du statut de déchet lors d'une valorisation des sédiments

La sortie du statut de déchet pour les sédiments est possible si :

- Les sédiments sont traités et employés comme matière première pour fabriquer un produit tel que du béton (Directive cadre 2008/98/CE transposée dans le Code de l'environnement) ;
- Le projet respecte les prescriptions de l'Arrêté ministériel du 4 juin 2021 fixant les critères de sortie du statut de déchet pour les terres excavées et sédiments ayant fait l'objet d'une préparation en vue d'une utilisation en génie civil ou en aménagement.

L'Arrêté ministériel du 4 juin 2021 autorise la sortie du statut de déchet en s'appuyant sur des guides validés par le Ministère en charge de l'environnement (<https://www.ecologie.gouv.fr/sortie-statut-dechet-terres-excavees-et-sediments>). En janvier 2024, trois guides sont référencés :

- Guide méthodologique : Acceptabilité de matériaux alternatifs en techniques routières – Évaluation environnementale (CEREMA -ex-SETRA- 2011) ;
- Guide de valorisation hors site des terres excavées issues de sites et sols potentiellement pollués dans des projets d'aménagement (DGPR – 2017, révisé en 2020) ;
- Guide de valorisation hors site des terres excavées non issues de sites et sols pollués dans des projets d'aménagement (DGPR – 2020).

Seul le guide méthodologique pour évaluer l'acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en techniques routières s'applique à tout type de déchet y compris des sédiments. Il fixe la démarche à suivre pour la caractérisation des matériaux uniquement. Par conséquent, la valorisation des sédiments est réalisée généralement sous statut de déchet (excepté s'ils sont utilisés comme matière première d'un produit). La faisabilité réglementaire de la valorisation des sédiments est de fait, déterminée au cas par cas.

Bien qu'ils ne soient pas actuellement reconnus par le Ministère, d'autres guides méthodologiques dédiés aux sédiments existent ou sont en cours de finalisation. Ces derniers peuvent être utilisés pour cadrer un projet de valorisation de sédiments sous statut de déchet :

- Guide pour la valorisation des sédiments de dragage en technique routière ;
- Guide pour la valorisation des sédiments de dragage en aménagement paysager ;
- Guide pour la valorisation des sédiments de dragage en béton ;
- Guide en cours de finalisation en 2024 pour la valorisation des sédiments en agronomie.

Concernant la valorisation agricole, un cadrage réglementaire spécifique aux sédiments de l'estuaire de la Rance est défini par arrêtés préfectoraux de 2014 et 2017 relatifs à l'exploitation du site ICPE de la Hisse. Sur la base d'une étude menée en 2016 par la Chambre d'Agriculture des Côtes d'Armor, les modalités de valorisation agricole sont une adaptation des prescriptions fixées par l'Arrêté du 2 février 1998. Les apports de sédiments sont considérés comme un supplément de sol.

Compte-tenu de leur qualité et de leur désalinisation après 2 ans de stockage sur le site de la Hisse, il est permis de déposer jusqu'à 500m³ de sédiments par hectare tous les 10 ans. Les quantités maximales épandables sont déterminées en fonction de la qualité des sédiments et de flux admissibles en éléments nutritifs (azote...) et chimiques (chlorures, éléments trace métalliques...).

Ces modalités spécifiques aux sédiments de la Rance basées sur des calculs de flux admissibles sont susceptibles d'évoluer lorsque le guide pour la sortie de statut de déchet pour la filière agricole sera finalisé. Ce guide vise à définir une démarche centrée sur la qualité des sédiments mais également sur les besoins spécifiques des sols pour définir la quantité de sédiments à épandre. Dans le cas de la Rance, cette méthodologie pourrait permettre d'augmenter le volume de sédiments déposés par hectare sous réserve que les critères de qualité fixés dans le guide soient adaptés à des sédiments marins.

4.3. RETOURS D'EXPERIENCE DES OPERATIONS DE DRAGAGE

La mise en œuvre d'opération de gestion sédimentaire dans l'estuaire de la Rance nécessite de prendre en considération de multiples facteurs, qu'ils soient environnementaux ou réglementaires. Selon l'accessibilité des gisements et les volumes à extraire, cette mise en œuvre peut s'avérer complexe pour allier efficacité et moyens à mobiliser pour un coût acceptable.

Les éléments détaillés ci-après visent à identifier les principaux facteurs techniques, réglementaires ou liés aux spécificités de l'estuaire de la Rance, à prendre en considération lors du montage d'une opération de dragage. Des préconisations sont présentées notamment sur les techniques disponibles, en s'appuyant sur les retours d'expériences acquis pendant le plan de gestion expérimental et lors d'opérations menées avant 2018. Elles sont donc basées sur l'état des connaissances sur les modalités de gestion sédimentaire au terme du plan expérimental et du contexte réglementaire actuel.

4.3.1. SPECIFICITES DE L'ESTUAIRE DE LA RANCE INFLUENÇANT LES MODALITES DE DRAGAGE

La variabilité de facteurs environnementaux d'un estuaire, tels que les niveaux d'eau, la courantologie ou la nature des sédiments, influence fortement les modalités d'action lors des dragages.

Les **niveaux d'eau dans l'estuaire de la Rance** varient selon la gestion du barrage marémoteur faite par EDF. Bien que leur évolution reste rythmée par la marée, les niveaux hauts et bas ainsi que la vitesse de remplissage et de vidage de l'estuaire sont contrôlés par le barrage afin de produire de l'électricité (cf. figure 32). Les zones de forte sédimentation sur lesquelles des actions prioritaires sont programmées se situent à une cote du fond entre 7 et 9.5m CM. Selon les modalités de gestion sédimentaire retenues, ces niveaux d'eau contrôlés peuvent faciliter un dragage (ex. lors des étales de pleine mer qui permettent de disposer de niveaux hauts de manière prolongée) ou, à l'inverse, limiter les fenêtres d'action (ex. hauteurs d'eau insuffisantes pendant plusieurs heures à chaque marée rendant certaines zones peu profondes inaccessible pour les dragues ou barges).

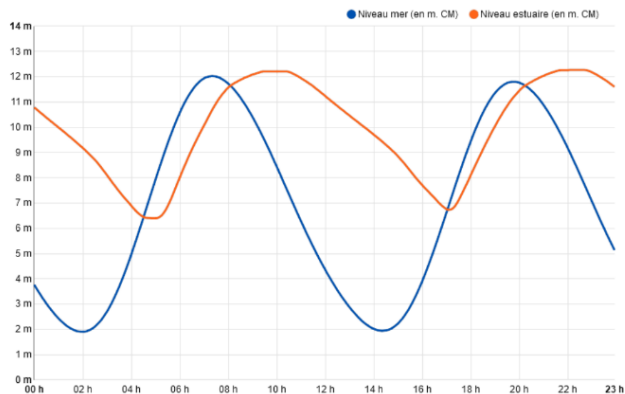


Figure 32 : évolution des niveaux d'eau dans l'estuaire (rouge) et en mer (bleu) (EDF, 2023)

Les **courants** sont principalement influencés par le fonctionnement du barrage et la morphologie de l'estuaire. Dans les secteurs peu profonds à l'amont de l'estuaire et dans les anses, les courants sont atténués ce qui n'est pas propice à une évacuation vers la mer des sédiments. Dans ces secteurs, une remise en suspension dans le milieu est proscrite pour plus d'efficacité dans la gestion sédimentaire. A proximité du barrage, les courants sont plus intenses et permettent sous conditions, une redistribution de sédiments fins pour les évacuer au large. Il est par ailleurs nécessaire de tenir compte de courants tourbillonnants (gyre) qui se forment localement et à certains moments de la marée (cf. figure 33). Ainsi, lors de la programmation de ce type d'opérations, les conditions de rejet (localisation, quantités rejetées, période et cadences) doivent être adaptées afin de :

- Eviter autant que possible, que les sédiments ne franchissent pas le barrage ou qu'ils reviennent dans l'estuaire aux prochaines marées ;
- Eviter tout impact sur les sites à enjeux situés à proximité aussi bien dans l'estuaire que sur le littoral ;
- Sécuriser le chantier (ex. pour le maintien d'une canalisation dans les forts courants).

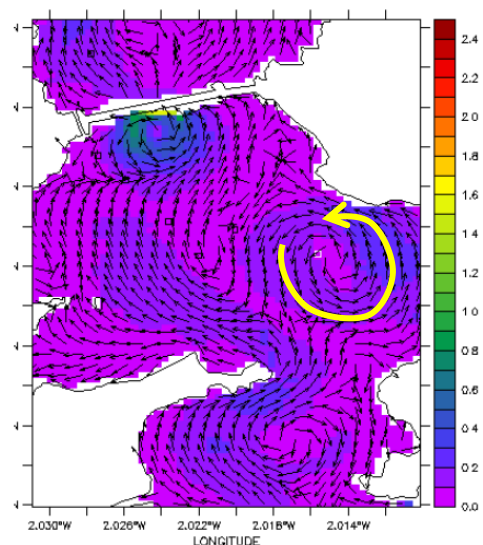


Figure 33 : illustration d'un courant tourbillonnant (flèche jaune) se formant à pleine mer à proximité du barrage (Acric-In, 2022)

Outre leur qualité, **la nature des sédiments** en place influence également les modalités de gestion sédimentaire. Bien que visuellement les sédiments paraissent majoritairement fins, une proportion non négligeable de sable peut être présente au droit des zones de dragage. De même, la nature des sédiments peut varier en profondeur (cf. partie 1.1.3). Enfin, plus les dépôts sont anciens, plus ils seront consolidés et compacts ce qui peut complexifier un dragage selon la méthode employée, notamment pour un dragage hydraulique.

Des analyses granulométriques en subsurface (prélèvement simple) et en profondeur (carottage) sont nécessaires avant chaque opération pour veiller à extraire majoritairement des vases, dans la mesure du possible peu consolidées pour faciliter leur extraction (augmentation des cadences).

D'autres critères en lien avec la **préservation des habitats ou espèces protégés** sont également à prendre en considération. Cela concerne par exemple les herbiers de zostères (habitats protégés) et l'évitement des nuisances sonores, en particulier à proximité des zones de nidification et d'alimentation des oiseaux en lien avec le périmètre de protection Natura 2000.

Par ailleurs, **divers usages** présents sur l'estuaire comme la pêche, le nautisme, la baignade, sans omettre la gestion du barrage, peuvent aussi être impactés par les travaux de gestion sédimentaire. Une concertation étroite doit être réalisée en amont auprès des acteurs concernés.

Enfin, la **salinité et la teneur en eau résiduelle** sont les principaux facteurs impactant les modalités de gestion à terre des sédiments jusqu'à leur valorisation.

4.3.2. METHODES DE DRAGAGE ADAPTEES AUX SPECIFICITES DE L'ESTUAIRE DE LA RANCE

Les éléments fournis ci-après sont des informations généralistes basées sur les retours d'expérience des opérations menées durant le plan de gestion expérimental des sédiments de l'estuaire de la Rance, des échanges avec la maîtrise d'œuvre et les entreprises impliquées dans ces opérations ainsi que sur la bibliographie. Certaines limites techniques peuvent être réévaluées au cas par cas, selon le projet mené et le développement des moyens techniques.

4.3.2.1. Dragage mécanique et transport

Le dragage mécanique est adapté pour extraire différents types de sédiments excepté les vases fluides (efficacité moindre). Dans les zones avec de faibles niveaux d'eau telles que visées dans le plan de gestion pérenne, il peut s'effectuer à l'aide d'une pelle amphibie ou positionnée sur un ponton flottant (cf. figure 34). Il permet de draguer sur des profondeurs allant de 30 cm à quelques mètres selon l'équipement utilisé. Réalisé dans de bonnes conditions, notamment hors des zones à fort courant, un dragage mécanique engendre peu de remise en suspension dans le milieu ce qui réduit fortement les risques de dépôts involontaires sur les zones environnantes.



Figure 34 : pelle mécanique sur ponton flottant (à gauche) et pelle amphibie (à droite) (EGIS et IDRA, 2019)

Un dragage mécanique est à privilégier lors d'interventions au niveau de zones de mouillage où les nombreux corps morts ou les chaînes sont susceptibles de bloquer les cutters d'une drague hydraulique. Son efficacité est en revanche réduite en cas de dragage à proximité d'enrochements ou d'ouvrages telles que les cales ou les digues, au risque de les endommager.

Selon l'accessibilité des sites de dragage, les sédiments pelletés peuvent être évacués par voie terrestre et/ou par voie maritime. Cet outil d'extraction présente l'avantage d'extraire des sédiments avec un volume d'eau réduit, ce qui est recherché dans le cas d'une évacuation des sédiments par camion vers un site de stockage à terre ou par barge pour une immersion en mer.

Néanmoins, dans l'estuaire de la Rance, le transport par barge est limité par les contraintes de marée, un tirant d'eau minimum étant nécessaire pour la navigation et pour la reprise des sédiments. Les barges employées lors des dragages à proximité des cales de St-Jouan-des-Guérets et St-Suliac avaient un tirant d'eau de 2,5 m en charge ce qui contraignait les périodes de chargement (cf. figure 35). Lors de ces travaux, les cadences d'extraction étaient comprises entre 400 et 600 m³ de sédiments par jour en moyenne (descriptif des travaux en annexe 5a).



Figure 35 : barges permettant le transport maritime des sédiments avant reprise (EPTB Rance Frémur, 2020)

Pour pallier à la difficulté d'accessibilité en haut d'estran et optimiser la période de dragage, il est possible d'amorcer un chenal au niveau de la zone à draguer pour en faciliter l'accès par les engins lorsque les niveaux d'eau sont faibles. Cette méthode a été nécessaire lors des extractions sur le site du Chêne Vert à Plouër-sur-Rance en 2023 pour tenir les objectifs dans les délais impartis.

Dans l'optique d'une gestion à terre, l'évacuation des sédiments par camion étanche est une solution envisageable selon la localisation de cales adaptées pour la reprise des sédiments et la distance à parcourir par voie maritime (barge) et par voie terrestre (camion) pour acheminer les sédiments jusqu'au site de stockage.

Ce mode de gestion nécessite une cale de reprise suffisamment solide et configurée de manière à limiter les nuisances pour les usagers et riverains durant les travaux, mais également accessible aux camions ou tracteurs bennes d'une capacité de chargement de 10 à 15 m³. Le nombre de cales dans l'estuaire de la Rance adaptées à ce type de travaux sont limitées :

- La cale de la Richardais qui est la mieux adaptée en termes d'accessibilité et de limitation des nuisances pour les riverains et usagers ;
- Les cales de Saint-Suliac et de Port-St-Jean qui restent relativement accessibles en fonction des niveaux d'eau mais leur localisation impose une traversée de zones d'habitation et l'utilisation de la cale par d'autres usagers au cours des travaux serait difficile voire impossible ;
- La cale de Mordreuc à Pleudihen-sur-Rance qui pourrait accueillir une pelle pour décharger les barges mais son accessibilité est contrainte par les niveaux d'eau et son emploi impliquerait des nuisances lors de la traversée d'une zone habitée pour y accéder et pour les autres usagers de la cale ;
- La cale de Plouër-sur-Rance où les nuisances pour les riverains seraient moindres mais son accessibilité par des barges est fortement contrainte par les niveaux d'eau.

Outre l'accessibilité de la cale, l'évacuation des sédiments par camion peut impacter fortement le trafic routier. Lors des travaux de dragage à St-Jouan-des-Guérets et St-Suliac, l'équivalent de 40 camions par jour étaient nécessaires pour évacuer les 400 m³ de sédiments dragués. Un important trafic de camions sur de longues distances a également un impact financier et environnemental (bilan carbone) à prendre en considération lors du dimensionnement du projet.

Dans l'optique d'un transport par barge en vue d'une immersion en mer, il est également nécessaire de disposer de barges de dimensions compatibles avec celles de l'écluse du barrage marémoteur et capables de naviguer en mer sans risque.

Il est également possible de redistribuer les sédiments dans les courants de jusant en amont immédiat du barrage marémoteur. Cela nécessite une étape supplémentaire de dilution des sédiments depuis la barge avant rejet (cf. partie 4.3.2.3.). Etant peu chargés en eau après extraction, les sédiments doivent être concassés au préalable s'ils sont compacts (passage au travers d'une grille avant dilution).

4.3.2.2. Dragage hydraulique et transport

Un dragage hydraulique s'effectue par le biais d'une Drague Aspiratrice Stationnaire (DAS) ou une Drague Aspiratrice en Marche (DAM) (cf. figure 36). Les matériaux sont désagrégés si nécessaire, aspirés avec l'eau, dilués, et refoulés par conduite vers :

- Une barge pour une DAS ou le puits de la drague elle-même pour une DAM tel que testée lors de l'opération de dragage au Chêne vert (Plouër-sur-Rance) en 2023 avec la DAM Fort Boyard (descriptif des travaux en annexe 5c) ;
- Des lagunes de décantation telles que les sites de transit de la Hisse et de Plouër-sur-Rance (cf. partie 4.4.) ;
- Un point de rejet en mer tel que testé lors des opérations de dragage au Chêne vert (2023) et à la Richardais (2021) (descriptif des travaux en annexe 5b et 5c).



Figure 36 : Drague Aspiratrice en Marche "Fort Boyard" et son élinde (à gauche - Conseil Départemental 17) et Drague Aspiratrice Stationnaire utilisée au niveau du piège du Lyvet (à droite - EPTB Rance Frémur, 2019)

L'avantage de cette technique est la possibilité d'un transport des sédiments par canalisation sur de longues distances, ou bien de faciliter une redistribution des sédiments vers la mer. La concentration en eau du mélange (en général 80% d'eau et 20% de sédiments) permet une dispersion importante des sédiments au point de refoulement (EGIS et IDRA, 2019). Lors d'un stockage à terre, le mélange est refoulé dans des lagunes de décantation. Une fois les sédiments décantés, l'excédent d'eau est évacué. Ces étapes sont renouvelées jusqu'à remplissage complet des lagunes. Le dragage hydraulique permet ainsi d'éviter un transport des sédiments par voie terrestre.

Si les Dragues Aspiratrices en Marche (DAM) représentent des outils mobiles et particulièrement autonomes, elles sont en général volumineuses et peu adaptées à des zones fortement contraintes par les tirants d'eau. La DAM Fort-Boyard, l'une des plus petites en France et seule capable de passer l'écluse du barrage marémoteur, présente ainsi un tirant d'eau en charge de 3,2m. Cette dernière présente malgré tout l'intérêt de disposer d'équipements diversifiés permettant de coupler pour un même chantier, un dragage mécanique et un dragage hydraulique ainsi qu'une dilution des sédiments avec de l'eau pour les redistribuer dans les courants de jusant devant le barrage. Pour pouvoir intervenir au niveau du Chêne vert sans risquer de s'échouer, un chenal d'accès a été amorcé par dragage mécanique afin que la Fort Boyard dispose ensuite d'un tirant d'eau suffisant pour poursuivre en dragage hydraulique à l'aide d'une élinde (bras articulé basculé vers le fond) (cf. figure 36). Lors de ce chantier, compte-tenu des niveaux d'eau, du temps de transport de la zone de dragage jusqu'au barrage et des périodes restreintes pour effectuer la redistribution, les cadences d'extraction étaient en moyenne de 400 à 600 m³ par jour malgré un chargement rapide (45 min à 1h). Les conditions de redistribution pour veiller à une évacuation maximale des sédiments vers la mer ne permettaient pas de draguer en continu.

Une drague aspiratrice stationnaire (DAS) est classiquement utilisée pour le dragage du piège du Lyvet ou du port de Plouër-sur-Rance. Dans ces deux cas, le mélange d'eau et de sédiments est refoulé respectivement vers le site de transit de la Hisse et une lagune de décantation accolée à la zone portuaire de Plouër. Les cadences d'extraction sont fonction du degré de consolidation des sédiments (moins ils seront compactés, plus le dragage sera facilité) et de l'accessibilité du site (tirant d'eau minimal de 1.5m pour pouvoir déployer

l'élinde). Elles dépendent également du devenir des sédiments en particulier lors d'un stockage à terre où la phase de décantation peut restreindre les cadences. Ces dernières sont en moyenne de 600 m³ par jour pour le dragage de 10 000 m³ de sédiments fins dans le port de Plouër-sur-Rance et de 800 m³ par jour pour celui de 80 000 m³ dans le piège du Lyvet. Lorsqu'une DAS est reliée à une canalisation, il est possible de refouler le mélange d'eau et de sédiments sur plusieurs kilomètres. Au-delà de 1 km, des pompes relais sont nécessaires.

En cas de refoulement devant le barrage, une attention particulière doit être portée sur l'ancrage de la canalisation pour ne pas qu'elle soit emportée par les forts courants. Une alternative est de refouler directement depuis le puits d'une drague aspiratrice en marche tel que réalisé lors de l'opération au Chêne vert avec la DAM Fort Boyard (cf. Annexe 5c). Dans ce cas de figure, le facteur limitant est la distance à parcourir entre la zone de dragage et le point de rejet. Lors des travaux au Chêne vert, la drague Fort Boyard devait parcourir environ 12 km avant d'atteindre le point de rejet soit 1h15 de trajet ce qui impactait l'organisation du chantier et les cadences. Compte-tenu des temps d'immobilisation de la DAM liés aux conditions de marée, il est préférable de limiter la distance entre la zone à draguer et le point de rejet à environ 5 km soit en aval de Saint-Suliac pour optimiser les cadences.

Du fait de l'emploi d'une élinde plus fragile qu'un godet pour un dragage mécanique, les dragues aspiratrices sont déconseillées dans les secteurs susceptibles de présenter des obstacles au fond tels que les zones de mouillages. Pour plus de sécurité et d'efficacité, les corps morts doivent être déplacés avant opération.

Comparativement à un dragage mécanique, le dragage hydraulique engendre plus de remise en suspension au droit de la zone de dragage. Toutefois, les cadences d'extraction peuvent être réduites si nécessaire pour limiter ce phénomène en présence de zone à enjeux à proximité de la zone draguée.

4.3.2.3. Redistribution des sédiments vers la mer

La redistribution des sédiments devant le barrage est une alternative à la gestion à terre si les sites de transit sont indisponibles et au clapage en mer qui est complexe à réaliser à court terme en l'absence de site d'immersion dédié et du fait du passage difficile de l'écluse du barrage pour les bateaux de grand gabarit.

Le principe est de transporter les sédiments dragués à un point de rejet via une canalisation ou une barge, situé en amont immédiat du barrage marémoteur (hors zone interdite), puis de rejeter les sédiments dilués dans les courants de marée descendante afin qu'ils traversent le barrage et se dispersent au large. Deux tests ont été réalisés au cours du plan de gestion expérimental : un refoulement des sédiments via une canalisation d'environ 1 km depuis la zone de dragage de la Richardais en 2021 et un refoulement des sédiments directement depuis la drague Fort Boyard suite à des extractions au Chêne vert à Plouër-sur-Rance en 2023 (descriptif des travaux en annexe 5b et 5c).

Dans ces deux cas de figure, des modélisations préalables ont été nécessaires pour déterminer la localisation des points de rejet les plus pertinents en fonction des volumes rejetés et des courants. Ces études préalables ont été réalisées avec l'appui du Conseil scientifique pour veiller à l'efficacité de la méthode.

La localisation du point de rejet peut être délicate à définir : les courants doivent être suffisamment forts pour évacuer les sédiments vers la mer mais pas trop intenses pour garantir la stabilité des équipements utilisés pour la redistribution. Lors de l'ouverture du barrage pour produire de l'électricité, les courants peuvent être extrêmement forts face aux bulbes et aux vannes. Ainsi, lors des deux expérimentations faites en 2021 et 2023, les points de rejet ont dû être décalés latéralement par rapport au chenal principal pour pouvoir agir en toute sécurité.

Suite à ces deux expérimentations, il en ressort que la redistribution des sédiments devant le barrage est possible avec des équipements adaptés tels que :

- Une DAM suffisamment puissante pour se maintenir au droit du point de rejet malgré les forts courants ;

- Un ponton solidement ancré au niveau duquel une barge ou une DAM peut s'amarrer. Une canalisation de refoulement peut être nécessaire si le ponton ne peut être à proximité du point de rejet.

Les modélisations faites lors de l'expérimentation de dragage au Chêne vert suivi d'une redistribution des sédiments devant le barrage en 2023 montrent que 70 % des sédiments refoulés sont exportés en mer et ne reviennent pas dans l'estuaire. Les suivis en continu de la teneur en sédiments dans l'eau réalisés au cours de ces travaux et le mois suivant l'opération ne mettent pas en avant d'apports sédimentaires inhabituels transitant par le barrage pouvant indiquer que les sédiments ne sont pas exportés vers le large. Des suivis menés durant les travaux et le mois suivant cette opération n'ont pas montré de dépôts significatifs liés à ces travaux au niveau des zones à enjeux situées à proximité du barrage.

4.3.2.4. Autre(s) technique(s) d'extraction existantes

D'autres méthodes de dragage dit « doux » ou « dragage environnemental » existent : chasses hydrauliques, dragage par injection d'eau sous pression (cf. figure 37), rotodévasage, nivellement avec charrue... Ces solutions visent le nivellement des fonds ou la remise en suspension pour une reprise par les courants de jusant ou un refoulement sur les estrans par exemple (EGIS et IDRA, 2019).



Figure 37 : Dragage par injection d'eau sous pression

Des chasses hydrauliques sont pratiquées régulièrement par la Région Bretagne en accord avec EDF, au niveau de l'écluse du Châtelier pour empêcher l'accumulation de sédiments dans le chenal de navigation en aval proche de l'écluse. Elles sont mises en œuvre sur une courte durée durant l'hiver, généralement entre décembre et fin janvier, lorsque le volume d'eau retenu dans la Rance chenalisée est suffisamment important pour créer un courant d'emportement des sédiments estuariens à l'ouverture de la vanne. Ces chasses ne sont efficaces que sur des dépôts récents peu consolidés.

Les autres méthodes de dragage évoquées ne sont pas des solutions retenues dans le cadre du plan de gestion pérenne car elles ne permettent que de déplacer localement les sédiments. Les besoins d'intervention sont principalement dans le secteur amont de l'estuaire où les courants sont atténués ne permettant pas ou peu d'évacuer les sédiments en suspension au-delà de la cluse de Port-St-Jean. De plus, ces techniques engendrent des panaches turbides conséquents susceptibles d'impacter les zones à enjeux présentes à proximité des zones prioritaires visées par ce plan, à savoir les gisements de pêche et les habitats naturels tels que les herbiers de zostères.

4.3.2.5. Traitement après extraction : séparation des fractions sédimentaires et déshydratation accélérée

Deux expérimentations ont été réalisées, l'une portée par CŒUR Emeraude sous maîtrise d'ouvrage EDF en 2003/2004 dans le secteur de Mordreuc pour séparer les vases et sables après extraction et la seconde par l'EPTB Rance Frémur en 2022 lors du dragage du port de Plouër-sur-Rance pour accélérer la déshydratation des sédiments extraits.

Lors de l'opération de dragage de Mordreuc en 2003/2004, une unité de dessablage/criblage positionnée à proximité de la plage de Mordreuc, a été utilisée pour séparer les sables des vases qui ont été extraits par dragage hydraulique (cf. figure 38). Les sables ont été déposés sur la plage de Mordreuc avant d'être repris pour reconstituer une dune à la Ville-Ger et recharger des plages dans le secteur de Mordreuc. Les vases ont été refoulées via une canalisation vers une autre zone en cours de dragage afin qu'elles soient redirigées vers un bassin de décantation dédié au stockage des vases avant valorisation.



Figure 38 : Photographies de l'unité de dessablage/criblage (EDF, 2003)

Cette méthodologie est efficace et permet de réemployer directement les sables extraits sur des sites à proximité des zones de dragage. Compte-tenu des moyens techniques et financiers importants à mobiliser pour cela, elle est préconisée lorsque la quantité de sables est majoritaire dans le gisement (dans le cas de Mordreuc, il constituait les 2/3 du volume extrait).

Afin d'optimiser la gestion à terre des sédiments, l'EPTB Rance Frémur en partenariat avec la commune de Plouër-sur-Rance a testé en février 2022 un pilote de déshydratation conçu par Ixsane dans le cadre du projet Interreg SURICATES en condition réelle d'un dragage hydraulique (cf. figure 39). Le pilote permet de séparer les sables et d'agglomérer les sédiments fins en suspension dans l'eau à l'aide d'un flocculant puis de les déshydrater avec une presse. A la différence de l'unité de dessablage mentionnée ci-dessus, ce pilote permet également de traiter les vases. A la sortie de la phase de déshydratation, la teneur en eau dans les vases était de 40 % équivalente à celles des sédiments stockés à la Hisse après plus de 1,5 an de stockage.

Cependant, à ce stade de développement du pilote, il ne permet pas de suivre les cadences d'un dragage hydraulique, d'autant plus avec des sédiments majoritairement fins tels que visés dans le plan de gestion. La phase de déshydratation par presse doit être optimisée.

S'il était amélioré en termes de cadences, cet outil pourrait permettre d'optimiser la gestion à terre des sédiments en réduisant la quantité d'eau salée présentes dans les vases immédiatement après extraction. Sur la base des filières de valorisation actuellement possibles sur le territoire de la Rance, les sables seraient valorisables sans difficultés après extraction. Selon l'usage, un éventuel rinçage et stockage temporaire à l'air libre pour que la matière organique fixée sur les grains soit dégradée peut s'avérer nécessaire (sable de couleur noir après extraction).



Figure 39 : Déshydratation des vases avec le pilote d'Ixsane

Les sédiments fins quant à eux seraient plus difficilement valorisables et nécessiteraient un stockage en site de transit pour réduire la teneur en sel encore présente dans les eaux résiduelles au regard des filières de valorisation actuellement opérationnelles. L'intérêt de cette déshydratation accélérée résiderait alors dans l'optimisation des volumes de sédiments transportés vers un site de transit. Par ailleurs, le retrait des sables coquilliers des sédiments bruts limite l'intérêt agronomique de ces sédiments en amendement agricole. Ces sédiments fins déshydratés devraient donc être valorisés dans une autre filière de valorisation encore non identifiée actuellement.

4.3.2.6. Méthode préventive pour limiter la sédimentation : le piège à sédiments

La mise en place d'un piège à sédiments dans les secteurs où la concentration en sédiments fins dans l'eau est élevée et les courants sont relativement faibles permet de capter ces sédiments et d'éviter qu'ils ne se déposent ailleurs dans l'estuaire. Un piège à sédiments est une zone de sédimentation privilégiée qui peut être naturelle ou artificielle en creusant une fosse où les eaux chargées en sédiments seront ralenties.

Ainsi, les efforts de dragage peuvent être limités à une zone spécifique. Couplé à un site de stockage à terre à proximité, le piège peut être vidé par dragage hydraulique avec refoulement vers le site de stockage, à l'image des opérations menées au niveau du piège du Lyvet couplé au site de transit de la Hisse. Ce système permet de draguer des quantités importantes de sédiments tout en limitant les nuisances pour les usagers de l'estuaire. Il permet aussi de réduire les coûts d'extraction comparativement aux autres méthodes mentionnées précédemment impliquant du transport de sédiments jusqu'au barrage ou par voie terrestre.

L'estuaire de la Rance dispose d'un piège à sédiments au Lyvet, en aval immédiat de l'écluse du Châtelier. Ce piège créé en 1996 à petite échelle puis agrandi dans les années 2000 permet de capter jusqu'à 80 000 m³ de sédiments dans sa configuration actuelle. Il est localisé dans la zone de turbidité maximale de l'estuaire qui engendre un remplissage rapide du piège.

L'INSA de Rennes a réalisé un suivi du comblement du piège du Lyvet entre mars 2001 (après dragage) et juin 2007 (cf. figure 40 ; Laguionie et Jigorel, 2008). Il ressort des levés bathymétriques que le piège s'est comblé rapidement, 50 000 m³ de sédiments en 1 an et 8 mois (soit 80 % de sa capacité) et 63 000 m³ en 3 ans. Au-delà des 3 ans, le piège était saturé et la dynamique locale a engendré une érosion des banquettes du piège selon l'INSA.

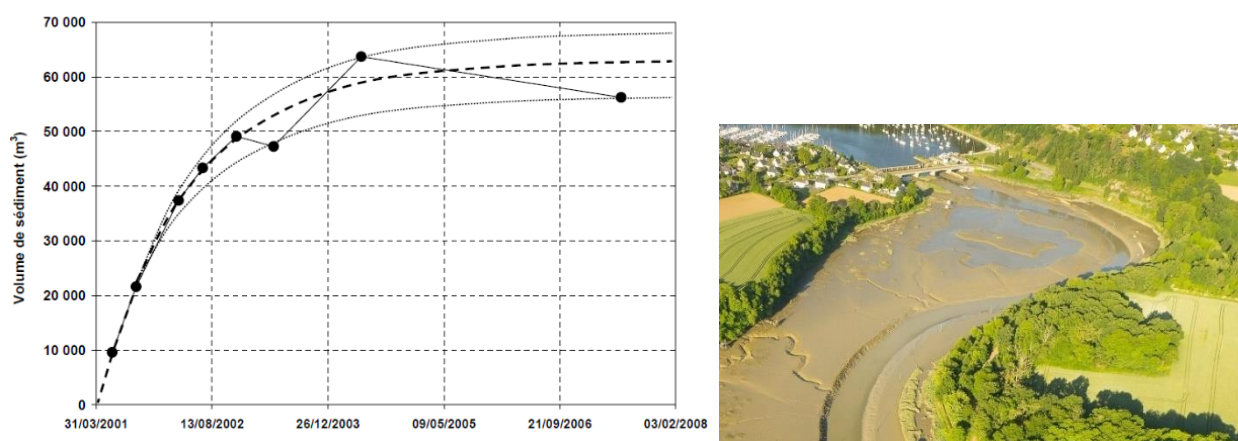


Figure 40 : Evolution des volumes accumulés dans le piège du Lyvet estimés entre avril 2001 et juin 2007 (extrait de Laguionie et Jigorel, 2008 ; photo du piège : O. Durand, 2018)

De nouveaux suivis du piège du Lyvet sont envisagés suite à la prochaine opération de dragage programmée en 2024/2025 pour confirmer cette dynamique et déterminer après quelle période il est plus pertinent de vider le piège. Selon les suivis de l'INSA, le piège atteint son maximum au bout de 3 ans mais une possibilité serait de le vider après 2 ans même s'il n'est qu'à 80 % de sa capacité pour garantir son efficacité. Cette option est dépendante également des filières de valorisation mises en place pour gérer ces volumes dans ce délai.

4.3.3. SYNTHESE DES MOYENS DE DRAGAGE MOBILISABLES DANS L'ESTUAIRE DE LA RANCE

Un **dragage mécanique** est une solution adaptée au contexte de l'estuaire de la Rance grâce à des outils efficaces quelle que soit la nature des sédiments à extraire. Les outils sont adaptables en fonction de l'accessibilité du site de dragage (pelle amphibie ou sur ponton flottant). Il permet d'extraire des sédiments peu chargés en eau ce qui optimise la phase de transport.

L'efficacité de cette solution est en revanche dépendante de la phase de transport, avec ou sans gestion à terre, qui suit l'extraction. La majorité des zones à draguer ne se situe pas au droit d'une cale permettant une évacuation des sédiments directement par camion. Ainsi, l'emploi de barges et/ou de poste de reprise des sédiments est impératif pour déposer ces sédiments sur un site par immersion ou pour un stockage à terre.

La mise en œuvre de cette solution nécessite une bonne coordination des différents ateliers (dragage, transport, évacuation/stockage) en fonction des niveaux d'eau. Pour limiter les coûts et l'impact sur l'environnement du transport, ces ateliers doivent être les plus proches possibles les uns des autres.

Le **dragage hydraulique** est également performant dans les secteurs où les niveaux d'eau sont suffisants pour qu'une drague aspiratrice puisse intervenir (tirant d'eau de 1,5m pour une drague stationnaire et jusqu'à 3,2m pour la drague aspiratrice en marche la plus petite existante en France). Des dragues hydrauliques plus petites nécessitant un tirant d'eau plus faible, sont utilisés pour draguer des rivières ou des lacs mais leur puissance risque d'être insuffisante pour draguer les volumes visés dans le plan de gestion pérenne. Ainsi, cette méthode d'extraction est à privilégier dans les secteurs situés en-dessous de 9,5 m Cote Marine.

Une drague hydraulique peut être connectée à une canalisation de 1km sans pompe relais, évitant ainsi un transport terrestre si un site de stockage est situé à proximité. Selon les modalités de gestion des sédiments choisies après l'extraction, les cadences d'un dragage hydraulique peuvent être supérieures à celles d'un dragage mécanique. En effet, cette solution implique une dilution des sédiments dans l'eau ce qui facilite une redistribution des sédiments dans les courants de jusant comparativement au dragage mécanique. A l'inverse, cette forte proportion d'eau impose une décantation des sédiments dans un site de stockage dédié ce qui peut impacter les cadences d'extraction selon la capacité de stockage du site de transit. Cela étant, cette solution (en incluant également une valorisation agricole des sédiments en cas de gestion à terre) reste plus économique qu'un dragage mécanique compte-tenu des moyens à mettre en œuvre notamment pour le transport des sédiments.

Il subsiste des dragues permettant de faire des dragages mécaniques et hydrauliques mais également de la redistribution devant le barrage à l'image de la drague Fort Boyard du Conseil départemental 17, seule drague aspiratrice en marche existante en France pouvant passer l'écluse du barrage. Cet outil de dragage complet permet d'optimiser les opérations en ne mobilisant aucun autre équipement pour le transport ou la redilution des sédiments dans le cas d'une évacuation des sédiments vers la mer. Il permet également d'adapter la méthode de dragage selon l'accessibilité du site et la nature des sédiments. Ses multifonctions font que cette drague est également fortement sollicitée par ailleurs, et est de fait peu disponible pour des chantiers de longue durée.

Quelle que soit la méthode de dragage privilégiée, il est possible de gérer ensuite les sédiments de deux manières : en redistribuant les sédiments dilués dans les courants de jusant devant le barrage ou en les stockant dans un site de transit dédié. En l'absence d'un site d'immersion autorisé pour ces opérations, le clapage en mer n'est pas une solution envisageable à court terme.

La **redistribution des sédiments** devant le barrage pour qu'ils soient exportés au large implique que les sédiments soient concassés et dilués avec de l'eau en cas de dragage mécanique. Cette méthode n'est possible que lorsque les courants de jusant sont suffisants pour éviter que la majorité des sédiments ne restent ou ne reviennent dans l'estuaire à la prochaine marée. Ainsi, les périodes de rejet peuvent être limitées voire nulles si les coefficients de marée sont faibles.

Dans le cadre du plan de gestion expérimental, il n'a pas été testé une redistribution des sédiments en aval du barrage. Cette option reste à étudier et nécessiterait que la drague passe l'écluse du barrage, ce qui pose question en termes d'organisation du chantier compte-tenu des conditions de dragage souvent contraintes par les niveaux d'eau et des dimensions de la drague ou des barges qui ne permettraient pas un passage rapide de l'écluse lors des expérimentations menées jusqu'à présent. Une autre solution consisterait à faire passer

une canalisation au travers de l'écluse du barrage, ce qui pose cette fois la question de la faisabilité technique et de la sécurité du chantier liée aux forts courants et aux passages de bateaux à proximité.

Enfin, les deux méthodes de dragage citées sont compatibles avec une **gestion à terre des sédiments**, dans un site de transit. Le principal enjeu de cette modalité est la distance entre le site de transit et le gisement de sédiments à extraire qui doit être la plus réduite possible pour limiter les coûts de transport et les impacts environnementaux en cas de transport par camion. Dans le cas d'un dragage mécanique, la gestion à terre nécessite en général une reprise des sédiments amenés par barge jusqu'à une cale adaptée (peu nombreuse dans l'estuaire de la Rance) puis un transport par voie terrestre. Lors d'un dragage hydraulique, une gestion à terre n'est possible que si le site de stockage est situé à proximité de la zone de dragage, à moins de 1 km, voire 2 km avec l'ajout de pompes relais. Plus le site sera éloigné, plus les moyens techniques et financiers à mobiliser ainsi que les risques d'aléas au cours du chantier (ex. rupture d'une conduite) seront importants.

Le schéma suivant synthétise les possibilités de gestion des sédiments en cas de dragage mécanique et hydraulique. Il est basé sur l'organisation générale des expérimentations qui ont été menées durant le plan de gestion expérimental. Cette organisation peut être adaptée selon les projets programmés par la suite et le développement d'outils de dragage plus performants.

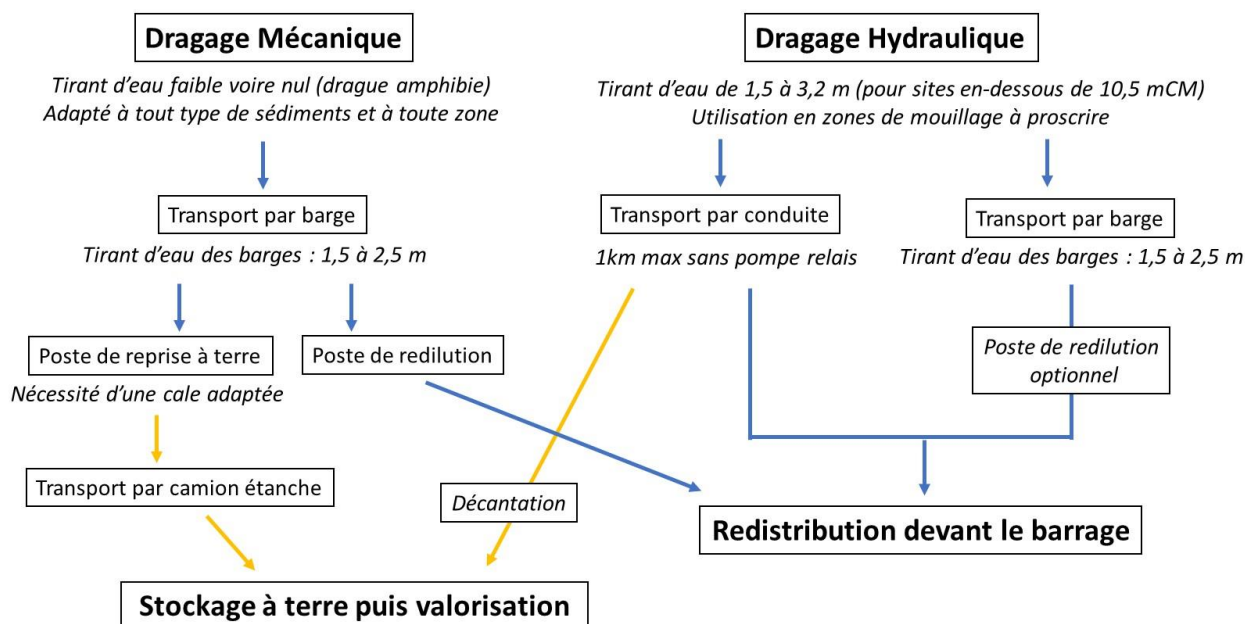


Figure 41 : Organisation d'une opération de dragage selon les méthodes d'extraction mécanique ou hydraulique (EPTB Rance Frémur, 2023)

4.4. GESTION A TERRE DES SEDIMENTS EXTRAITS

4.4.1. FONCTIONNEMENT DU SITE DE TRANSIT DE LA HISSE (ICPE)

Etant donné que les sédiments ont un statut de déchet une fois extraits du milieu aquatique, ces derniers doivent être déposés dans des sites de stockage prévus à cet effet. Les sédiments marins de la Rance étant non dangereux et non inerte en raison de la salinité, deux types de sites de stockage temporaire peuvent être utilisés : des ICPE (Installations classées pour la protection de l'environnement) ou des IOTA (installations, ouvrages, travaux et activités) (cf. partie 4.2.2.1.). Ces sites permettent de déshydrater les sédiments et de les dessaliniser par ressuyage par les eaux de pluies.

Sur le territoire de l'estuaire de la Rance, deux sites de transit sont exploitables : le site de la Hisse (ICPE) d'une capacité maximale autorisée de 100 000 m³ exploité par l'EPTB Rance Frémur et le site de Plouër-sur-

Rance (IOTA) d'une capacité de 10 000 m³ géré par la commune afin de draguer son port de plaisance. Tous deux font l'objet d'arrêtés préfectoraux cadrant leur exploitation.

Les sites de transit existants sont composés de lagunes de décantation classiquement remplies par dragage hydraulique. La figure 42 appliquée au site de la Hisse illustre les étapes de remplissage.



Figure 42 : remplissage successif des lagunes du site de la Hisse par décantation (EPTB Rance Frémur, 2023)

Les lagunes du site de la Hisse sont imperméabilisées par une géomembrane sur les flancs et par une couche de plusieurs dizaines de centimètres de sédiments fins au fond afin d'empêcher tout transfert d'eau salée vers la nappe. Les eaux salées présentes dans les lagunes sont collectées et rejetées dans l'estuaire de la Rance.

Ce processus de remplissage demande environ 5 mois pour stocker 80 000 m³ dans les 7 lagunes du site de la Hisse et environ 3 semaines pour déposer 10 000 m³ dans la lagune du site de Plouër-sur-Rance.

Pour la gestion du site de la Hisse qui dispose de nombreuses lagunes, une gestion adaptée est nécessaire pour favoriser la désalinisation et la déshydratation des sédiments afin qu'ils puissent être valorisés en amendement agricole (cf. figure 43).



Figure 43 : Gestion actuelle du site de transit de la Hisse (EPTB Rance Frémur, 2023)

Quelle que soit la durée de stockage, la teneur en eaux résiduelle dans les sédiments de la Hisse est de 40 à 50 % excepté dans les 50 premiers centimètres où ces derniers sont relativement secs (cf. figure 44). Ainsi, les sédiments majoritairement vaseux présentent une texture collante difficilement manipulable lors de leur valorisation. C'est la raison pour laquelle les amendements agricoles sont réalisés à l'aide d'un bulldozer pour les étaler.

Pour réduire la teneur en eau et en sel dans les sédiments, des solutions subsistent en adaptant les modalités de gestion du site, ou en réduisant à la source la teneur en sel en diluant le mélange eau/sédiments dragués avec de l'eau douce lors du remplissage du site.

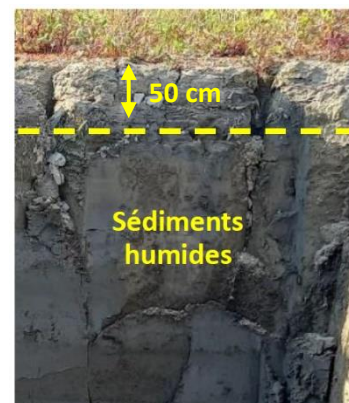


Figure 44 : Texture des sédiments stockés à la Hisse

4.4.2. POSSIBILITES D'OPTIMISATION DE LA GESTION DU SITE DE TRANSIT DE LA HISSE

L'optimisation du fonctionnement du piège du Lyvet en le draguant plus fréquemment et/ou en accélérant son remplissage n'est possible que si les sédiments peuvent être valorisés en 2 ans. Actuellement, la filière de valorisation permettant de gérer d'importants volumes de sédiments est l'amendement agricole. Cette dernière nécessite que les sédiments soient suffisamment désalinisés et déshydratés (la capacité du territoire pour accueillir ces sédiments n'étant pas limitante). Le suivi de la désalinisation des sédiments sur le site de la Hisse entre 2020 et 2022 montre que la teneur en sel reste trop élevée après 1.5 an de stockage dans certaines lagunes profondes du site pour une valorisation en agriculture.

Pour pouvoir gérer de plus grand volume de sédiments sur le site de la Hisse, plusieurs options sont possibles : optimiser les phases de déshydratation et de désalinisation des sédiments, augmenter la capacité de stockage du site de la Hisse dans la limite des 100 000 m³ autorisés ou stocker un volume moindre dans les lagunes les plus profondes pour pouvoir valoriser les sédiments plus rapidement (rotation plus importante).

Pour réduire la teneur en eau et en sel dans les sédiments, des solutions étudiées par le BRGM dans le cadre du projet Interreg SURICATES subsistent telles que :

- Limiter l'épaisseur des dépôts dans les lagunes (supérieure à 2m dans certaines lagunes de la Hisse) ou scarifier les sédiments en surface pour favoriser l'infiltration des eaux de pluies pour la désalinisation ;
- Réaliser du retournement dynamique ou mise en andain des sédiments pour accélérer leur déshydratation ;
- Semer des plantes halophiles avec un système racinaire profond pour fragmenter les sédiments et ainsi favoriser aussi bien la déshydratation que la désalinisation.

L'opérationnalité et l'efficacité de ces solutions dans un délai plus restreint de stockage restent à préciser.

Une autre solution proposée par certains acteurs du territoire et le Conseil Scientifique serait de réduire à la source, la teneur en sel en diluant le mélange eau/sédiments dragués avec de l'eau douce avant remplissage du site. Cette solution a été testée dans le cadre des travaux du piège Lyvet 1 (contrat de baie). Une partie du débit de la Rance fluviale était orientée vers le piège à sédiments à l'aide d'un « mur guide » et maintenue dans le piège grâce à une digue busée fermant l'entrée du piège le temps du chantier (cf. figure 45). Le piège formant une enceinte, était ainsi alimenté principalement par l'eau douce ce qui permet de draguer un mélange de sédiments et d'eau saumâtre avant évacuation vers un site de décantation à terre. L'efficacité de la méthode dépendait des niveaux d'eau dans l'estuaire (ennoiment du piège à marée haute).

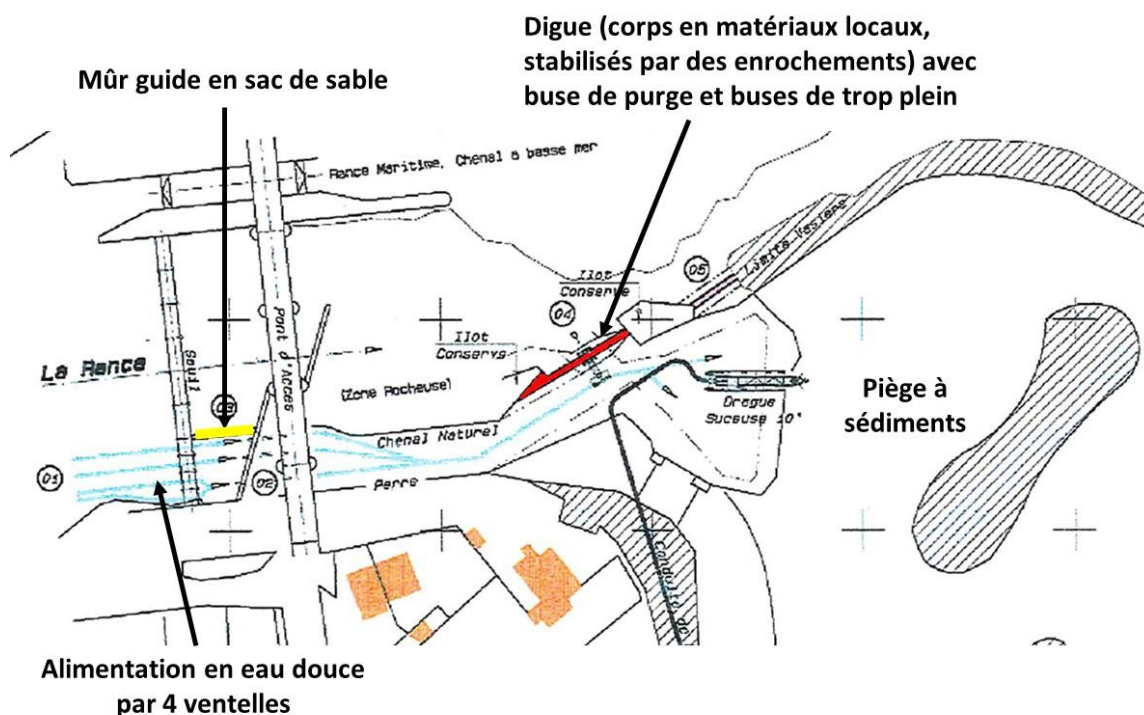


Figure 45 : Schéma des travaux Lyvet 1 pour l'agrandissement du piège du Lyvet (tiré du dossier de passage en commission des sites et autorisation ministérielle, EDF, 2000).

Enfin, il pourrait être envisagé de détourner une partie réduite du débit de la Rance fluvial vers le site de transit de la Hisse pour diluer les eaux salées lors de la phase de décantation. L'eau douce serait prélevée en amont de l'écluse du Châtelier et immédiatement restituée dans l'estuaire après remplissage des lagunes. Pour rappel, le mélange eau/sédiments dragués dans le piège est refoulé dans les lagunes. Une fois les sédiments décantés, les eaux excédentaires sont directement rejetées dans l'estuaire, en aval de l'écluse.

Les faisabilités technique et réglementaire de l'une ou l'autre de ces solutions restent à préciser.

4.4.3. RETOURS D'EXPERIENCE DE LA GESTION DES SEDIMENTS STOCKES SUR LE SITE DE ST-JOUAN-DES-GUERETS (IOTA)

Dans le cadre du plan de gestion expérimental, un site de transit (IOTA) d'une capacité de plus de 7 000 m³ a été aménagé à St-Jouan-des-Guérets, à proximité immédiate de l'estuaire, pour évaluer la faisabilité de créer plusieurs petits sites de transit le long de l'estuaire à proximité des zones d'extraction visées, afin de limiter le transport (descriptif détaillé du projet en annexe 5a).

La création de ce site de transit a été possible grâce à la mise à disposition d'anciennes lagunes de station d'épuration exclues du dispositif d'assainissement de la commune. En effet, la principale difficulté pour la création d'un tel site est la disponibilité de parcelles à proximité des zones de dragage visées, proche d'une cale de reprise et proche de l'estuaire pour faciliter le rejet des eaux salées dans l'estuaire. De plus, la création d'un site de transit n'est pas autorisée dans le périmètre du site classé qui englobe une grande partie de l'estuaire en raison d'enjeux environnementaux et paysagers. Après sollicitation des communes des bords de Rance, la disponibilité de sites potentiels de ce type reste très limitée.

Le site est composé de deux lagunes interconnectées. Une couche de matériaux étanches a été mise au fond de la lagune et du géotextile sur les flancs ainsi qu'une canalisation de rejet spécifique pour éviter tout transfert des eaux salées dans le cours d'eau situé à proximité et la nappe. Un filtre à paille a été installé en aval de la dernière lagune pour empêcher les sédiments d'être entraînés dans les eaux de rejet (cf. figure 46). Le site a été rempli suite à un dragage mécanique, réduisant la quantité d'eau salée à gérer sur site.

Dès 6 mois de ressuyage par les eaux de pluie, il est constaté une désalinisation importante des sédiments en surface et en profondeur, avec une réduction de la teneur en chlorures de l'ordre de 20 à 60 % selon les

stations par rapport à celle mesurée dans les sédiments avant extraction. Dans la lagune 2, la baisse est plus prononcée, probablement liée à une quantité de sédiments stockés moins importante par rapport à la lagune 1. Cette baisse s'est poursuivie les années suivantes malgré des conditions climatiques moins favorables en 2022.

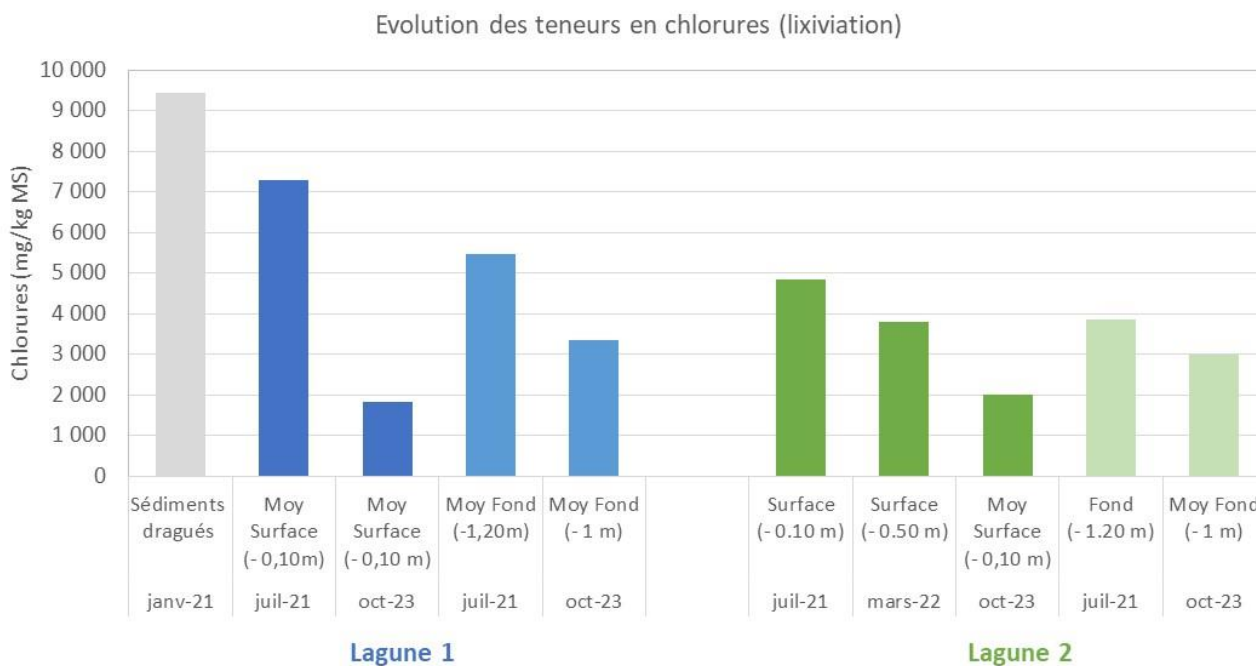


Figure 46 : Evolution de la teneur en chlorures dans les sédiments stockés à St-Jouan-des-Guérets

Comparativement au site de la Hisse, la désalinisation des sédiments du site de St-Jouan-des-Guérets a été 3 à 4 fois plus rapide : les teneurs mesurées à St-Jouan-des-Guérets après 6 mois de stockage sont proches de celles obtenues après 1.5 à 2 ans de ressuyage à la Hisse. Selon les modalités fixées pour un épandage agricole pour le site de la Hisse, les sédiments de St-Jouan-des-Guérets auraient pu être valorisés au bout de 6 mois à 1 an (incluant une saison pluvieuse complète) contre 2 ans pour ceux du site de la Hisse. Cela peut s'expliquer par des volumes à gérer moindres de sédiments (lagunes plus petites et moins profondes) et d'eau salée grâce au dragage mécanique. Les sédiments stockés à St-jouan-des-Guérets présentent également une proportion plus importante de sable que ceux stockés à la Hisse (environ 40 % à St-Jouan contre 20 % à la Hisse).

4.5. SYNTHESE DES ETAPES A SUIVRE POUR REALISER UNE OPERATION DE DRAGAGE

Le diagramme ci-après synthétise les principales étapes à suivre dans le cadre d'une opération de dragage ponctuelle ou liée à un plan de gestion pluriannuel des opérations de dragage (PGPOD). Elles sont basées sur les retours d'expérience des opérations menées ponctuellement sur l'estuaire de la Rance et d'une adaptation au contexte de l'estuaire de la Rance d'une circulaire technique produite par VNF pour leur PGPOD (VNF, 2008).

Le PGPOD permet de cadrer diverses opérations programmées sur 10 ans maximum. Les principales modalités de gestion sont ainsi validées par les services de l'Etat compétents, en amont du programme d'action, notamment :

- Le périmètre d'intervention ;
- Le volume total de sédiments extraits annuellement ou sur la période du PGPOD ;
- Les techniques de dragage envisagées (avec ou sans stockage à terre) ;
- Les filières de gestion des sédiments (valorisation ou rejet vers mer) ;
- Les suivis à mettre en œuvre durant les travaux.

Après obtention de l'arrêté validant le PGPOD, des procédures administratives restent à faire afin d'informer les services de l'Etat de la réalisation des travaux afin qu'ils s'assurent que l'arrêté est respecté. D'autres procédures spécifiques liées à l'opération peuvent s'avérer nécessaire si ces dernières ne peuvent pas être intégrées dans l'arrêté (ex. notice d'incidence Natura 2000 étant liée à des enjeux parfois très localisés selon les modalités de gestion retenues). La procédure de renouvellement d'un PGPOD reste semblable à celle de la première autorisation (incluant un bilan de la phase précédente). Toutefois, la procédure de renouvellement telle que prévue à l'article R 214-20 du Code de l'environnement permet de s'affranchir de l'enquête publique. Cette demande de renouvellement doit être transmise 2 ans avant expiration de l'autorisation précédente selon ce même article du Code de l'environnement.

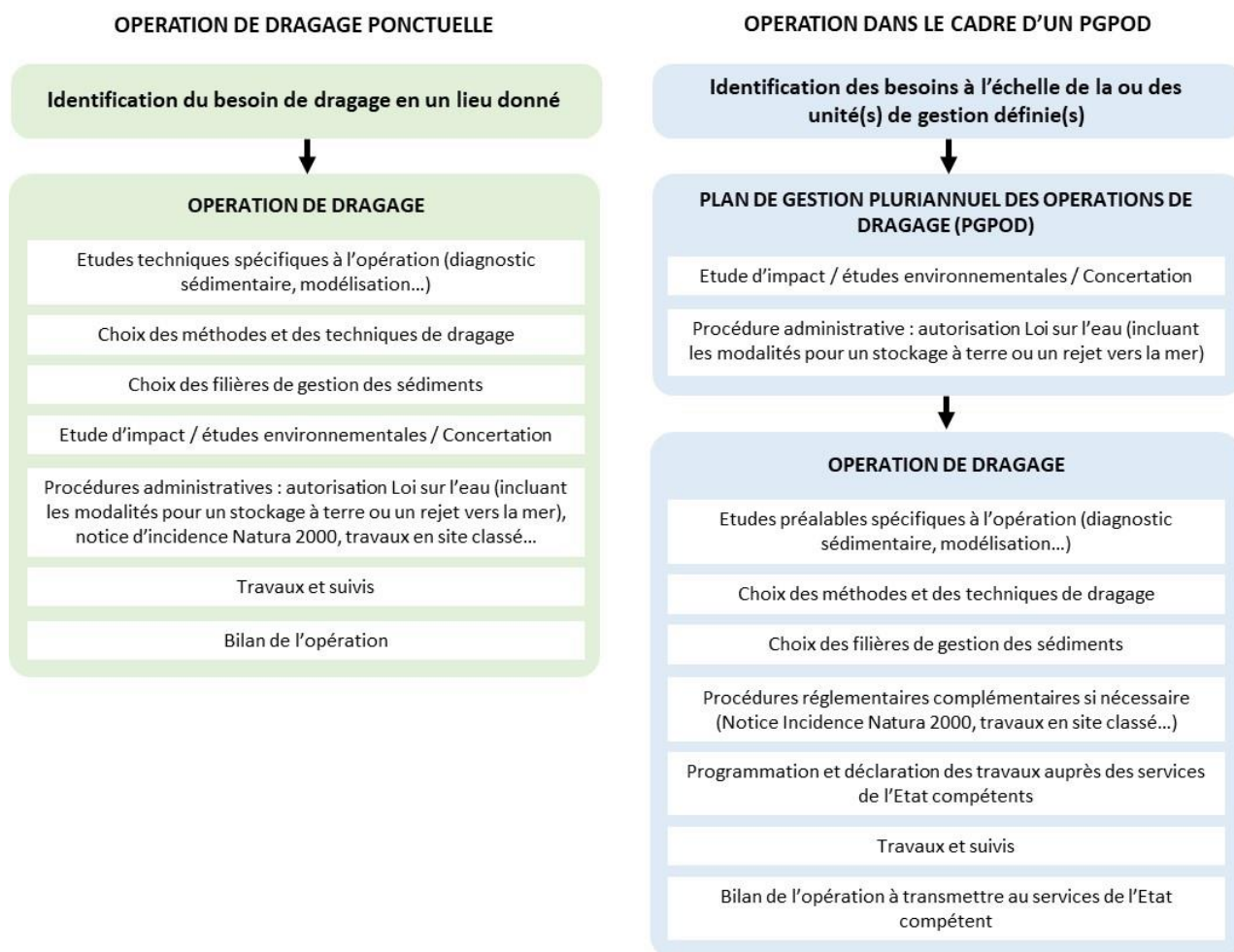


Figure 47 : Principales étapes à suivre dans le cadre d'une opération de dragage ponctuelle ou liée à un plan de gestion pluriannuel des opérations de dragage

Lors de la création d'un site de transit, des procédures spécifiques sont à prévoir. La création d'une IOTA est soumise à déclaration ou autorisation selon la Loi sur l'eau (2 mois d'instruction). Pour celle d'une ICPE soumise à autorisation (stockage de plus de 1 000 m³), les démarches sont plus poussées (cf. partie 4.2.2.1.)

4.6. RETOURS D'EXPERIENCE SUR LA VALORISATION DES SEDIMENTS

4.6.1. FILIERE DE VALORISATION DES SEDIMENTS DE DRAGAGE EXISTANTES

Il existe de nombreuses filières pour lesquelles des études et des projets ont démontré la faisabilité du réemploi des sédiments de dragage en substitution à d'autres matériaux. Les matériaux de construction sont ceux qui offrent le plus de perspectives en termes de diversité de filières (béton, ciment, terre cuite, terre crue, matériaux composites...). Les sédiments dragués peuvent également être intégrés à la construction de voiries, en aménagements paysagers et dans des projets d'ingénierie environnementale (Cf. Figure 48). Des fiches synthétiques sur chacune de ces filières sont consultables en annexes 6a et 6b. Des projets expérimentaux avec les sédiments de l'estuaire de la Rance ont été menés ou sont en cours dans de nombreuses filières (cf. figure 48).

MATÉRIAU CONSTRUCTION - BTP	TECHNIQUE ROUTIÈRE	AMÉNAGEMENT PAYSAGER	AGRICULTURE / SOLS
Béton	Couche de roulement	Digues et merlons	Reconstitution sols
Ciment	Graves routières	Couche d'étanchéité	Amendements
Terre crue	Asphalte	Eco-modelés	Remblaiement de carrière
Terre cuite	Pistes forestières		Terre végétale
Matériau composite			
	INGÉNIERIE ENVIRONNEMENTALE	AUTRES	
	Restauration ou création d'habitats	Faïences et carrelages Verrerie, objet design	

Essai réalisé ou en cours

Figure 48- Filières possibles de valorisation des sédiments, dont celles testées avec les sédiments de l'estuaire de la Rance.

L'utilisation de sédiments dans divers matériaux, notamment dans le domaine du bâtiment et des travaux publics présente l'atout majeur de limiter le recours aux matériaux de carrière dit « nobles » (sables, granulats), puisqu'ils peuvent se substituer en partie à ceux-ci. Dans un contexte de raréfaction des ressources en granulats (cailloux, graviers, sables, etc.) dans certaines régions, et dans une optique d'économie circulaire, les sédiments de dragage représentent une ressource alternative intéressante, disponible, et qui n'est à l'heure actuelle pas exploitée à hauteur de son potentiel.

4.6.2. PRINCIPAUX FACTEURS INFLUENÇANT LA VALORISATION DES SEDIMENTS MARINS DE LA RANCE

Les sédiments sableux étant plus facilement valorisables, les expérimentations de valorisation menées dans le cadre du plan de gestion sont focalisées sur l'intégration de sédiments majoritairement vaseux et limoneux dans les différentes filières où historiquement, ce sont majoritairement les sables et graviers qui sont utilisés.

Quatre critères liés à la composition des sédiments marins de la Rance influencent les possibilités de valorisation selon les filières.

En premier lieu, **la très forte proportion de sédiments vaseux et limoneux** peut-être limitante, notamment dans des matériaux béton ou dans des graves routières, pour lesquels les sédiments sont utilisés en substitution au sable. Les performances mécaniques des matériaux peuvent être moindre si la proportion de vases en substitution du sable est trop conséquente dans le mélange. A l'inverse, cette forte teneur en sédiments fins est un atout pour créer des aménagements imperméables ou pour faire des matériaux tels que des briques en terre crue. Des sédiments très fins ont aussi tendance à retenir les contaminants par rapport à des sédiments sableux. Les sédiments de l'estuaire de la Rance présente l'avantage de ne pas être pollués chimiquement ce qui ouvre de nombreuses perspectives d'utilisation.

La **salinité** considérée comme un contaminant lorsque les sédiments marins sont gérés à terre, peut également être un avantage ou un frein selon les filières. Dans des matériaux de construction impliquant notamment l'usage de liants hydrauliques comme pour le béton, les chlorures agissent positivement dans les réactions chimiques permettant de fabriquer ces matériaux. D'après les tests réalisés avec les sédiments marins de la Rance, les propriétés géotechniques des bétons ou des briques s'avèrent plus performantes que celles de matériaux classiques sans sédiment. En revanche, la salinité peut constituer un frein s'ils sont insuffisamment désalinisés, dans de nombreuses filières notamment lorsqu'il y a un risque de diffusion de la salinité dans le milieu receveur (ex. valorisation agricole, sous-couche routière...).

D'autre part, la présence de **matière organique** dans les sédiments est un critère influençant les possibilités de réemploi des sédiments. Pour la fabrication de matériaux type béton, ciment..., elle peut interférer avec certaines réactions chimiques nécessaires lors de la fabrication de matériaux, et ainsi engendrer des fragilités ne permettant pas d'obtenir des matériaux performants et durables. Dans d'autres filières tel que la valorisation agricole ou l'ingénierie environnementale, la présence de matière organique ne constitue pas systématiquement un facteur limitant.

De manière générale, la **teneur en eau** dans les sédiments est un critère qui n'empêche pas une valorisation mais conditionne les modalités de mise en oeuvre. S'ils sont très secs, les sédiments se contractent et forment de gros blocs compacts qui nécessitent en général d'être concassés pour pouvoir être valorisés. A l'inverse, s'ils sont humides, les sédiments ont une texture pâteuse qui ne facilite pas un épandage en champs ou encore ou la réalisation d'un mélange homogène de sédiments avec d'autres matériaux.

Pour améliorer la possibilité de valorisation des sédiments fins en vue de diversifier les filières envisageables, diverses études ont été menées et ont mis en évidence l'intérêt de prétraiter les sédiments. Ils peuvent ainsi être rendus adaptables à la majorité des filières de valorisation.

En fonction des caractéristiques des matériaux nécessaires pour chaque filière, des prétraitements des sédiments sont possibles. Les prétraitements principaux, outre la désalinisation et la déshydratation réalisées sur le site de transit des sédiments, sont les suivants :

- La correction granulométrique, qui vise à obtenir un matériau avec une taille spécifique (à titre d'exemple, la taille des grains d'un sable est comprise entre 60 microns et 2 mm, d'un gravier entre 2 mm et 2 cm, d'un limon entre 2 microns et 60 microns, d'une argile < 2 microns, etc.). Elle peut s'opérer de différentes manières : par criblage pour ne conserver que la taille de grains ciblée, par ajout d'autres matériaux pour modifier la taille moyenne des sédiments, etc. ;
- La calcination, qui consiste à chauffer à haute température les matériaux. La calcination permet de modifier la composition chimique des matériaux. Elle est notamment utilisée dans le cadre de la valorisation des sédiments pour améliorer leurs propriétés liantes, par exemple pour de la production de ciment ou de mortier avec des sédiments. Elle peut être classique ou « flash » ; dans ce dernier cas les matériaux sont portés à très haute température pendant un temps très court ;
- L'ajout de liant hydraulique, qui consiste à mélanger les sédiments avec des liants de type chaux ou ciment routier. Ils permettent d'améliorer les propriétés des matériaux (leur portance, leur résistance), notamment les sédiments fins, utilisés par exemple en remblai ou en technique routière. Un traitement au liant hydraulique (chaux en particulier) permet également de neutraliser la matière organique présente dans les sédiments (ciment) ;
- Le broyage, le concassage ou la micronisation, qui consistent à réduire la taille moyenne des sédiments ;
- L'ajout d'argile, qui permet par exemple d'améliorer l'imperméabilité des sédiments.

Certains de ces prétraitements sont indispensables pour incorporer les sédiments de l'estuaire de la Rance dans certaines filières : la fabrication d'un béton par exemple nécessite un respect strict de la taille des

granulats incorporés à la formulation, et donc un criblage préalable pour ne conserver que la taille de grains ciblée. D'autres prétraitements sont optionnels, et visent plutôt à augmenter la quantité de sédiments pouvant être incorporée au matériau produit sans en diminuer les performances physiques. Etant donné que chaque prétraitement représente un coût, un arbitrage est à opérer entre la maximisation des volumes de sédiments valorisés et le coût de mise en œuvre d'un projet.

Le tableau suivant synthétise les principaux prétraitements indispensables et optionnels à réaliser sur les sédiments de l'estuaire de la Rance selon la filière de valorisation visée. Il se base sur les expérimentations réalisées localement et sur les retours d'expérience de projets réalisés en France en Europe.

	Traitement granulométrique	Calcination	Traitement liant hydraulique	Broyage concassage, micronisation	Séchage*	Ajout d'argile	Taux de réemploi **
Sous-couche routière							50%
Bande de roulement voirie légère béton							10%
Asphalte							20%
Béton préfabriqué							5 à 20%
Coulis auto-compactant							20%
Béton silico-calcaire							50%
Ciment							30%
Matériau composite							80%
Granulats d'argile expansée							10%
Briques et tuiles en terre cuite							20 à 50%
Terre crue							80%
Amendements / Reconstitution de sol							100%
Terre végétale							50%
Ingénierie écologique							100%
Digues et merlons paysagers							50%
Etanchéité de bassin							Jusqu'à 100%
Remblaiement de carrière							/

Figure 49- Prétraitements nécessaires ou optionnels et taux de réemploi des sédiments selon la filière de valorisation

Le bleu foncé correspond aux prétraitements indispensables, et le bleu clair aux prétraitements optionnels. La couleur orange distingue les filières pour lesquelles des essais ont déjà été opérés, sont en cours ou sont susceptibles d'être mis en œuvre à court terme. * La colonne séchage correspond à un séchage supplémentaire par rapport à celui opéré dans les lagunes du site de transit.

** Le taux de réemploi peut varier selon les projets de valorisation et les caractéristiques des sédiments utilisés.

4.6.3. VALORISATION DES SEDIMENTS EN AGRICULTURE

L'utilisation de sédiments marins en amendement agricole est une pratique historique sur le territoire de l'estuaire de la Rance, des témoignages subsistent sur l'utilisation des vases comme amendement depuis le 19^{ème} siècle, d'abord par les communes riveraines des bords de Rance, puis par des communes situées plus loin dans les terres. Le volume prélevé annuellement à cette époque est estimé à 15 000 m³ (Bourret, 1997).

Depuis les années 1990, période des premiers dragages menés pour désenvaser le bassin maritime de la Rance, les épandages de sédiments sur les terres agricoles est la principale méthode utilisée pour valoriser les sédiments extraits. Environ 200 000 m³ de sédiments dragués dans l'estuaire ont été valorisés ainsi suite aux extractions réalisées dans le cadre du contrat de baie, de l'entretien du port de Plouër-sur-Rance et du plan de gestion expérimental (Cf. partie 4.1 Historique).

4.6.3.1. Modalités de mise en œuvre

Volume valorisé et critère de sélection des parcelles

Au niveau national, les modalités d'épandage de déchets et effluents transitant par des installations classées pour l'environnement sont cadrés par l'arrêté du 8 janvier 1998 modifié. Dans le cadre de l'exploitation de l'ICPE de la Hisse, les arrêtés préfectoraux de 2014 et 2017 ont permis d'adapter les modalités d'épandage fixées par cet arrêté aux spécificités des sédiments de l'estuaire de la Rance, en s'appuyant sur une étude menée en 2016 visant à déterminer les impacts potentiels d'un apport de plusieurs centaines de tonnes de sédiments marins sur la qualité des sols et les cultures de maïs et d'orge (Chambre d'Agriculture des Côtes d'Armor, 2016). Outre les apports calciques issus des sables coquilliers permettant d'augmenter le pH de sols acides, la Chambre d'agriculture précise suite aux tests en laboratoire qu'un apport de 500 tonnes par hectare de sédiments partiellement salés (en matière sèche) ne devrait pas avoir d'impact négatif sur la première culture (cf. figure 50). Les résidus de salinité sont rapidement éliminés du sol. Cela nécessite un lessivage des sédiments marins pendant au minimum 1.5 an sur le site de la Hisse pour réduire suffisamment la salinité.

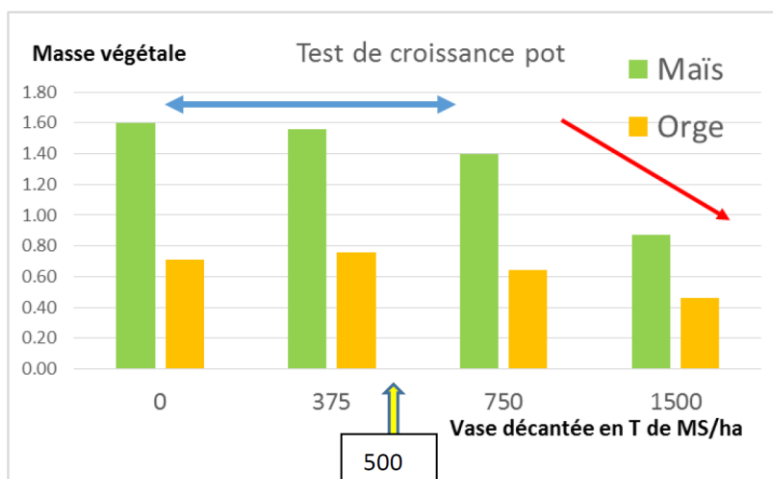


Figure 50 : Résultats des tests de croissance de maïs et d'orge selon la quantité de sédiments apportés (Chambre d'agriculture 22, 2016)

Outre la salinité, le second facteur limitant est la présence de nickel (éléments trace métallique) en plus forte quantité dans les sédiments que dans les sols.

Sur la base de ces constats, des seuils limites de flux des contaminants autorisés (Arrêté de 1998) et de la faisabilité technique pour étaler des quantités importantes de sédiments dans les parcelles (sédiments humides et collants), il est possible de faire un apport massif de sédiments une fois tous les 10 ans par

parcelle. Compte-tenu des deux facteurs limitants (salinité ou teneur en nickel) constatés sur les gisements stockés à la Hisse, un volume maximal de 500 m³ de sédiments par hectare tous les 10 ans est réalisé.

Les arrêtés cadrant la valorisation agricole des sédiments marins de la Rance fixent également divers critères pour la sélection des parcelles pouvant accueillir des sédiments :

- L'épandage des sédiments doit être réalisé dans un rayon de 8km autour de l'ICPE de la Hisse ;
- Il doit respecter les distances minimales à des zones de captage d'eau potable, des plans et cours d'eau, des zones d'activités conchyliques, de baignade telles que prévues dans l'annexe VII-b de l'arrêté ministériel du 2 février 1998 modifié ;
- Il doit être réalisé sur des parcelles à culture céréalière ;
- Il ne doit pas être réalisé sur des parcelles trop pentues (risque d'érosion des sols), ni sur des parcelles situées en zone humide ou dans la bande des 500 m autour de l'estuaire.

Modalités techniques

Avant valorisation agricole, les sédiments stockés à la Hisse restent humides et ont ainsi une texture collante ne permettant pas d'utiliser des épandeurs traditionnels. Après divers tests réalisés par CŒUR Emeraude, la méthode la plus efficace pour étaler les sédiments est l'étalage à l'aide d'un bulldozer (cf. figure 51).

Les sédiments sont acheminés jusqu'aux champs et étalés à la charge de l'EPTB Rance Frémur puis, les agriculteurs effectuent le travail du sol pour l'incorporation des sédiments.

L'épandage est réalisable entre fin août et fin septembre, après récolte de la culture d'été et avant les semis des cultures hivernales. Durant le plan de gestion expérimental, les opérations de valorisation réalisées ont permis de déposer entre 25 000 et 32 000 m³ par opération.



Figure 51 : Etalage dans les champs des sédiments de la Hisse (EPTB Rance Frémur)

Dans le cadre du projet Interreg SURICATES, des pistes d'amélioration ou d'optimisation de la filière agronomique ont été étudiées consistant en :

- Le mélange des sédiments avec d'autres déchets verts pour optimiser leur valeur agronomique (Coftier et al., 2023) ;
- Des tests d'épandage de sédiments secs avec un épandeur à fumier (tests réalisés par l'EPTB Rance Frémur en collaboration avec 2 agriculteurs).

Les résultats de ces deux expérimentations sont positifs mais ces méthodes nécessitent une logistique supplémentaire pour préparer les sédiments (déshydratation importante des sédiments et fragmentation des blocs de sédiments pour faciliter le mélange homogène avec d'autres matériaux ou pour les employer avec

un épandeur). Actuellement, le mode de gestion du site de la Hisse ne permet pas la mise en place de cette logistique.

La piste la plus prometteuse pour augmenter ou optimiser la valorisation des sédiments en épandage ou en reconstitution de sol pourrait être la publication prochaine, du guide de valorisation agricole des sédiments permettant leur sortie du statut de déchet. Par cette méthode, les quantités de sédiments apportées seraient déterminées en fonction des besoins de chaque sol et non plus de seuils et flux en éléments chimiques. Cela pourrait permettre d'augmenter les quantités épandues à chaque opération, sous réserve toutefois que les caractéristiques des sédiments stockés à la Hisse en particulier la salinité, le permettent.

4.6.3.2. Bénéfices agronomiques des apports de sédiments

Plusieurs études ont été menées pour évaluer les effets d'un épandage des sédiments de l'estuaire de la Rance sur les sols receveur, en particulier deux études de la Chambre d'Agriculture des Côtes d'Armor et de la Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne (CRAB) en 2016 et 2022. La seconde a reposé sur des suivis menés sur quatre bandes expérimentales ayant reçu des sédiments lors de la valorisation agricole de 2019, selon différentes modalités (0 m³/ha ; 600 m³/ha ; 1200 m³/ha et 1800 m³/ha). Elles ont mis en évidence le fait que l'épandage de sédiments apporte de nombreux bénéfices aux sols agricoles. Outre l'apport de matière pouvant compenser une potentielle érosion ou ruissellement des sols superficiels, l'épandage de sédiments peut se substituer au chaulage pour remonter le pH des sols (tableau 3). L'augmentation du pH des sols est rapide, significative et durable suite à l'épandage de sédiments avec des effets pouvant perdurer plusieurs années voire dizaines d'années (CRAB, 2022). L'épandage peut donc se substituer à un chaulage classique. L'augmentation du pH a en outre un effet positif sur la disponibilité dans les sols des éléments nutritifs indispensables à la croissance des plantes. Un point d'attention a été soulevé par la Chambre d'Agriculture sur les potentiels effets délétères d'une augmentation trop forte et rapide de la valeur du pH d'un sol : perturbation de la flore, blocage des éléments nutritifs, modification de la faune des sols, impact sur sa stabilité structurale... Malgré une augmentation rapide et importante de la valeur du pH sur la parcelle étudiée, ces effets néfastes n'ont pas été observés au cours des suivis menés sur les parcelles expérimentales (CRAB, 2022). Un second bénéfice observé par les agriculteurs serait une meilleure résistance des cultures sur parcelles épandues à la sécheresse.

Tableau 3 : Analyses de pH réalisées sur des parcelles ou bandes expérimentales ayant bénéficié d'un épandage de sédiments marins de la Rance (CRAB, 2022a ; M. Foucrit)

Etude	Etude Chambre d'agriculture de Bretagne – Plouër <i>Données 2021 - épandage 2019</i>				Analyses sol M. Foucrit <i>Données juillet 2022</i>	
	Modalité	0 m ³ /ha	600 m ³ /ha	1200 m ³ /ha	1800 m ³ /ha	
pH		6.4	7.59	7.84	7.9	
					0 m ³ /ha	500 m ³ /ha
					6.2	8.2

L'épandage de sédiments permet par ailleurs d'apporter des nutriments et du carbone dans les sols. Une étude de l'Université de Strathclyde (Ecosse) réalisée dans le cadre du projet SURICATES sur la base d'un épandage de sédiments de l'estuaire de la Rance d'environ 510t de matière sèche (MS) /ha, réalisé sur deux parcelles à proximité de la Hisse en septembre 2022, a démontré que les sédiments déposés contiennent des niveaux significatifs de nutriments, notamment de calcium, magnésium, potassium, azote et phosphore. Ces éléments sont classiquement apportés aux sols par le biais d'engrais minéraux, et l'apport de sédiments peut, comme pour le chaulage, contribuer à diminuer les apports d'engrais minéraux nécessaires sur les parcelles épandues.

En considérant à nouveau l'épandage de septembre 2022 (taux d'épandage de 500 m³/ha soit 510 t/ha de matière sèche), l'Université de Strathclyde a montré que l'apport et le stockage de carbone dans les sols suite à l'opération de valorisation agricole est significatif (Lord et al., 2023). Cet apport se fait à la fois sous forme organique, le carbone organique étant le principal composant de la matière organique contribuant à la fertilité des sols lors de sa minéralisation (libération d'éléments minéraux nécessaires à la croissance des

plantes), et sous forme inorganique, qui contribue à plus de 50% à cet apport. Le carbone inorganique est ainsi stocké sur le long-terme dans le sol receveur. Ce stockage de carbone est intéressant dans une perspective de limitation des gaz à effet de serre dans le processus de gestion des sédiments, du dragage à la valorisation (Lord et al., 2023).

Des suivis plus approfondis seraient nécessaires pour quantifier et démontrer les effets de l'épandage massif de sédiments sur les terres agricoles. Il serait intéressant de porter une attention particulière aux effets à long-terme sur les sols, la nappe souterraine et l'érosion des sols, les études disponibles à l'heure actuelle ne traitant pas des effets à plus de deux à trois ans sur les sols uniquement. L'importance d'augmenter les connaissances sur les dynamiques à long-terme du carbone et des nutriments dans le sol, et donc plus généralement sur la fertilité des sols à long-terme, a été souligné à plusieurs reprises par les scientifiques et agronomes ayant travaillé sur la question.

4.6.3.3. Points d'attention

Un apport de sédiments trop important peut néanmoins engendrer des effets négatifs sur les qualités agronomiques des sols. Le temps d'incorporation des sédiments au sol est relativement long. Plusieurs agriculteurs témoignent d'une persistance de certains blocs de sédiments dans les sols plusieurs années après l'épandage. Si ces blocs de taille réduite ne constituent pas un problème dès lors que leur taille et leur nombre est limité, un épandage trop important de sédiments peut détériorer les propriétés physiques du sol receveur. Ainsi, les expérimentations menées par la Chambre d'Agriculture ont montré qu'au-delà d'un apport de 1000t/ha, les blocs de sédiments présents dans les champs ont un effet négatif sur la croissance des végétaux à court terme, effets qui semblent s'amenuiser dans les années suivantes (cf. figure 52 ; CRAB, 2022). Aux modalités d'épandage actuelles (510t de MS/ha), plusieurs agriculteurs décrivent une difficulté plus importante à travailler le sol et une nécessité d'augmenter le nombre de labours. Certains **évoquent un tassement des sols** lié au passage plus fréquent d'engins lourds (CRAB, 2021).



Figure 52 : Difficulté de mélange des sédiments avec le sol avec un dépôt de 20 cm de sédiments (CRAB, 2022)

4.6.4. FABRICATION DE BETON A BASE DE SEDIMENTS

4.6.4.1. Aspects techniques sur la valorisation des sédiments en béton

La valorisation des sédiments en béton a été étudiée à diverses reprises en France et à l'international, et a fait l'objet de nombreux projets pilotes. Avec les sédiments de l'estuaire de la Rance, deux formulations, de béton et de mortier, ont été mises au point dans le cadre du projet européen SURICATES (Maherzi, 2023a), et testées sur le terrain avec la construction d'un muret en pierre sèches, en juin 2023.

L'utilisation des sédiments dans les matériaux en béton peut s'opérer de deux manières : les sédiments peuvent soit remplacer une partie du sable qui compose un béton ou un mortier, soit être incorporés au ciment utilisé pour la fabrication du béton. Dans le premier cas, les sédiments sableux sont les plus adaptés et les plus facilement valorisables mais l'incorporation de sédiments fins reste possible moyennant des quantités moindres, une utilisation de davantage de liant, ou un prétraitement des sédiments. Pour la

production de ciment, les sédiments plus fins sont préférés, car ils contiennent des phases argileuses intéressantes pour jouer un rôle de liant.

La fabrication d'un matériau béton nécessite un sédiment relativement sec (20 à 30% d'humidité). Un criblage des sédiments est également nécessaire pour enlever les débris grossiers, et pour ne conserver qu'une fraction granulométrique spécifique. La salinité n'est pas une contrainte aussi importante que pour un épandage agricole : le matériau béton bloque en son sein les éléments chimiques tels que les chlorures et empêche leur diffusion dans l'environnement, grâce au liant (le ciment) qui les piège. Les suivis environnementaux réalisés en laboratoire et *in situ* de plaques expérimentales en béton à base de sédiments de l'estuaire ont d'ailleurs démontré l'innocuité environnementale de ces matériaux (Ennahal *et al.*, 2023). L'utilisation de sédiments marins dans des bétons s'envisage surtout pour du béton non armé, le sel présent dans les sédiments marins n'étant pas compatible avec les armatures en acier du béton armé.

4.6.4.2. Expérimentation d'un béton à base de sédiments marins de la Rance en génie civil

Lors de la réalisation d'un muret expérimental à l'entrée du site de la Hisse (figure 53), des sédiments partiellement salés stockés à la Hisse ont été utilisés dans une formulation de béton, pour faire une fondation, une plaque et des briques en béton, et dans une formulation de mortier. Pour ce faire, les sédiments les plus secs et friables ont été récupérés à la surface des lagunes, et ont été étalés en couche fine à l'air libre pendant une semaine, pour un séchage supplémentaire. Un prétraitement des sédiments a été nécessaire pour les deux matériaux. Pour le béton, où les sédiments remplacent une partie du sable utilisé dans la formulation, ils ont été criblés pour ne conserver que la fraction de taille inférieure à 4mm. Pour le mortier, qui a servi à lier entre elles les pierres sèches formant le muret, les sédiments ont été préalablement calcinés. Le chantier a été réalisé à l'aide d'une petite bétonnière de terrain.



Figure 53- Muret en béton à base de sédiments construit dans le cadre du projet SUIRCATES

L'expérimentation du muret en pierres sèches a démontré la faisabilité technique de ces deux matériaux, avec une substitution de 10 % du ciment par les sédiments, et une substitution de 30 % des sables dans le béton. 350kg de sédiments ont été utilisés pour un mur d'1m de hauteur et 2m de long environ. Pour un chantier à petite échelle, des outils classiques de chantier sont adaptés à l'utilisation de sédiments. Une attention particulière doit être portée à la quantité d'eau apportée au mélange : les sédiments fins ont tendance à absorber davantage d'eau qu'un sable classique. La quantité d'eau du mélange doit être adaptée en conséquence, ou bien la formulation peut être adaptée via l'ajout d'un additif. Pour

des chantiers à plus grande échelle, des camions malaxeurs proposés par certaines entreprises peuvent permettre de traiter des volumes plus importants de sédiments, tout en apportant l'outil de production sur place, ce qui évite le transport des sédiments. Pour une production de béton à partir de sédiments en centrale, des expériences passées ont souligné la nécessité d'adapter la consistance du béton à base de sédiments fins en sortie production en tenant compte du transport jusqu'au chantier afin de s'assurer de l'ouvrabilité du béton une fois sur place.

4.6.4.3. Expérimentation d'un béton de chaussée à base de sédiments marins de la Rance

Dans le cadre d'une étude de faisabilité d'utilisation de sédiments pour un aménagement cyclable (2022/2025), des tests en laboratoire pour un béton de chaussées à base de sédiments stockés sur le site de la Hisse ont été réalisés. Les essais ont porté sur une formulation incluant l'incorporation de 10% de sédiments fins en substitution du sable. Les tests géotechniques montrent que le béton de chaussée à base de sédiments présente de meilleures caractéristiques géotechniques que le béton témoin après 90 jours. La présence de particules fines et la salinité des sédiments contribuent à améliorer ces propriétés.

Les propriétés géotechniques obtenues grâce à la formulation testée permettraient d'obtenir un béton de classe BC4 (voirie légère) à BC5 (couches de roulement routières) (IXSANE, 2024).

4.6.4.4. Intérêt de la valorisation de sédiments dans le béton

La substitution de sédiments aux sables permet de réaliser des économies de matières premières dites nobles, vouées à se raréfier. La substitution de sédiments au ciment dans le mortier permet quant à elle de limiter les émissions de CO₂ liée à la production de ciment, très émettrice de dioxyde de carbone. La finesse des sédiments est particulièrement adaptée pour des applications telles que le mortier et le ciment, pour leurs propriétés liantes qui sont recherchées dans ce type de matériaux.

L'avantage majeur de l'incorporation de sédiments dans des matériaux béton réside dans le fait que le ciment piège un certain nombre de composants, et notamment les chlorures. Le béton est en effet un matériau inerte, sans risque de diffusion de chlorures dans l'environnement. Cela offre la possibilité d'utiliser les sédiments avec un taux de chlorures supérieur au seuil limite pour de la valorisation agricole, et donc de les valoriser potentiellement sans attendre 2 ans de ressuyage.

4.6.5. INCORPORATION DE SEDIMENTS DANS UN AMENAGEMENT CYCLABLE

Dans le cadre d'une étude de faisabilité d'utilisation de sédiments pour un aménagement cyclable co-portée par l'EPTB Rance Frémur et Dinan Agglomération (2022/2025), des tests en laboratoire ont été réalisés afin d'incorporer des sédiments fins dans la sous-couche d'un aménagement cyclable.

Deux formulations ont été testées avec la substitution de 20 % et 30 % du sable par des sédiments issus du site de la Hisse. Dans les deux cas de figure, les propriétés géotechniques obtenues sont largement supérieures à celles nécessaires pour une piste cyclable (passage de véhicule possible) (IXSANE, 2024).

Dans le cadre de cette étude de faisabilité, un pilote sera mis en place en 2024 en partenariat avec Dinan Agglomération.

4.6.6. INCORPORATION DE SEDIMENTS DANS LE CORPS D'UNE DIGUE OU D'UN MERLON VEGETALISE

4.6.6.1. Aspects techniques sur la valorisation des sédiments en digue de second rang ou merlon

Les digues et merlons/ paysagers représentent une filière souvent expérimentée dans des projets de valorisation des sédiments. C'est une filière moins sensible à l'hétérogénéité ou à la variabilité des sédiments : des sédiments vaseux et sableux peuvent être utilisés, ces derniers étant néanmoins plus adaptés car une proportion plus conséquente de sédiments peut être incorporée et cela sans traitement préalable. Les proportions de sédiments pouvant être utilisées varient entre 50 % (sédiments vaseux) à 100 % (sédiments sableux) (cf. figure 54).

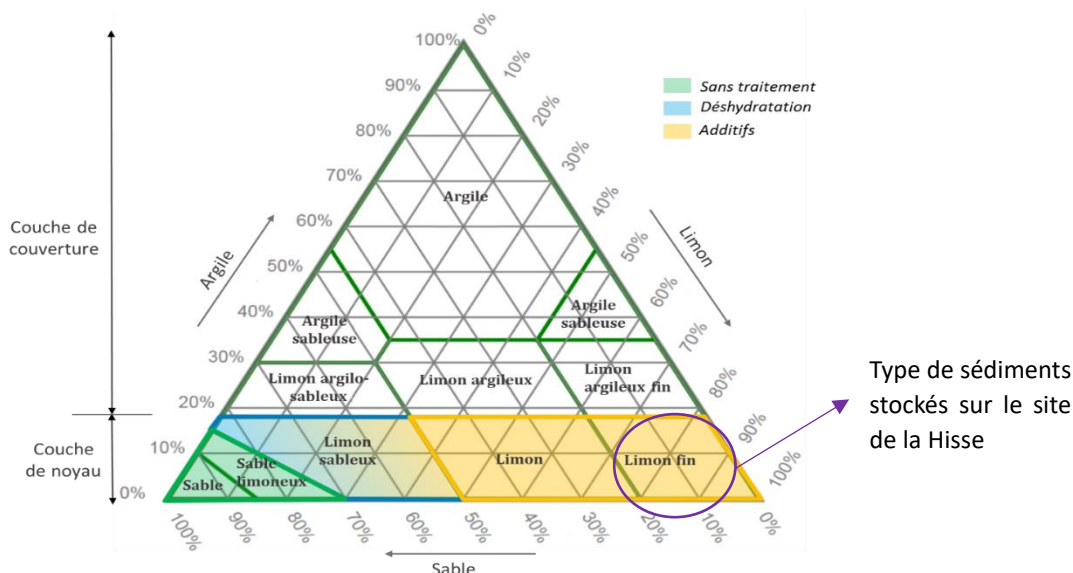


Figure 54 : Prétraitements des sédiments en vue d'une utilisation en digue ou merlons selon leur granulométrie (IMT Nord Europe, projet SURICATES)

Pour un merlon végétalisé, une couche de terre végétale de quelques dizaines de centimètres recouvre le noyau de digue. Les principaux points d'attention résident à la fois dans la nécessité de limiter la quantité d'argile dans le noyau de digue, car sensible à l'eau (gonflement/retrait) et dans la nécessité d'utiliser des sédiments suffisamment désalinisés comme pour la valorisation agricole.

4.6.6.2. Expérimentation d'une digue à base de sédiments marins de la Rance

Un test de digue avec des sédiments a été réalisé sur le site de transit de la Hisse (figure 55). Ce projet s'est appuyé sur la formulation de digue mise au point par l'IMT Nord Europe dans le cadre du projet européen SURICATES, qui répond aux exigences techniques pour une digue de second rang pour la protection contre les inondations (Maherzi, 2023b).

Les sédiments récupérés dans les lagunes ont été étalés en couches fines pendant quelques jours pour un séchage supplémentaire. Selon la formulation développée, les sédiments de l'estuaire de la Rance ont pu être incorporés à hauteur de 50% dans le cœur de la digue en raison de leur caractéristiques (forte proportion de sédiments fins), en mélange avec de la terre végétale, pour une digue correspondant aux critères des digues de second rang.



Figure 55- Construction d'une digue à base des sédiments de l'estuaire de la Rance dans le cadre du projet SURICATES

Le mélange a été opéré à l'aide d'engins de traitement de sols standard, qui ont également permis la fragmentation des blocs de sédiments (concassage sur site). Le mélange terre-sédiments a été traité à la chaux pour atteindre les critères géotechniques attendus, avant d'être façonné en digue. De la même manière que pour le béton, il est possible d'avoir recours à des solutions logistiques telles que des camion malaxeurs mobiles pour produire ce genre de matériaux à plus grande échelle et sur site.

4.6.6.3. Intérêt de la valorisation de sédiments dans les digues et merlons végétalisés

Les principaux points d'attention pour la réutilisation de sédiments en digues résident d'une part dans le taux de chlorures acceptable, similaire à celui de la valorisation agricole, et dans les aspects logistiques de

transport liées à cette réutilisation. Ces deux points nécessitent d'être approfondis, notamment pour avoir une meilleure idée des coûts et modalités de transport sur les sites de chantier ; les espèces compatibles avec la salinité restante des sédiments pouvant être plantées sur les merlons en vue de leur végétalisation, etc.

Néanmoins, la mise en place de digues ou merlons paysagers peut s'opérer aisément avec des engins de traitement de sol et de travaux publics classiques. L'utilisation de sédiments en digues permet l'économie de terre végétale, matériau potentiellement recherché notamment dans les agglomérations pour des projets d'aménagement ou de réaménagement. Le taux de réemploi des sédiments y est d'ailleurs important, ce qui en fait un moyen efficace pour en valoriser de larges volumes.

4.6.7. MATERIAUX EN TERRE CRUE

Un projet porté par l'entreprise Sédimentterre vise la fabrication de matériaux préfabriqués en terre crue à partir de sédiments de l'estuaire (projet 2022/2025). Les sédiments marins de dragage, et notamment les sédiments fins stockés sur le site de la Hisse, présentent une constitution granulométrique très similaire à celle de certaines terres utilisées dans la construction en terre crue traditionnelle. L'objectif est de vérifier la faisabilité de l'utilisation des sédiments de l'estuaire dans des matériaux préfabriqués, en substitution partielle ou totale de la terre argileuse. Il vise à tester et valider des formulations et des processus de fabrication adaptés, et à caractériser les performances des matériaux ainsi élaborés. Différents produits sont visés par cette étude : briques aux propriétés variables, panneaux isolants, etc. En parallèle de ce projet, la mise en place d'une unité de production mécanisée, voire industrielle à plus long-terme, est envisagée selon les résultats de la phase en laboratoire du projet.

Pour ce type d'usage, les sédiments fins sont adaptés. A l'inverse, une teneur trop importante en sable ou la présence de débris grossiers (végétaux, coquilles...) ne permet pas d'obtenir une cohésion suffisante. D'après les premiers essais, la salinité ne semble pas être une contrainte pour la plupart des formulations. Il est attendu un taux d'intégration minimal des sédiments de l'estuaire de la Rance de l'ordre de 80%. Il a été estimé un besoin de 10 m³ (matière sèche) de sédiments pour la construction d'une maison de type T4 de 120 m² en utilisant des sédiments dans la plupart des aménagements le permettant (murs, cloison ...).

Les principaux atouts des matériaux en terre crue sont la quasi absence d'émissions de carbone pour leur fabrication, leur réversibilité en raison de l'absence de cuisson, leurs performances en termes d'isolation phonique, thermique et de régulation de l'humidité.

Il existe néanmoins peu de normes cadrant la valorisation des sédiments en terre crue. La norme NF EN XP 13-901 cadre la caractérisation des briques de terre crue stabilisées ou non de masse volumique > 1400kg/m³. Des règles professionnelles encadrent la réalisation d'enduits en terre crue dans certaines configurations. Des règles de bonnes pratiques encadrent également la mise en œuvre de la terre crue au travers des techniques traditionnelles (non reconnues à ce jour comme techniques courantes). Cela n'empêche pas en tant que telle la mise en œuvre ou l'assurabilité des matériaux mais peut en freiner l'utilisation. Des démarches existent pour normaliser des matériaux innovants ou pour leur intégration dans des règles professionnelles.

4.6.8. BARRIERE D'ETANCHEITE

En raison de la présence d'argile et de limons en forte proportion dans certains sédiments de dragage, leur utilisation en couche d'étanchéité en fond de bassin ou en couverture d'installations de stockage de déchets non dangereux est possible. La perméabilité de la couche doit répondre aux critères définis dans les textes réglementaires relatifs à l'application visée (ex. étanchéité de lagune tampon associée à une station d'épuration, site de transit de sédiments comme la Hisse, couverture finale ou intermédiaire d'Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux, etc.).

Les sédiments de dragage de l'estuaire de la Rance ont été utilisés à plusieurs reprises pour étanchéifier les lagunes du site de la Hisse avant les remplissages suivants. Pour répondre aux critères de perméabilité relatifs à cette utilisation, une couche uniforme d'environ 40 cm de sédiments désalinisés, légèrement humides et

compactés sont déposés au fond de lagune. Au total, environ 15 000 m³ de sédiments sont nécessaires pour l'étanchéification des lagunes de la Hisse.

4.6.9. REMBLAIEMENT DE CARRIERE

Les entreprises exploitant des carrières ont l'obligation réglementaire de les remettre en état en vue de la restitution du site à la fin de son exploitation. Cette remise en état passe par un remblaiement des parties exploitées, avec différents matériaux granulaires, dont les sédiments peuvent faire partie.

L'utilisation de sédiments de dragage en remblaiement de carrière ne nécessite pas de logistique complexe, et la filière n'est pas sensible à l'hétérogénéité des sédiments : des sédiments de granulométrie différente (fins ou plus grossiers) peuvent être utilisés. Pour cela, les sédiments marins utilisés en remblaiement de carrière doivent malgré tout être mélangés avec d'autres matériaux. Le principal facteur limitant pour l'utilisation de sédiments en remblaiement est leur salinité, qui conditionne le volume de sédiments pouvant être utilisé à cette fin. L'adaptation des seuils réglementaires de chlorures pour des sédiments marins destinés à du remblaiement de carrière sera primordiale pour en valoriser des volumes significatifs. Outre la salinité, la teneur en nickel élevée des sédiments de l'estuaire de la Rance, en raison des particularités géologiques de la région, pourrait également être limitante. Ainsi, selon les caractéristiques chimiques des sédiments (teneur en sel, en ETM...), la proportion de sédiments pouvant être incorporée au mélange est plus ou moins importante (de quelques milliers de m³ à plusieurs dizaines de milliers de m³). Cette voie de valorisation peut permettre la reconstruction de sols fertiles en vue de la remise en état du site, dont l'usage suivant peut potentiellement être agricole.

4.6.10. AUTRES FILIERES POTENTIELLES NON TESTEES AVEC LES SEDIMENTS MARINS DE LA RANCE

Sur la base des caractéristiques des sédiments marins stockés sur le site de la Hisse (sans tests approfondis en laboratoire), l'IMT Nord Europe considère que ces sédiments peuvent également être employés dans la fabrication de :

- Un ciment bas carbone 42 5 utilisé dans le bâtiment / génie civil où 20% de la masse totale pourrait être substituée par des sédiments fins ;
- Un coulis autocompactant pour combler des tranchées où 50 % des matériaux pourraient être remplacés par des sédiments (cf. figure 56) ;
- Des granulats légers pour la dépollution des effluents ou des eaux usées des stations d'épuration où 40 % de sédiments fins pourraient être incorporés (cf. figure 56).



Figure 56 : Coulis autocompactant à gauche (projet SEDIMEL) et granulats légers développés par l'entreprise Alteo environnement Gardanne à droite

4.7. DEMARCHES POUR LA VALORISATION DES SEDIMENTS ET LE DEVELOPPEMENT DE FILIERES

4.7.1. RAPPEL DES QUANTITES DE SEDIMENTS A VALORISER

Au regard de la demande exprimée localement pour les sédiments et de la prévision des dragages avec gestion à terre pour la première brique du plan de gestion pérenne (2024-2028 – cf Tome 1), il est possible de planifier les phases de valorisation des sédiments selon leur degré de désalinisation. Les solutions de valorisation proposées seront effectives sous réserve de l'aboutissement des projets de valorisation en cours.

Selon les modalités de gestion actuelle, il faut attendre au minimum 1.5 ans pour que les sédiments soient suffisamment déshydratés et désalinisés pour être valorisés. Ainsi, une partie des sédiments dragués lors de l'opération Lyvet 4 entre fin 2024 et mars 2025 et stockés sur le site de la Hisse, pourront être valorisés à partir de septembre 2026. Les sédiments dragués à l'hiver 2025/2026 et stockés dans la lagune de Plouër-sur-Rance pourront être valorisés à l'automne 2027. En prenant en compte une réduction de 25% du volume des sédiments dans les lagunes au cours de la déshydratation par rapport au volume initial dragué (déshydratation et tassement), il est prévu un volume de sédiments à valoriser de 83 000 à 91 000 m³ au cours de la première brique du plan pérenne.

Le plan de gestion pérenne intègre également une augmentation de la capacité de stockage à terre et une optimisation de la gestion des sites existants afin d'accroître progressivement les possibilités d'extraction. Cela implique aussi la diversification des filières de valorisation, adaptées si possible à des sédiments partiellement salés.

La réglementation liée aux déchets à laquelle est soumise la valorisation des sédiments, impose que leur valorisation réponde à une demande sur un marché. L'identification des besoins et de la demande territoriale pour les sédiments de dragage de l'estuaire est donc nécessaire préalablement à la création de filières de réemploi. Le développement de filières de valorisation suppose également de suivre des étapes nécessaires à la validation technique et environnementale des matériaux produits à partir de sédiments de dragage.

4.7.2. BESOIN ET OPPORTUNITES POUR LA VALORISATION DES SEDIMENTS

4.7.2.1. Capacité du territoire concernant la valorisation agronomique

A l'heure actuelle, la demande exprimée du territoire en sédiments se concentre en majorité sur l'utilisation des sédiments en amendements pour les sols. Des agriculteurs locaux sont demandeurs de sédiments dans les conditions actuelles de fourniture des sédiments (prise en charge du transport jusqu'aux champs et étalage des sédiments par l'EPTB Rance Frémur).

Compte-tenu des divers critères pour la sélection des parcelles (cf. partie 4.6.3.1.) et des quantités maximales épandus soit 500 m³/hectare tous les 10 ans, une estimation de la capacité du territoire pour la valorisation agricole des sédiments a été réalisée par l'Université de Lille dans le cadre du projet européen SURICATES.

Cette analyse a mis en évidence une disponibilité de parcelles éligibles très conséquentes dans un périmètre de 8 km autour du site de la Hisse (Cf. carte ci-contre). En considérant un apport de sédiments de 500 m³/ha, 2 776 395 m³ de sédiments pourraient être épandus tous les dix ans, soit environ 280 000 m³ chaque année. Cette estimation suppose que tous les agriculteurs concernés acceptent d'accueillir des sédiments et que les parcelles restent éligibles sur une période de 10 ans (Masson et al., 2023).

La disponibilité de parcelles éligibles ne constitue donc pas un frein pour une gestion pérenne des sédiments marins de la Rance.

4.7.2.2. Besoins concernant les autres filières de valorisation

D'après les premiers résultats du projet FIM de l'entreprise Sédimentterre visant le réemploi de sédiments pour la fabrication de matériaux de construction préfabriqués en terre crue, il est projeté un besoin annuel de quelques milliers de m³. Compte-tenu des volumes visés, la mise en place d'une unité mobile de production de ces matériaux de construction sur site faciliterait le développement de la filière. L'entreprise projette en parallèle des essais en laboratoire, le développement de cette unité de production pour pouvoir faire des chantiers de démonstration à compter de 2026/2027.

Au cours du plan expérimental, d'autres demandes de sédiments ont été faites de manière ponctuelle pour tester les possibilités de réemploi dans divers usages (béton, digue, verre, céramique...).

A court terme, toutes ces filières ne permettent pas de valoriser d'importants volumes (de l'ordre de quelques milliers de m³ seulement). Bien qu'il n'y ait pas de besoin précis pour l'ensemble de ces filières à court terme, toute demande ponctuelle de sédiments de ce type sera satisfaite si elle est compatible avec les propriétés des sédiments et leur disponibilité.

Il existe également un besoin potentiel pour l'utilisation de sédiments pour remblayer des carrières en fin d'exploitation (qui est une obligation réglementaire des exploitants). Il existe localement plusieurs carrières dans lesquels les sédiments pourraient être valorisés en matériaux de remblai en vue de la remise en état du site. L'apport de sédiments dans les premiers mètres permettrait également de reconstituer un sol fertile pour un usage agricole par exemple. Cette filière pourrait représenter une vision durable, avec un volume annuel valorisé de plusieurs dizaines de milliers de m³ de sédiments désalinisés. Ce volume peut varier selon la taille de la carrière à combler, le volume nécessaire de matériaux additionnels en mélange avec les sédiments (lui-même dépendant de la teneur en chlorure), et sous réserve d'un ajustement réglementaire pour adapter le seuil de chlorure acceptable en remblaiement de carrière (cf. réglementation sur les Installations de Stockage de Déchet définitif). Deux entreprises en particulier, la Société des Carrières de Brandefert (SCB) et la Société EVEN pour les travaux, qui font partie du groupe MARC, ont exprimé un intérêt pour les sédiments à cette fin. Outre les aspects réglementaires, les modalités de mise en œuvre et les coûts afférents sont à préciser.

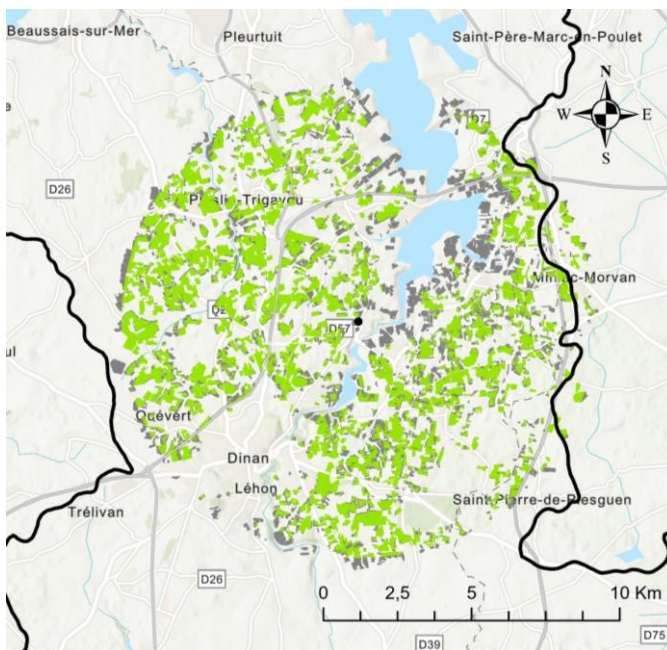


Figure 57 : Localisation des parcelles éligibles à un épandage de sédiments de l'estuaire de la Rance (Masson et al., 2023)

4.7.2.3. Opportunités de développer des partenariats pour les filières du bâtiment

De manière générale, la raréfaction des granulats et des sables dans certaines régions françaises (à ce jour, moins importante en Bretagne qu'ailleurs) et l'évolution de la réglementation environnementale dans le secteur du bâtiment constituent des opportunités pour le développement de l'usage des sédiments fins de dragage. Pour faire face à la raréfaction de granulats, les secteurs du bâtiment et des travaux publics ont développé au cours des dernières années le remploi de gravats de chantiers pour une utilisation dans divers usages, par exemple en remblai routier. Il y a donc déjà une démarche de réemploi de matériaux considérés comme des déchets, enclenchée et en développement, dans laquelle les sédiments de dragage pourraient trouver leur place à court ou moyen terme. L'évolution du contexte réglementaire dans le domaine du bâtiment crée aussi un besoin de matières premières alternatives pour la production de matériaux moins émetteurs de CO₂. La réglementation environnementale de 2020 (RE 2020), en vigueur depuis 2022, définit en effet des seuils d'émissions limites de CO₂ pour les matériaux utilisés dans le bâtiment, au-delà desquels ils ne pourront plus être mis en œuvre.

Ainsi, les sédiments de l'estuaire de la Rance représentent une perspective intéressante pour des matériaux «bas-carbone ». Dans ce contexte, l'intérêt des industriels vis à vis de l'emploi de matériaux alternatifs tels que les sédiments, s'accroît. La forte mobilisation des entreprises locales et régionales lors des appels d'offre pour les expérimentations béton et digue réalisées sur le site de la Hisse avec les sédiments de l'estuaire par l'EPTB témoignent d'un intérêt grandissant des entreprises pour l'usage de matériaux alternatifs. L'entreprise Construction Côte d'Emeraude s'est en particulier montrée très intéressée par ce matériau et ses potentiels usages futurs dans des matériaux béton (ciment/béton). Les matériaux en terre crue, peu émetteurs de CO₂ et avec des qualités isolantes et thermorégulatrices, pourraient également faire l'objet d'un intérêt accru dans les années à venir dans la lignée de la tendance actuelle.

L'exemple du développement de filières de valorisation des sédiments dans la région Hauts-de-France a mis en évidence l'importance de multiplier les projets pilotes avec des démonstrateurs pour la création d'une « culture » du réemploi des sédiments (VNF, comm. pers.). Après de premières expérimentations dans les années 2000 et la formalisation en 2010 de la démarche Sédimatériaux pour développer le réemploi des sédiments au travers de projets pilotes, des premières filières de production d'asphalte et de ciment avec des sédiments fluviaux sont en cours d'industrialisation, 20 ans après les premières expérimentations (cf. Annexe 6a et 6b - fiches synthétiques sur les filières de valorisation des sédiments).

Ce retour d'expérience peut inspirer les actions menées sur le territoire pour le développement de filières de valorisation. Il montre notamment que pour avoir à terme du recul sur les performances techniques et la durabilité des matériaux à base de sédiments, et pour inciter à leur réemploi, il est important de multiplier dès maintenant des projets pilotes ambitieux sur le territoire de la Rance et au-delà. Dans le domaine du bâtiment, des dispositifs tels que les appréciations techniques d'expérimentation (ATEX) peuvent être un outil pour rendre possible l'assurabilité de matériaux innovants, tels que les matériaux fabriqués avec des sédiments de dragage.

Dans cette optique, le projet de développement d'un écoquartier sur la commune de Plouër-sur-Rance constitue une opportunité à court terme, de projet de valorisation des sédiments dans plusieurs filières différentes, testées et éprouvées au cours du plan de gestion expérimental des sédiments de la Rance et dans divers projets à l'échelle nationale et européenne. La volonté affichée par la municipalité est de valoriser des sédiments dans des matériaux divers, par exemple pour la construction de murets ou mobilier urbain en béton, de talus végétalisés, de chaussées pour trafic cyclable et piéton, de sols fertiles pour potagers, etc. Cet écoquartier pourrait constituer un des projets de réemploi de sédiments de l'estuaire dans les années à venir qui permettrait de développer de nombreuses filières de valorisation expérimentées jusqu'ici, et inciter à un réemploi plus large des sédiments par la suite sur le territoire.

Le retour d'expérience de la Région Hauts-de-France a également permis de mettre en évidence la nécessité de mobiliser l'ensemble des parties prenantes des filières pour leur développement : structures de recherche,

gestionnaires de sédiments, producteurs, maîtres d'ouvrages, législateur et rédacteurs de référentiels/guides, financeurs, usagers finaux, structures de mises en réseaux d'acteurs... Un Engagement pour la Croissance Verte (ECV) signé en 2023 a permis à ce titre de regrouper un grand nombre d'acteurs de la valorisation des sédiments en Hauts-de-France, en vue de bâtir une filière industrielle autour de la valorisation de ces sédiments dans les années à venir. L'enjeu est donc d'identifier les partenaires potentiels pour chaque filière dans le but de créer des partenariats en vue de la création de projets de valorisation et de la structuration de filières.

4.7.3. LA DEMARCHE SEDIMATERIAUX POUR LE DEVELOPPEMENT DE FILIERES DE VALORISATION DES SEDIMENTS

En 2009, la démarche Sédimatériaux a été créée en région Hauts-de-France, territoire pilote pour la valorisation des sédiments de dragage depuis les années 2000. Elle a été développée pour accompagner les acteurs dans les tests de filières de valorisation des sédiments de dragage. Elle constitue une base intéressante pour le développement de pilotes expérimentaux car elle s'appuie dans la mesure du possible sur la réglementation en vigueur. C'est également une référence dans le développement de plusieurs projets de valorisation portés par différents maîtres d'ouvrage dans la région Hauts de France (Grand Port Maritime de Dunkerque, Voies Navigables de France, Métropole Européenne de Lille, etc.) Cette démarche regroupe des acteurs institutionnels et du monde de la recherche. Les partenaires de la démarche la présentent ainsi : « Sédimatériaux se veut une démarche collective à l'échelle nationale, qui fédère les volontés locales dans la recherche de solutions opérationnelles et innovantes. Dans son contenu Sédimatériaux comprend la réalisation, dans un cadre environnemental maîtrisé, de plusieurs ouvrages opérationnels à une échelle limitée mais significative, intégrant des sédiments de dragage portuaires et fluviaux : remblais techniques, routes, éléments de protection contre l'érosion côtière, bétons... Ces ouvrages démontreront la faisabilité technique, environnementale, économique et sociétale d'une ou plusieurs filières de valorisation des sédiments et fourniront les données essentielles à l'évolution réglementaire de la gestion terrestre des sédiments » (DREAL Hauts-de-France).

Dans ce but d'accompagnement, une méthode Sédimatériaux a été développée pour la réalisation d'ouvrages expérimentaux, première étape de la diffusion de connaissances liées à la valorisation des sédiments sur un territoire en vue de la création de filières pérennes de réemploi.

Trois grandes phases doivent se succéder :

- La caractérisation initiale systématique du gisement de sédiments permettant de sélectionner les filières de valorisation les plus adaptées ;
- Une phase en laboratoire pour déterminer ou valider des formulations éprouvées avec le gisement concerné ;
- Une phase de terrain avec la mise en place d'ouvrages pilotes avec suivi environnemental. Cette méthode permet de valider la faisabilité technique, mécanique et environnementale de l'usage visé.

La figure 58 ci-après détaille les différentes étapes de la démarche Sédimatériaux.

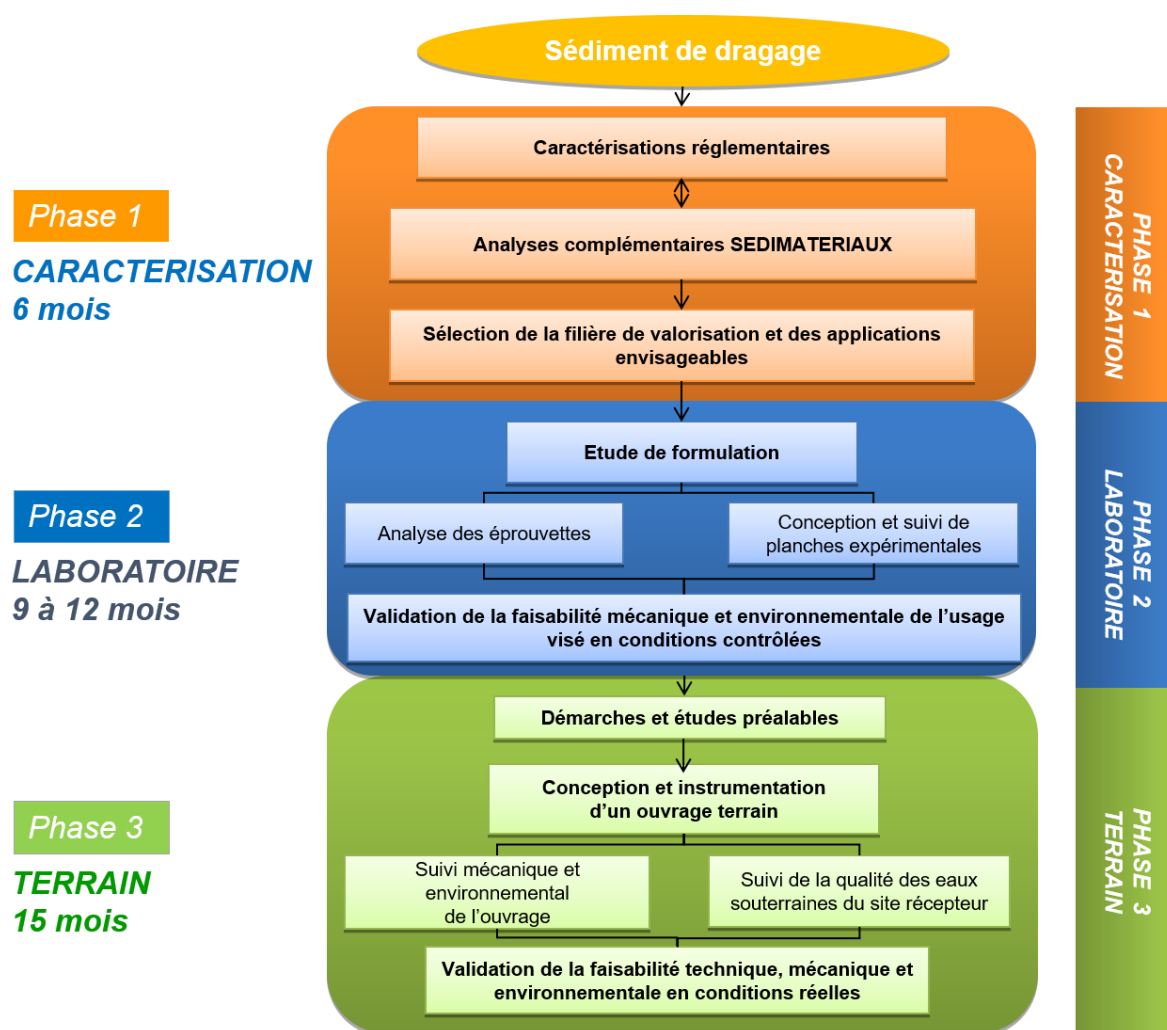


Figure 58 : Schéma synthétique des étapes de la démarche Sédimentaires (Sédilab)

Suivre cette démarche permet en outre de regrouper divers acteurs autour de la question du réemploi. Suite à cette première étape pour mobiliser ces acteurs et diffuser des connaissances liées à la valorisation des sédiments, l'enjeu par la suite est de parvenir à changer d'échelle, et à se diriger vers l'industrialisation de la filière, afin qu'elle devienne économiquement viable et pérenne. L'industrialisation d'une filière de réemploi demande de réunir l'ensemble de ses maillons pour travailler de concert à la structuration de la filière et répondre aux principales problématiques rencontrées (hétérogénéité des sédiments, pré-traitements, transport, coût et répartition des coûts...), condition nécessaire pour une intégration au marché.

4.7.4. MISE EN ŒUVRE D'UN PROJET DE VALORISATION AVEC LES SEDIMENTS

La poursuite de la démarche Sédimentaires ou de démarches similaires permet de fournir et/ou valider des formulations types de matériaux concordant avec les caractéristiques physiques et chimiques de sédiments. La disponibilité de ces formulations permettra à tout maître d'ouvrage le souhaitant de mettre en œuvre ces matériaux dans un projet d'aménagement. Dans le cadre des expérimentations menées au cours du plan de gestion expérimental des sédiments de l'estuaire de la Rance, les formulations développées seront mises à disposition et diffusées par l'EPTB (béton, mortier, digues, sous-couche routière, bande de roulement en béton).

Certaines étapes sont nécessaires pour l'intégration des sédiments dans un projet d'aménagement. Ainsi, en prenant l'exemple d'un marché public ou privé pour la réalisation d'un projet de valorisation de sédiments, celui-ci devra prendre en compte certains points précisés ci-dessous :

- Une caractérisation initiale des sédiments est requise avant tout projet de valorisation : les gisements étant hétérogènes y compris au cours d'une même opération d'extraction (hétérogénéité spatiale), les caractéristiques physiques et chimiques des sédiments conditionnent en effet les possibilités de valorisation.
- Le cahier des charges du marché doit détailler les prérequis techniques pour l'incorporation de sédiments dans les matériaux du chantier, et le taux minimal d'incorporation des sédiments, en se basant sur les retours d'expérience passés et sur la caractérisation initiale des sédiments qui seront valorisés. A cet égard, le site internet La Clause Verte de CD2E recense deux exemples de clauses inscrites dans des CCTP de marchés publics pour deux projets de valorisation des sédiments en région Hauts de France (<https://laclauseverte.fr/>).
- Le maître d'œuvre sélectionné pour la réalisation du projet de valorisation des sédiments devra ou pourra, en fonction du type de réemploi visé et des caractéristiques des sédiments, prévoir une étude permettant de vérifier le taux de sédiments minimal inclus dans les formulations, préalablement à la réalisation du chantier.
- L'étude devra également permettre de valider l'innocuité environnementale du matériau à base de sédiments, avant sa mise en œuvre sur le chantier, en réalisant des essais de lixiviation. Ces essais permettent d'assurer l'absence de diffusion d'éléments chimiques dans le milieu (par exemple les chlorures). Les résultats de ces essais doivent être conformes aux seuils prévus dans les différents guides encadrant la valorisation des terres excavées et sédiments.
Une alternative à la réalisation de ces essais de conformité peut consister en la normalisation du matériau produit à base de sédiments, par le biais d'une ATEX. Le cas échéant, les sédiments pourront être réutilisés sans avoir besoin de réaliser à nouveau ces analyses.
Sous réserve de la conformité environnementale des matériaux formulés avec des sédiments, la mise en œuvre des matériaux sur le chantier est possible.
- Dans le processus de mise en œuvre, il est également important de considérer les bénéfices économiques indirects et induits de tels projets de valorisation. Le travail mené à ce sujet par la Munster Technological University (Irlande) a montré que des projets de valorisation tels que l'épandage agricole ou la fabrication de béton ou de digues à base de sédiments apportait de manière indirecte ou induite au territoire des bénéfices significatifs, du même ordre de grandeur que le coût direct de mise en œuvre d'un projet soit, pour un euro investi dans ces filières de valorisation, environ un euro est par ailleurs réinjecté dans l'économie locale (Harrington et Batel, 2023).

4.7.5. PRINCIPAUX LEVIERS POUR L'INDUSTRIALISATION DE FILIERES DE VALORISATION

Le retour d'expérience de territoires plus avancés sur la valorisation des sédiments de dragage, à l'image de la Région Hauts-de-France, a permis d'identifier les principaux leviers pour la création et l'industrialisation de filières pérennes de valorisation, en lien avec les aspects techniques, financiers, normatifs ou relatifs à l'acceptabilité sociale.

4.7.5.1. Multiplier des projets pilotes de valorisation des sédiments

L'exemple du développement de filières de valorisation des sédiments dans la région Hauts-de-France a mis en évidence l'importance de multiplier les projets pilotes avec des démonstrateurs pour la création d'une « culture » du réemploi des sédiments. Leur expérience montre que cela est primordial pour favoriser l'acceptabilité sociale pour la valorisation des sédiments.

L'acceptabilité de l'usage des sédiments est un facteur clé pour la création de filières de réemploi. Les sédiments fins peuvent avoir une image négative auprès de la population, en raison par exemple de leur teinte noire après extraction ou d'éventuelles odeurs liées à la décomposition de matières organiques. Le statut de déchet qui leur est donné par la réglementation une fois gérés à terre contribue également à cette image dévalorisante. En raison d'un manque de recul à l'heure actuelle sur l'emploi des sédiments, hormis pour un épandage sur les terres agricoles, des craintes peuvent subsister en lien avec la durabilité, les impacts

environnementaux, les coûts, etc. Dans ce cas de figure, il est nécessaire de communiquer largement sur la qualité des sédiments marins de la Rance, l'intérêt de les réutiliser dans les matériaux et les bénéfices apportés pour chaque filière.

En région Hauts-de-France, après de premières expérimentations dans les années 2000 et la formalisation en 2010 de la démarche Sédimatériaux pour développer le réemploi des sédiments au travers de projets pilotes, des premières filières de production d'asphalte et de ciment avec des sédiments fluviaux sont en cours d'industrialisation, 20 ans après les premières expérimentations (cf. Annexe 6a et 6b - fiches synthétiques sur les filières de valorisation des sédiments). Ce retour d'expérience peut inspirer les actions menées sur le territoire pour le développement de filières de valorisation. Il montre notamment que pour avoir à terme du recul sur les performances techniques et la durabilité des matériaux à base de sédiments, et pour inciter à leur réemploi, il est important de multiplier dès maintenant des projets pilotes ambitieux sur le territoire de l'estuaire de la Rance et au-delà. Cela peut contribuer à lever les réticences et favoriser l'acceptabilité sociale du réemploi des sédiments. Il est important dans ce cadre de sensibiliser les maîtres d'ouvrage sur la valorisation des sédiments et ses intérêts en termes d'économie circulaire et de préservation des ressources.

4.7.5.2. Intégrer une démarche de normalisation des matériaux valorisant les sédiments

Dans une optique de normalisation des processus de valorisation, des dispositifs tels que les Appréciations Techniques d'Expérimentation (ATEx) sont également intéressantes pour obtenir une évaluation technique d'un produit innovant, tel qu'un matériau intégrant un des sédiments de dragage. L'ATEx est un moyen de promouvoir des produits ou procédés nouveaux en donnant un avis technique sur la faisabilité du projet et ses choix techniques, notamment, ce qui facilite la mise en œuvre en sécurité d'un produit ou procédé innovant. L'ATEx peut à ce titre permettre d'inciter à l'utilisation de matériaux valorisant des sédiments en levant d'éventuelles réticences.

4.7.5.3. Limiter ou optimiser le transport des sédiments

Parmi les points importants pour la structuration d'une filière de valorisation des sédiments, le transport des matériaux n'est pas à négliger, car il représente un coût non négligeable dans le processus. Il est donc nécessaire, dans la mesure du possible, de valoriser les sédiments dans un périmètre limité en prenant en compte le coût du transport et les pollutions associées (rayon de 8km autour du site de transit de la Hisse pour la valorisation agricole ; à définir pour les autres filières).

Par ailleurs, des solutions logistiques telles que des unités de production mobiles peuvent représenter à ce titre des solutions intéressantes pour limiter le déplacement des matériaux selon la localisation du chantier par rapport au gisement de sédiments et les centrales de production de béton, ciment...

Le transport des sédiments par train pourrait également représenter une solution intéressante, sous certaines conditions, pour limiter le nombre de véhicules sur les routes. Pour cela, il est nécessaire d'être proche d'une plateforme de transbordement pour charger les wagons. En l'état actuelle des choses, la plateforme la plus proche se trouve à Dinan sous réserve que son utilisation soit possible à cet effet, voire à plusieurs dizaines de kilomètres au sud de Dinan, ce qui suppose un transport en camion préalable au transport en train. Pour que cette solution soit économiquement viable et intéressante par rapport à un transport en camion, il est nécessaire de transporter des sédiments sur une longue distance, par exemple dans le cas d'un transport de sédiments vers une centrale de production à une distance de l'ordre de plusieurs centaines de kilomètres (SNCF réseau, comm. pers.).

4.7.5.4. Assurer une disponibilité en sédiments prêts à être valorisés

La question de la disponibilité des sédiments, tributaires des opérations de dragage planifiées et des conditions de stockage à terre lorsque les sédiments doivent être dessalés ou déshydratés, peut rendre difficile la réponse à une demande continue et régulière en sédiments pour fournir une filière industrielle. Les outils ou infrastructures de préparation des sédiments en vue de leur valorisation sont une condition sine

qua non pour l'industrialisation de filières. Il est en effet primordial de pouvoir assurer, via un développement d'infrastructure et/ou de méthodes de pré-traitement des sédiments, une fourniture continue de sédiments pour les producteurs. Pour limiter les risques de rupture d'approvisionnement, plusieurs solutions subsistent : une planification sur long terme de la gestion sédimentaire (extraction et gestion à terre) compatible avec le besoin et/ou une coordination des opérations menées par divers maîtres d'ouvrage à proximité afin de garantir un volume minimal annuel de sédiments valorisables, et/ou une mutualisation des plateformes de traitement des sédiments avec d'autres gestionnaires de sédiments.

4.7.5.5. Accompagner et sensibiliser les maîtres d'ouvrages et les collectivités

La commande publique est considérée comme un levier primordial pour impulser une dynamique de réemploi des sédiments sur un territoire. La réalisation d'un projet de valorisation des sédiments demande une expertise et des étapes spécifiques, et l'accompagnement des collectivités ou des maîtres d'ouvrage pour la réalisation de ce type de projets est donc primordiale pour faciliter le réemploi des sédiments et générer une demande de produits à base de sédiment. A titre d'exemple, des clauses environnementales peuvent être incluses pour inciter l'utilisation de sédiments dans certains chantiers et ainsi créer progressivement un besoin, à l'image des démarches faites par la Métropole de Lille dans ce sens. Un accompagnement par des experts en la matière ou un partage de retours d'expérience acquis par ailleurs peuvent s'avérer nécessaire à court terme pour lancer des projets de valorisation de sédiments.

En outre, il est important de communiquer sur les bénéfices liés à la valorisation des sédiments. Outre l'économie de ressources, les filières de valorisation des sédiments peuvent avoir des retombées économiques non négligeables sur un territoire et contribuer à la création d'emplois, dans le cadre du développement d'une économie locale et circulaire. L'utilisation de sédiments dans certains matériaux peut également contribuer à diminuer les émissions de CO2 liées à leur fabrication.

4.7.5.6. Mobiliser l'ensemble des acteurs d'une filière

Le retour d'expérience de la Région Hauts-de-France a mis en évidence la nécessité de mobiliser l'ensemble des parties prenantes des filières pour leur développement : structures de recherche, gestionnaires de sédiments, producteurs, maîtres d'ouvrages, législateur et rédacteurs de référentiels/guides, financeurs, usagers finaux, structures de mises en réseaux d'acteurs... Le schéma ci-dessus synthétise le rôle des acteurs impliqués dans des projets de valorisation des sédiments, appliqué à la filière du béton et ciment.

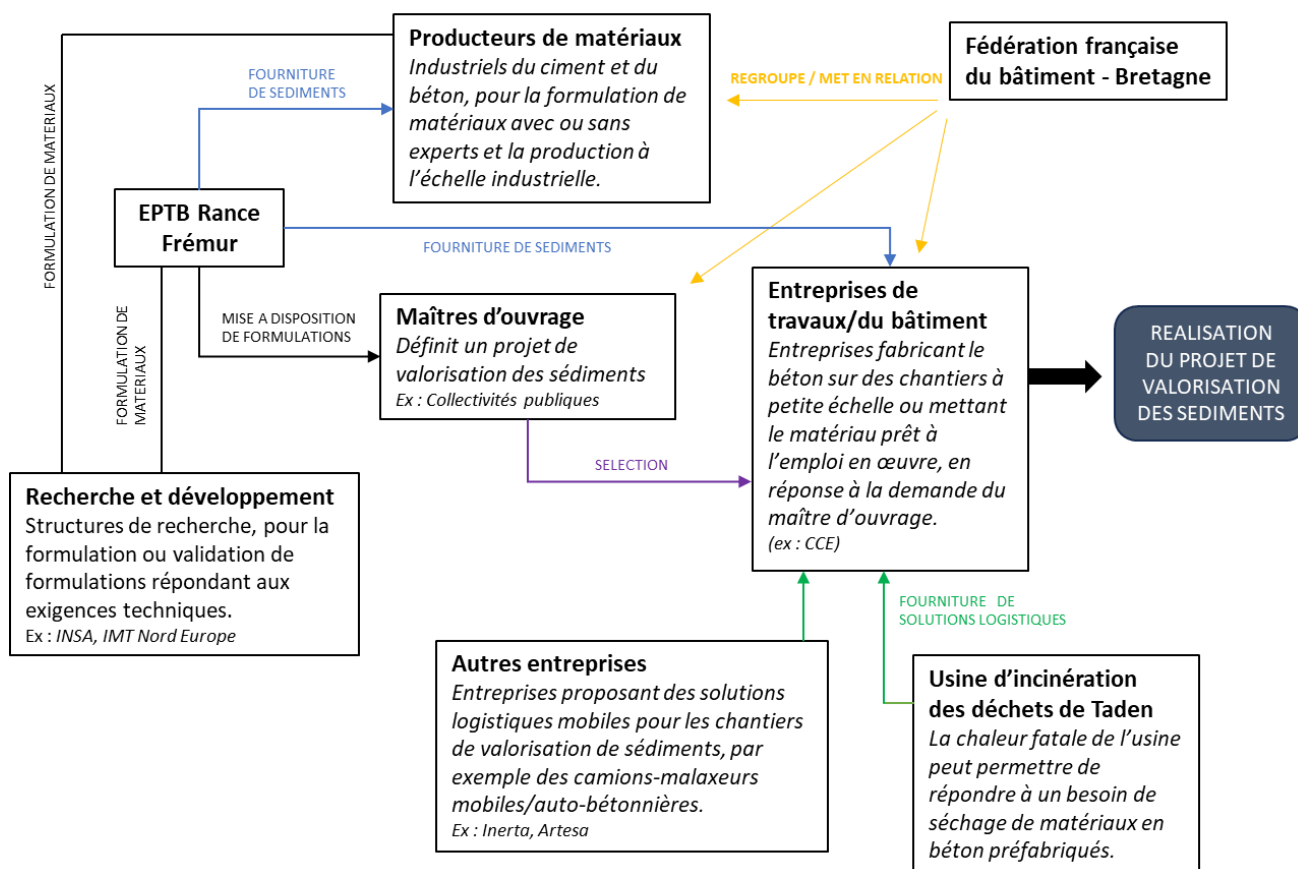


Figure 59 : Réseau d'acteurs impliqués dans la filière de valorisation béton/ciment

Le développement de partenariats multi acteurs est nécessaire pour mettre en place progressivement de nouvelles filières et revêt plusieurs intérêts.

L'implication de l'Etat et de ses services ainsi que des experts permet à terme de faire évoluer la réglementation sur la valorisation des sédiments, au regard des résultats des expérimentations passées. L'utilisation de sédiments dans des matériaux représente une pratique relativement nouvelle et innovante. A ce titre, si certaines utilisations font l'objet de guides spécifiques encadrant les modalités de valorisation des sédiments, une partie des filières de valorisation ne disposent pas de cadre normatif ou réglementaire adapté ou généralisé, ne prenant pas systématiquement en compte les spécificités des gisements tels que les sédiments marins. Or la présence d'un cadre réglementaire adapté à la valorisation de sédiments est nécessaire pour la mise en œuvre de ces matériaux innovants, afin d'assurer l'innocuité environnementale et la qualité technique des matériaux, et fournir un cadre rassurant pour faciliter et inciter à leur utilisation. Conjointement avec les dispositifs d'ATEX, la mobilisation de l'Etat et des experts peut donner lieu à la publication de guides de sortie de statut de déchet reconnus et adapté aux spécificités des territoires, ou encore à l'évolution de la réglementation pour qu'elle favorise au mieux ces pratiques innovantes dans une optique de transition écologique.

D'autre part, la structuration de filières pérennes nécessite un engagement de tous les acteurs de la chaîne de production, pour s'accorder sur l'organisation de la filière, les formes de partenariat, etc. Cela représente un point clé pour limiter le surcoût associé à la valorisation des sédiments.

Enfin, la mutualisation d'outils et d'infrastructures entre plusieurs gestionnaires de sédiments peut à la fois permettre la réalisation d'économies d'échelles dans le processus de valorisation, et assurer une disponibilité continue en sédiments pour les filières demandant des quantités de l'ordre de plusieurs dizaines de milliers de m³ par an.

Des dispositifs tels que les Engagements pour la Croissance Verte (ECV) peuvent faciliter ce regroupement d'acteurs en vue de structurer des partenariats impliquant divers types d'acteurs pour une durée de trois ans, afin d'initier ou de concrétiser une nouvelle filière. Ils visent en effet à renforcer le partenariat entre l'Etat et les porteurs de projets et à créer du lien entre acteurs publics et privés, avec pour objectif de lever les freins identifiés pour la réalisation de projets liés à la transition écologique. La vocation des ECV est entre autres de « clarifier l'interprétation des textes réglementaires ou d'en faciliter l'application » (Ministères Écologie Énergie Territoires, 2023). Plusieurs ECV pour la valorisation de sédiments de dragage ont été signés au cours de ces dernières années :

- 2020 : lancement de l'ECV relatif au potentiel d'utilisation de sédiments argileux pour la fabrication de produits de construction en terre cuite (ex. brique et tuiles). Cet ECV implique 2 signataires privés et une adhésion d'EDF à la démarche ;
- 2023 : lancement de l'ECV relatif à la valorisation à terre des sédiments de dragage/curage dans des applications asphalte/béton/ciment/matrices composites en région Hauts de France. Ces engagements sont basés sur les travaux menés dans la démarche Sédimatériaux depuis 2009. Il implique 16 signataires publics et privés ayant chacun un rôle et des engagements spécifiques : un coordinateur (CD2E), 4 acteurs scientifiques (IMT, CEREMA, BRGM, CERIB), 3 gestionnaires de cours d'eau et ports (Région Hauts de France, VNF, port de Dunkerque), 3 industriels (Nord Asphalte, Eqiom, Néo Eco), une collectivité locale (Métropole de Lille) et 4 Fédérations du BTP (dont CCI des Hauts de France).

Cet ECV a pour but de « contribuer à l'émergence rapide d'une filière industrielle en France avec un fort potentiel international, en utilisant les Hauts-de-France, comme laboratoire ». Les signataires ont ainsi pris différents engagements selon leur rôle : simplification du cadre réglementaire et scientifique (Etat), développement d'outils d'aide à la décision et de guides méthodologiques (scientifiques), mutualisation des moyens pour le prétraitement des sédiments (gestionnaires de cours d'eau et port), création de nouvelles lignes de production (acteurs économiques intervenant dans la mise sur le marché de nouveaux produits), intégration de clauses environnementales dans les marchés de travaux pour générer une demande (collectivités territoriales), etc.

La figure ci-dessous synthétise des leviers d'actions disponibles pour lever les freins identifiés pour le développement de certaines filières de valorisation de sédiments pouvant être industrialisées.

	Leviers	Actions	Acteurs
Acceptabilité sociale	Développer une « culture » du réemploi du sédiment	Multiplication des expérimentations	Maîtres d'ouvrage/Usagers Experts Structures relais Gestionnaires de sédiments
	Améliorer l'image du sédiment	Communication, sensibilisation des usagers	
	Diffuser les connaissances sur les matériaux à base de sédiments, leur intérêt, leur durabilité, etc.	Démarches de normalisation des matériaux (ATEX, etc.)	
Financiers	Limites les surcoûts liés au réemploi de sédiments dans un projet, par rapport à des matériaux classiques	Mutualisation des outils et des infrastructures	Ensemble de la filière
		Nouvelles formes de partenariats (partenariat public-privé, ...)	
Techniques		Limitation du transport : unités de production mobiles, valorisation locale	Maîtres d'ouvrage/usagers Structures relais Structures d'appui Gestionnaires de sédiments Producteurs/Transformateurs
	Avoir à disposition une expertise spécifique pour la mise en œuvre de projets de valorisation des sédiments	Accompagnement des collectivités et maîtres d'ouvrage	
	Assurer la régularité de la fourniture de sédiments	Définition et utilisation de clauses particulières pour le réemploi de sédiments dans les marchés publics	
		Mutualisation des plateformes de prétraitement des sédiments entre plusieurs gestionnaires de ports et voies d'eau	
Normatifs		Adaptation des chaînes de production	Etat Experts
	Adapter ou faciliter le cadre réglementaire ou normatif pour la valorisation des sédiments dans certaines filières	Démarches de normalisation des matériaux (ATEX, etc.)	
		Rédaction de guides méthodologiques pour la valorisation des sédiments et sortie du statut de déchet	
		Implication de l'Etat pour la simplification du cadre réglementaire et scientifique	

Figure 60 : Synthèse des freins et leviers d'action pour l'industrialisation de filières de valorisation des sédiments

4.8. ESTIMATIONS DES COUTS DES OPERATIONS

4.8.1. ESTIMATION DES COUTS D'EXTRACTION ET DE GESTION A TERRE DES SEDIMENTS

Les coûts de mise en œuvre d'une opération sont dépendants des techniques de dragage utilisées, des modes de gestion choisis (stockage à terre avec valorisation ou redistribution vers mer) et de la nécessité ou non d'un transport maritime ou terrestre.

Le dragage hydraulique avec gestion à terre reste la solution la plus économique du fait d'un transport des sédiments limité à un refoulement par la canalisation. En incluant l'extraction de 80 000 m³ au piège du Lyvet, la gestion du site de transit durant le stockage (3 ans), le coût au m³ de l'opération dans sa globalité s'élève à 15 €/m³.

Sur la base des retours d'expérience en dehors de l'estuaire de la Rance, le coût moyen d'un dragage mécanique est estimé à 15 €/m³ (EGIS et IDRA, 2019) soit un coût proche d'un dragage hydraulique. A ces coûts de dragage s'ajoutent les frais liés au transport maritime (barge) et/ou terrestre (camion étanche) nécessaires pour acheminer les sédiments jusqu'à leur destination. Selon le devenir des sédiments, un poste de reprise des sédiments avec une pelle sur cale peut être nécessaire pour les transborder dans les camions étanches ou un poste de redilution des sédiments devant le barrage en cas de redistribution dans les courants de jusant. Selon les distances à parcourir et le volume géré, le coût global de l'opération peut atteindre 40 à 65 €/m³ (hors valorisation lors d'une gestion à terre).

Pour la création d'un site de transit, les coûts de mise en œuvre sont variables selon les besoins d'aménagement du site initial et les éventuelles mesures compensatoires ainsi que la capacité de stockage. Les travaux pour la création du site de la Hisse s'étendant sur 8ha s'élèvent à 760 000 € (hors achat du foncier).

Pour l'aménagement des anciennes lagunes de station d'épuration en site de transit à St-Jouan-des-Guérets, le coût des travaux d'aménagement était de 99 000 €.

Lors de la phase 2024/2028 du plan de gestion pérenne, les possibilités d'optimiser ces coûts seront approfondies. Plusieurs options sont envisageables telles que l'acquisition de matériels pour une gestion en régie, la passation de marché de travaux pluriannuel, la mutualisation d'opérations avec d'autres maitres d'ouvrage, etc.

4.8.2. ESTIMATION DES COUTS DE VALORISATION DES SEDIMENTS DE DRAGAGE

Sur la base de divers retours d'expérience à l'échelle nationale, le CEREMA a estimé des coûts de valorisation des sédiments de dragage par filière (cartes localisant les projets par filière en annexe 7). Ces coûts pouvant être variables d'une Région à une autre et selon la nature des sédiments valorisés (origine fluviale ou maritime, présence de contaminants ou non...), les coûts sont donnés à titre indicatif dans le tableau suivant.

Le coût indiqué pour la valorisation agronomique correspond à celui relatif aux valorisations agricoles des sédiments marins de la Rance réalisées en 2020 et 2022.

Tableau 4 : Estimation des coûts de valorisation des sédiments de dragage par filière (CEREMA, Comm. Séminaire Lorient, 2024)

Voie de gestion à terre	Coûts estimés
Valorisation agronomique (Sédiments marins de la Rance)	14 € / m ³
Rechargement de plage	10 à 15 € / m ³
Ouvrage de protection du littoral	20 à 50 € / m ³
Génie civil et portuaire (terre-plein)	20 à 50 € / m ³
Remblaiement de carrière	5 à 10 € / m ³
Réhabilitation de carrière	30 à 60 € / m ³
Merlon paysager	15 à 30 € / m ³
Technique routière	40 à 60 € / m ³ (sans transport)
Produit de construction	50 à 60 € / m ³

PARTIE 5 : LES CINQ LEVIERS D' ACTIONS PRECONISES PAR LE CONSEIL SCIENTIFIQUE

Le Conseil Scientifique a proposé de mettre en œuvre différents leviers dans le cadre du plan de gestion pérenne. Il s'agit d'actions concrètes construites autour de cinq leviers qui doivent être vus comme des actions complémentaires. Ces derniers, décrits dans le rapport du Conseil Scientifique, sont rappelés succinctement dans cette présente partie dans l'ordre tel que défini par le Conseil Scientifique.

Le Conseil Scientifique indique que ces leviers reposent sur des constats globaux faits sur la base de l'analyse du fonctionnement hydro-sédimentaire, à savoir :

- La mise en place du barrage a entraîné l'érosion des rives du bassin maritime et une sédimentation importante en amont, dont la tendance depuis une dizaine d'années est une sédimentation de l'ordre de 120 000 m³/an.
- Cette sédimentation, toujours actuelle, peut être reliée à un apport principalement de sédiments marins dont le flux net est estimé à environ 100 000 m³.
- Cette sédimentation est vaseuse en amont et renforcée par le fonctionnement de l'UMR.

L'apport annuel de sédiments fins provenant du large reste un sujet de préoccupation. La bathymétrie 2023 permettra de confirmer ou réévaluer le taux de sédimentation actuelle. Compte tenu du renforcement du piégeage des sédiments fins dans le bassin par le fonctionnement de l'UMR, le Conseil Scientifique recommande des actions afin de limiter au maximum les apports futurs.

5.1. LEVIER N°1 : REDUIRE LES APPORTS DE SEDIMENTS FINS

Ce premier levier consiste à programmer un fonctionnement différent de l'usine marémotrice en cas de tempête afin de réduire, voire d'empêcher l'entrée d'eau à travers le barrage pendant le flot, par sa fermeture et/ou par la mise en œuvre d'un fonctionnement alternatif. En effet, l'entrée de sédiments fins dans le bassin au niveau du barrage se produit essentiellement au moment d'épisodes de fortes vagues au large (tempête).

5.2. LEVIER N°2 : RECHERCHE D'UN FONCTIONNEMENT ALTERNATIF DE L'USINE MAREMOTRICE

Ce second levier vise à mettre en place un fonctionnement alternatif du barrage qui permettrait de renforcer les courants afin de remettre en suspension des sédiments et/ou atténuer l'asymétrie en faveur du flot en vue de réduire leur transport vers l'amont. Pour ce faire, le Conseil Scientifique a étudié la possibilité de jouer sur les maximums des niveaux d'eau dans le bassin ou en adoptant un mode de fonctionnement du barrage différent, par exemple en recherchant un moment plus favorable pour l'ouverture des vannes, qui telle que pratiquée aujourd'hui entraîne le pic de vitesse mesuré en flot.

Depuis octobre 2022, le Conseil Scientifique travaille en collaboration avec EDF et l'EPTB Rance Frémur pour :

- D'une part, préciser les contours d'un fonctionnement alternatif en définissant des scénarios de fonctionnement alternatif et des indicateurs pour évaluer la performance de ces scénarios, en les testant à partir du code EDF de programmation de l'usine (modèle AGRA) afin de les prioriser, et ;
- D'autre part, valider et exploiter le modèle TELEMAC en vue de vérifier les impacts de ces scénarios sur le fonctionnement hydrosédimentaire du bassin maritime.

5.3. LEVIER N°3 : MAINTIEN DU PIEGE DU LYVET ET GESTION SEDIMENTAIRE DE LA SEDIMENTATION AMONT

Le Conseil Scientifique recommande de maintenir le dispositif Lyvet/La Hisse en cherchant à optimiser son fonctionnement par un suivi régulier de la salinité des sédiments stockés et du remplissage du piège après vidage pour mieux appréhender leur dynamique. L'objectif visé est d'une part d'augmenter la capacité annuelle de stockage du site de transit (qui est actuellement d'environ 30 000 m³/an), soit en réduisant le temps de stockage des sédiments sous réserve d'avoir un sédiment suffisamment dessalé avant valorisation agricole (considérée comme la filière la plus prometteuse en matière de volume), soit en étendant le site de transit de La Hisse, et d'autre part de vider le piège dès qu'il est plein.

Le Conseil Scientifique recommande d'accompagner l'exploitation de ce dispositif piège du Lyvet / La Hisse par une stratégie de gestion sédimentaire pour le secteur amont en réexaminant le potentiel des chasses hydrauliques pratiquées au niveau de l'écluse du Chatelier.

5.4. LEVIER N°4 : REALISER DES EXTRACTIONS LOCALISEES DE VASE POUR MAINTENIR CERTAINS USAGES, OU A FINALITE PATRIMONIALE

Le Conseil Scientifique indique que « quelles que soient l'applicabilité et l'efficacité des leviers 1, 2 et 3, il est probable qu'il restera toujours des secteurs où un envasement localisé gêne un usage ou fragilise un environnement ». Le levier 4 consiste donc à réaliser des opérations de dragage pour rétablir un usage comme l'accès à certaines cales, protéger un site environnemental en risque de fragilisation ou encore restaurer la richesse patrimoniale de certains réservoirs d'anciens moulins à marée. Le Conseil Scientifique recommande la mise en place d'une commission sur laquelle le maître d'ouvrage du plan de gestion des sédiments pourra s'appuyer pour garantir que tous les enjeux concernés soient bien représentés.

5.5. LEVIER N°5 : ENVISAGER UNE EXTRACTION MASSIVE DE VASE, SOUS CERTAINES CONDITIONS

Le Conseil Scientifique a indiqué que l'état de santé du bassin maritime de la Rance et les conditions de maintien de sa biodiversité ne semblent pas nécessiter une extraction massive. La motivation d'une telle extraction peut reposer sur d'autres arguments tels qu'un enjeu d'ordre paysager. Le Conseil Scientifique a analysé par modélisation l'impact potentiel qu'une extraction d'envergure au niveau de Mordreuc pourrait avoir sur le fonctionnement hydrosédimentaire. La simulation a révélé qu'après extraction, la sédimentation serait accrue, fonctionnant comme un nouveau piège. Le Conseil Scientifique précise que ce résultat affaiblit l'intérêt de procéder à une telle extraction mais que le résultat serait susceptible d'être modifié avec la mise en œuvre des leviers 1 et 2.

LEXIQUE

Accrétion : Développement progressif d'une accumulation sédimentaire recevant constamment des apports nouveaux (en opposition à l'érosion).

Carottage : Type de forage permettant de prélever un échantillon de sol terrestre ou marin obtenu à l'aide d'un carottier. L'échantillon ainsi obtenu s'appelle une carotte.

Clapot : Succession de vagues courtes et irrégulières.

Classes granulométriques : Les classes granulométriques permettent de décrire la distribution statistique des tailles des éléments constituant un échantillon de sédiments (vase, silts, sable, gravier...). Ces classes peuvent être définies à partir d'un diamètre minimal et maximal.

Déchet : Phase de réduction du coefficient de marée lors d'un cycle vive-eau*/morte-eau* (en opposition à la période de revif*).

Différentiel bathymétrique : Ecart entre deux bathymétries de dates différentes permettant d'étudier la variation de l'élévation des fonds au cours du temps.

Estran : Partie du littoral recouverte de façon périodique par les marées, appelée aussi zone de balancement des marées ou zone intertidale.

Étale : Période de la marée où la hauteur d'eau reste presque constante à pleine mer ou à basse mer. Pendant une étale, le courant de marée est généralement nul avant de s'inverser.

Flot : Moment de la marée montante (courants dirigés vers l'amont dans un estuaire, en opposition au jusant*).

Granulométrie : Etude de la distribution statistique des tailles des éléments constituant un échantillon de sédiments (vase, silts, sable, gravier...).

Herbus : Aussi appelés prés salés ou schorre, les herbus occupent la partie haute du littoral submersible aux grandes marées, constituant une zone de transition entre les zones immergées à chaque marée et le milieu terrestre. Les herbus sont caractérisés par une végétation rase tolérante au sel.

Isobathe : Courbe de niveau reliant des points d'égale profondeur sous terre ou sous l'eau.

Jusant : Moment de la marée descendante (courants dirigés vers l'aval dans un estuaire, en opposition au flot*).

Lever bathymétrique : Mesure de l'élévation des fonds marins.

Levé LiDAR : Technique de mesure à distance (aérienne) de la topographie d'un terrain, basée sur l'analyse des propriétés d'un faisceau lumineux renvoyé vers son émetteur pour produire un Modèle Numérique de Terrain (MNT). Pour l'estuaire de la Rance, le levé LiDAR ne permettant pas d'étudier le relief sous-marin au-delà d'une certaine profondeur d'eau, des sondeurs multifaisceaux*, basés sur l'acoustique, ont été réalisés par bateau en 2011 pour compléter le levé de 2009. Cela concernait le chenal et les secteurs plus profonds du bassin maritime de la Rance.

Levers topo-bathymétriques : Mesures du relief et des fonds marins.

Marée dynamique : La marée provoque dans un estuaire un mouvement alternatif de la masse d'eau qu'il contient. La pénétration de l'eau de mer au moment de la marée montante, au flot*, refoule l'eau douce vers

l'amont jusqu'à un point à partir duquel est retrouvé un courant fluvial dirigé vers l'aval. Il s'agit de la marée dynamique.

Marnage : Différence entre les niveaux de la pleine mer, ou marée haute, et de la basse mer, ou marée basse.

Matières en Suspension (MES) : Nutriments, matière organique et sédiments transportés en suspension dans l'eau. Les MES peuvent être différenciées dans la colonne d'eau selon plusieurs critères : leur granulométrie, leurs propriétés physico-chimiques ou encore leur nature minérale et/ou organique. La taille est souvent désignée comme le critère majeur permettant de discerner au mieux la dynamique des MES. Les matières en suspension sont définies comme le matériel particulaire pouvant être véhiculé naturellement en suspension, dont la taille minimale est arbitrairement fixée à 0,45 µm. Cette coupure granulométrique provient de l'utilisation de filtres de porosité 0,45µm, à l'origine d'une définition expérimentale de la fraction dissoute.

Mètre Cote Marine (m CM) : Unité utilisée pour la variation du niveau marin, exprimée par rapport au zéro des cartes marines.

Modèle Numérique de Terrain (MNT) : Représentation numérique du relief (de la bathymétrie par exemple) d'une zone donnée.

Morte-eau (ME) : Marée de faible amplitude (inférieure à la moyenne). Epoque du cycle de marée pendant laquelle le marnage* est minimal (en opposition à la vive-eau*).

Revif : Phase d'augmentation du coefficient de marée lors d'un cycle vive-eau*/morte-eau* (en opposition à la période de déchet*).

Sondages hydrographiques : Etude d'une région aquatique, plus particulièrement de son relief sous-marin. Dans le cadre des levés bathymétriques, le levé LiDAR permet de mesurer l'évolution des reliefs pour les zones exondées tandis que pour les zones toujours immergées, ce sont les sondages hydrographiques qui le permettent, en utilisant généralement des sondeurs multifaisceaux* depuis un bateau.

Sondeurs multifaisceaux : Un échosondeur multifaisceaux est un type de sonar utilisé pour cartographier le fond marin. Il émet des ondes acoustiques en forme d'éventail sous son émetteur-récepteur. Le temps nécessaire aux ondes sonores pour se réfléchir sur le fond marin et revenir au récepteur est utilisé pour calculer la profondeur de l'eau.

Tangue : Sédiment littoral des côtes de la Manche, utilisé comme engrais, de couleur gris argent où prédominent les sables fins et les limons.

Turbidité : paramètre indicateur de l'aspect plus ou moins trouble d'un liquide lié à sa teneur en MES*, souvent mesuré par le déploiement d'une sonde qui une fois calibrée à partir de prélèvements d'eau filtrés, permet d'obtenir la mesure de la concentration en MES.

Vive-eau (VE) : Marée de forte amplitude (supérieure à la moyenne). Epoque du cycle de marée pendant laquelle le marnage* est maximal (en opposition à la morte-eau).

ANNEXES

Annexe 1 : Diagnostic « Fonctionnement hydro-sédimentaire du bassin maritime de la Rance » du Conseil Scientifique du plan de gestion des sédiments de l'estuaire de la Rance

Annexe 2a : Extraits de la carte des ingénieurs géographes (service historique de l'armée de terre, Vincennes, j10c289, 1772-1776 ; publiés dans Bonnot-Courtois et al., 2002)

Annexe 2b : Carte marine du SHOM de 1889

Annexe 2c : Carte des sédiments de la Rance de 1956 (extrait du Mémoire N°7 de Ruellan, 1956 : La Rance Maritime et ses Abords – Etude géomorphologique)

Annexe 2d : Carte morphosédimentaire intertidale – Estuaire de la Rance (Bonnot-Courtois et al., 1994) – Echelle 1 / 25 000 (extrait des Cartes morphosédimentaires du secteur Fréhel-Rothéneuf, sources Bonnot-Courtois et al., 1984-1994 ; Produit numérique REBENT Ifremer-CNRS, 2009)

Annexe 3 : Synthèse sur la datation des sédiments de l'estuaire de la Rance

Annexe 4 : Diagnostic « Le territoire de la Rance : dynamiques paysagères, inscription socio-politique de la gestion des sédiments et propositions d'action » du Conseil Scientifique du plan des gestion des sédiments de l'estuaire de la Rance

Annexe 5a : Description de l'opération de dragage mécanique avec stockage à terre, réalisée en 2020/2021 dans le secteur de St-Jouan-des-Guérets

Annexe 5b : Description de l'opération de dragage hydraulique avec redistribution des sédiments devant le barrage, réalisée en 2021 à La Richardais

Annexe 5c : Description de l'opération de dragage avec redistribution des sédiments devant le barrage, réalisée en 2023 à Plouër-sur-Chêne (« Opération Chêne vert »)

Annexe 6a : Note d'accompagnement des fiches descriptives des filières existantes de valorisation des sédiments de dragage (2023)

Annexe 6b : Fiches descriptives des filières existantes de valorisation des sédiments de dragage (2023)

Annexe 7 : Cartes synthétiques des projets de valorisation des sédiments réalisés à l'échelle nationale, produites par le CEREMA (2024)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Les sources des documents sont inscrites sous les images ou dans les cartes.

BIBLIOGRAPHIE

André, H. (1978). Ten Years of Experience at the “La Rance” Tidal Power Plant. *Ocean Management*, 4. 165-178

Ba, M. (2022). Mise en place de l’usine marémotrice de la Rance entre craintes, controverses et synergies. Stage de l’Université de Tours, 73 p.

Bonnot-Courtois C., Caline B., L’Homer A., Le Vot M. (2002). La baie du Mont St Michel et l’estuaire de la Rance : Environnements sédimentaires, aménagements et évolutions récentes, Rapport Centre National de Recherche Scientifique / Ecole Pratique des Hautes Etudes / Totalfinalf, 256 p.

Bonnot-Courtois C., Caline B., Le Vot M., Malassingne O., Ousset O. (1995). A new sedimentological map of the Rance estuary (Brittany, France). 16th Regional Meeting of Sedimentology, Pub. ASF, Paris, n° 22.

Bonnot-Courtois C. et Lafond, L.-R. (1991). Caractérisation et comportement des vases dans l’estuaire de la Rance, Rapport EDF / Rivages / Ecole Pratique des Hautes Etudes - Laboratoire de géomorphologie de Dinard, 113 p.

Bonnot-Courtois C. et Le Vot M. (1994). Carte des sédiments superficiels de l’estuaire de la Rance, échelle : 1/25 000.

Bourret J. (1997). La valorisation agronomique des sédiments marins de la Rance. Le Courrier de l’environnement de l’INRA, 1997, 31 (31), pp.66-69. (hal-01204874)

Chambre d’Agriculture des Côtes d’Armor (2016). L’utilisation des vases de la Rance en agriculture. Synthèse des connaissances, études de différents usages.

Chambre régionale d’Agriculture de Bretagne (2022). Plan de gestion sédimentaire de la Rance. Essai sur la valorisation agricole des sédiments.

Chambre Régionale d’Agriculture de Bretagne (2021). Retour d’expérience et analyse épandages Lyvet 2.

Coftier A., Bataillard P., Laperche V., Foussard V., Hubert A., Lord R., Torrance K. (2023). Synthetic report on Agricultural beneficial use and soil erosion mitigation, Projet INTERREG SURICATES.

Commission Estuaire Rance (2012). Proposition de plan de gestion des sédiments de l’estuaire de la Rance. 40 p.

Commission Estuaire Rance (2015). Estuaire Rance : Gestion des sédiments propositions 2015. *Volumes à extraire, Sédiments fins, Gestion des vasières*. 99 p.

CGE-CGEDD (2017). Gestion sédimentaire de l’estuaire de la Rance. Rapport CGEDD n° 010860-01, CGE n° 2016-30. 67 p.

Conseil Scientifique du plan de gestion des sédiments de l’estuaire de la Rance (2023a). Fonctionnement hydro-sédimentaire du bassin maritime de la Rance. Rapport Diagnostic & Suggestions pour le plan de gestion des sédiments de la Rance. *Version N°3 du 15 juin 2023*, 126 p.

Conseil Scientifique du plan de gestion des sédiments de l'estuaire de la Rance (2023b). Le territoire de la Rance : dynamiques paysagères, inscription socio-politique de la gestion des sédiments et propositions d'action. Diagnostic territorial de l'estuaire de la Rance du Conseil Scientifique. 20 p.

Courtois, B. (1995) *Mémoire en Images. Les bords de la Rance maritime*. 128 p.

Denot, T. et Marcos, F. (1999). *Modélisation hydrosédimentaire de l'estuaire de la Rance – Rapport N° : Synthèse et analyse des mesures bathymétriques et sédimentologique-Utilisation dans les modèles 2D et 3D*. Rapport EDF – R&D – LNH / CCEUR, 21p.

Dhellemmes, C. (2023). Les paysages de l'estuaire de la Rance, d'hier et aujourd'hui. Au-delà des processus de sédimentation, une évolution singulière de son caractère maritime.

Ecole de la nature et du paysage de Blois (2020). La vallée de la Rance, un paysage résilient et fédérateur entre terre et mer.

EDF (2014). L'usine marémotrice de la Rance. Une production d'électricité renouvelable au rythme des marées. 16 p.

EGIS et IDRA (2019). Programme expérimental de gestion sédimentaire de l'estuaire de la Rance - Accompagnement à la définition du plan de gestion expérimental quinquennal, Rapport, 156p.

Ennahal I., Debuigne T., Maherzi W., Hubert A., Foussard V. (2023). Synthetic report on dry stone walls refurbishment for flooding/bank erosion mitigation, Projet INTERREG.

FAUR et Rance Environnement (2008). Livre blanc associatif et citoyen « Pour un renouveau de l'estuaire de la Rance de Dinan à St-Malo ». 7 p.

Février, Y. (2012) *La Rance*. 180 p.

Franchi, A. (2015). Les atlas de paysages. *Méthodes pour l'identification, la caractérisation et la qualification des paysages*. Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, 111 p.

GRIEF (2016). Usages de l'eau en Rance maritime. La « fabrication » d'un territoire hier, aujourd'hui et demain. 171 p.

Guesmia, M. (2001). *Régime hydrodynamique et sédimentaire de l'estuaire de la Rance : Note de synthèse*. Rapport EDF – R&D – LNH / CCEUR, 25p.

Idea Recherche (2008). Evaluation socio-patrimoniale du Contrat de Baie de la Rance – Note intermédiaire. Rapport final, 34 p.

Ifremer (2021a). Analyse des circulations dans le bassin maritime de la Rance à partir de simulations avec le modèle MARS-3D. I Note de validation. *Rapport Ifremer pour l'EPTB*, 13p.

Ifremer (2021b). Analyse des circulations dans le bassin maritime de la Rance à partir de simulations avec le modèle MARS-3D. II Diagnostics eulériens. *Rapport Ifremer pour l'EPTB*, 25p.

Ifremer (2021c). Analyse des circulations dans le bassin maritime de la Rance à partir de simulations avec le modèle MARS-3D. III Diagnostics lagrangiens. *Rapport Ifremer pour l'EPTB*, 12p.

Inspection Générale de l'Environnement (IGE) (2003). Mission d'expertise sur l'estuaire de la Rance. Rapport IGE/02/054.

Jigorel, A., Métayer, J.-L., Brossault, J.-Y. (2012) Synthèse du suivi de la sédimentation dans les vasières de la Rance. Rapports INSA / CCEUR. Période 1999-2001. 35p.

Laboratoire Central d'Hydraulique de France, (1982) Etude sédimentologique de l'estuaire de la Rance, Rapport général Institution interdépartementale pour l'aménagement de la Rance propre / Direction départementale de l'équipement d'Ille et Vilaine, 21 p.

Laguionie, Jigorel (2008). Etude bathymétrique du piège de Lyvet. 20p.

Lang, F. (2017) Gestion et restauration des hauts de grève en Rance maritime. 103 p.

Le Normand, C. et Marcos, F. (1999) Modélisation hydrosédimentaire de l'estuaire de la Rance – Rapport n°1 : Collecte, analyse et synthèse des données existantes, Rapport EDF – R&D – LNH / COEUR, 30 p.

Lord R., Torrance K., Foussard V., Chapalain M., Hubert A. (2023). Report on potential benefits of soil carbon storage in placed sediments in future economic context through carbon credits and as a step toward net zero dredging, Projet INTERREG SURICATES.

Lorin, J. (1999) *Modélisation hydraulique et sédimentaire du bassin de la Rance – Campagnes de mesures en nature – Fascicule 1*, 1999, Rapport Hydroexpert / SOGREAH ingénierie / LNH / COEUR, 54 p.

Maherzi W. (2023a). Report on lab-scale analyses and formulation materials to be used in formulation for dry stone walls refurbishment, Projet INTERREG SURICATES.

Maherzi W. (2023b). Report on lab-scale analyses and formulation materials to be used in small dikes applications based on sediments, Projet INTERREG SURICATES.

Manceau, J.-C. (2007) La sédimentation dans le bassin de la Rance, Synthèse des études. Rapport EDF, 37p.

Maneux E., Schmidt S., Etienne S., (2022). Prélèvements de sédiment par carottage, suivi et interprétation des analyses dans l'Estuaire de la Rance - Rapport final pour l'EPTB Rance-Frémur-baie de Beaussais. [5 rapports]

Masson E., Motte E., Prévot M., Hubert A., Foussard V. (2023). Territorial stakeholder analysis report, Projet INTERREG SURICATES

Master 2 « Environnement Territoire Paysage » (2020). Diagnostic territorial des paysages et des usagers de l'estuaire de la Rance en lien avec la dynamique sédimentaire. Université de Tours, 265 p. + Annexes.

Motte, E. (2017). Iconographie et Géomorphologie : l'usage des représentations artistiques des rivages comme outil de connaissance de l'évolution du littoral. Géographie. Thèse de l'Université de Rennes 2.

Parquet L. (2021). Hydro-sedimentary behavior of the Rance estuary (France) influenced by a tidal power plant : an experimental approach based on field measurements. *Projet de fin d'études, Ec. Des Ponts paris-Tech et EDF*, 83p.

Porte, M.-F. (2017). Les moulins à marée de la Rance et de la Côte d'Emeraude au fil de l'histoire.

Rétière C. et Richard O., (1980) *Conséquences écologiques de 10 années de fonctionnement de l'usine marémotrice de la Rance*, Rapport EDF / Laboratoire maritime du muséum national d'histoire naturelle, 71 p.

Roa Morales, P. (1956) La marée de salinité, la turbidité et les sédiments de la Rance maritime. Thèse Dr. Univ. Paris. 157p.

Rtimi R. (2022). Dynamique hydro-sédimentaire de l'estuaire de la Rance : fonctionnement, évolution et gestion. Mémoire de thèse de l'Université de Bordeaux, 220p.

Ruellan, A. (1956) Mémoire N°7 – La Rance Maritime et ses abords. Etude géomorphologique. EPHE. 108 p.

Saunier Techna (1997). Etude de définition du programme de reconquête de la qualité des eaux de la Rance. Etat des Lieux. 139 p.

Société d'Histoire et d'Archéologie de l'Arrondissement de Saint-Malo (1953), Annales in « <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k5324674w/f72.item.r=rance> »

Sonnec, E. (2015). L'usine marémotrice a-t-elle contribué au développement du nautisme en Rance maritime ? *Norois*, N°236, 2015/3, p. 57-68.

Stratakis, S. (1986). L'environnement du bassin maritime de la Rance : Impacts de l'usine marémotrice et potentialités actuelles de mise en valeur. Rapport de stage, Maitrise Sciences et Techniques d'Aménagement et de Mise en valeur des Régions. Université de Rennes 1, Ecole Pratique des Hautes Etudes, Laboratoire de géomorphologie de Dinard, 116 p.

Thébault, H. (2012) Proposition de plan de gestion des sédiments de l'estuaire de la Rance. 40 p.

Thébault, H. (2015) ESTUAIRE RANCE. Gestion des sédiments. Propositions 2015. Volumes à extraire. Sédiments fins. Gestion des vasières. 99 p.

VNF (2008). Circulaire technique - Dragages et gestion des sédiments, présentation, 35p.

SITOGGRAPHIE

Patrimoine

Carte postale ancienne Le Chêne Vert - http://www.collections.musee-bretagne.fr/notice.php?q=ch%C3%AAne%20vert&spec_expand=&sort_define=score&sort_order=1&rows=12&start=3 (consulté le 24/10/2023)

Négatif sur film La Landriais : voilier en cale sèche, première moitié du 20^{ème} siècle (photographie de Laurent-Nel Henri) - <http://www.collections.musee-bretagne.fr/ark:/83011/FLMjo234673> (consulté le 27/10/2023)

Négatif sur film Pleudihen-sur-Rance : vue de la cale de Mordreuc en construction avec des voiliers et barques amarrés, première moitié du 20^{ème} siècle (photographie de Laurent-Nel Henri) - <http://www.collections.musee-bretagne.fr/ark:/83011/FLMjo234712> (consulté le 27/10/2023)

Négatif sur film Barrage de la Rance : vue du barrage achevé (des véhicules circulent sur la route) vers 1967 (photographie de Henrard Roger) - <http://www.collections.musee-bretagne.fr/ark:/83011/FLMjo388649> (consulté le 02/11/2023)

Négatif sur film : Vue aérienne du barrage de la Rance reliant Saint-Malo à Dinard. La vue est prise entre les deux rives durant les travaux (photographie datant du 16 mai 1964, Créations Artistiques Heurtier (Photographe), extraite des collections en partage du Musée Bretagne) - <http://www.collections.musee-bretagne.fr/ark:/83011/FLMjo133151> (consulté le 3/11/2023)

Usages

Informations sur la pêche professionnelle à la coquille Saint-Jacques en Rance diffusées par le Comité Départemental des Pêches Maritimes et des Elevages Marins d'Ille-et-Vilaine, disponibles à : <https://www.cdpmem35.fr/fr/peche-professionnelle-ille-et-vilaine/metiers-embarques/metier-13-la-plongee.html> (consulté le 19/12/2023)

Données sur les ports et mouillages en Rance et Côte d'Emeraude diffusées Saint-Malo Agglomération, disponibles à : <https://data.stmalo-agglomeration.fr/explore/dataset/ports-et-mouillages-en-rance-et-cote-demeraude/information/?disjunctive.epci&disjunctive.type&disjunctive.concession&disjunctive.gestion&refine.gestion=DDTM+35&location=13,48.62003,-2.00732>

Données sur le trafic routier du barrage diffusées par EDF, disponibles à : <https://www.edf.fr/usine-maremotrice-rance/presentation#:~:text=Route%20d%C3%A9partementale%20168%20%3A%2030%20000,%C3%A0%2060%20000%20en%20%C3%A9t%C3%A9> (Consulté le 09/10/2023).

Valorisation des sédiments

Les engagements pour la croissance verte. Ministères Écologie Énergie Territoires, disponible à : <https://www.ecologie.gouv.fr/engagements-croissance-verte>

Liste des guides d'application pour la valorisation des sédiments, disponibles à : <https://www.ecologie.gouv.fr/sortie-statut-dechet-terres-excavees-et-sediments>

SEDIMATERIAUX. Projet de coopération pour l'émergence de filières de gestion et de valorisation, à terre, des sédiments de dragage portuaires et fluviaux, produite par la DREAL Hauts-de-France disponibles à : <https://www.hauts-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/pochette-sedimateriaux.pdf>

ARTICLES DE PRESSE

Le Petit Bleu, « Les Copines et les copains » veulent sauver les cabanes à carrelet de la Rance, 26/01/2023