

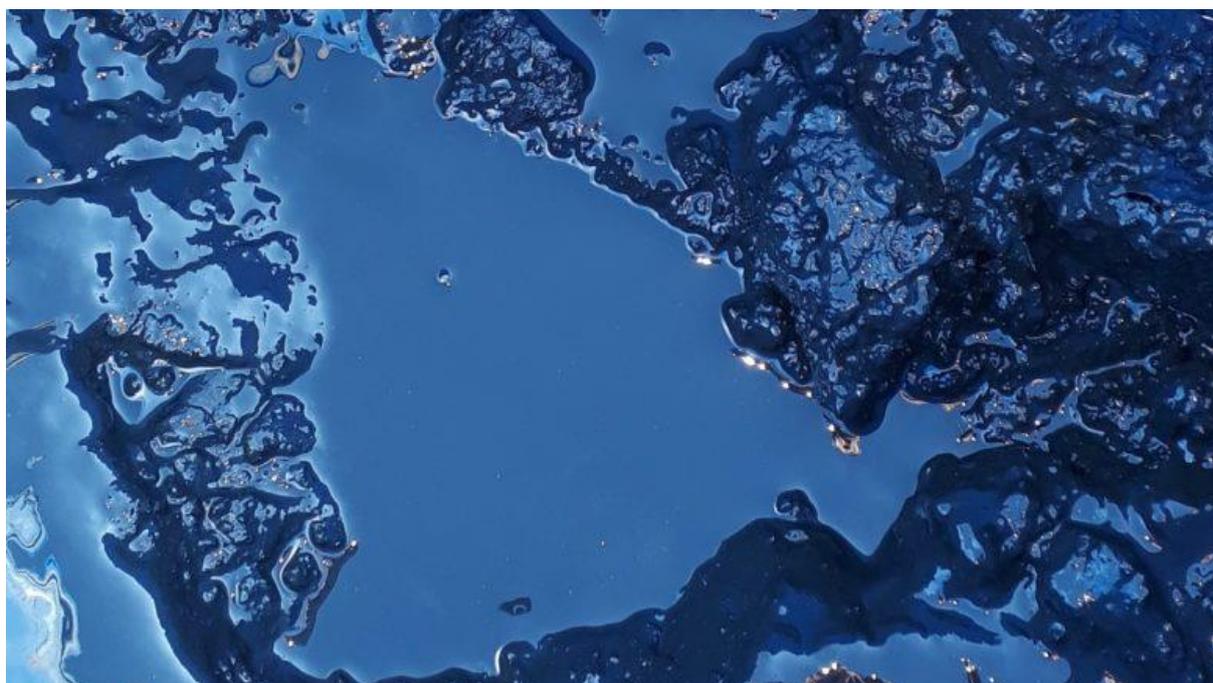
Lettre d'information du lerm n° 40

Le cercle vertueux des sédiments

Posted on April 2020



N° 40, avril 2020



Editorial

La pandémie actuelle peut nous faire réfléchir à d'autres défis à relever par nos sociétés, et plus particulièrement, à la préservation des ressources minérales, à la valorisation matière et des déchets... La lecture permettant entre autres choses une bonne utilisation de notre temps libre, nous vous proposons en cette période de calme imposé d'aborder la question des sédiments...

Marqueurs d'une empreinte géologique et d'activités humaines, acteurs du nouvel âge de l'anthropocène, les sédiments subissent après l'érosion de leurs formations originelles les affres d'un transport plus ou moins long et tumultueux... qui s'achève une fois leur destination ultime de dépôt atteinte, où le mécanisme de la diagenèse - ou compaction - intervient pour les transformer en roche durcie.



Les premiers effets du dérèglement climatique se traduisant par l'occurrence d'événements climatiques extrêmes : précipitations, ravinements, coulées de boues, inondations, la mobilisation puis l'accumulation de sédiments dans le territoire est bel et bien croissante. Le devenir de ce gisement génère donc questionnements, recherches et

actions de terrain, répondant à la nécessité de réduire en amont leur afflux, ainsi qu'à l'impérieuse exigence de leur valorisation, à laquelle nous ne pouvons plus nous soustraire.

Aux besoins d'assurer la viabilité, la productibilité et la sécurité des voies et des ouvrages, s'adjoint le respect de la biodiversité et de l'équilibre d'un territoire. S'agit-il de réduire l'apport sédimentaire, d'en améliorer la qualité, de mieux le caractériser, de développer son intégration dans des process industriels ? Autant de questionnements auxquels des acteurs impliqués nous ont livré leurs témoignages. Du terrain continental aux fleuves, des barrages jusqu'aux ports, nous vous proposons dans ce numéro un panorama de la question des sédiments, afin de mieux comprendre leur insertion dans la boucle de l'économie circulaire.

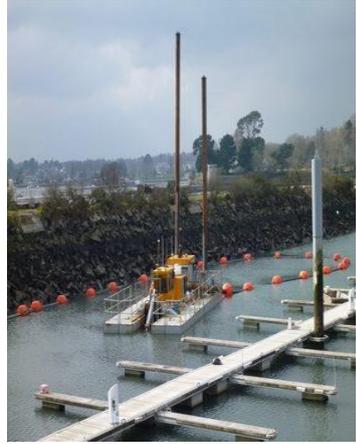
Bonne lecture confinée...

Bernard Quénéé, directeur général délégué
Patricia Geretto, rédactrice en chef

Dossiers techniques



	<p><u>Caractérisations et analyses réglementaires sur les sédiments de dragage</u></p> <p>En raison du positionnement des sédiments au carrefour de diverses problématiques, plusieurs domaines de la législation doivent être considérés pour traiter pleinement le sujet. Sont en particulier concernées les législations sur (i) l'eau, (ii) les déchets et (iii) les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE). Il doit donc être retenu que la gestion des sédiments ne fait pas l'objet d'une législation dédiée et ne peut être abordée au travers d'un prisme législatif unique.</p>
---	--

	<p><u>Sédiments continentaux : études en amont</u></p> <p>Entretien avec Marion Trapu, chargée d'affaires chez setec Hydratec</p> <p>C'est une histoire qui commence. Il s'agit de se mettre d'accord sur les mesures à faire et les systématiser. Pour que la filière des sédiments se stabilise, le processus devra se professionnaliser. Développer des voies de recherches de valorisation participe au lancement de la dynamique. Si ce n'est réaliser des bénéfices, il serait sans doute possible de diminuer le coût actuel de la gestion des sédiments...</p>
	<p><u>Sédiments des retenues artificielles : une affaire de matière</u></p> <p>Entretien avec François Théry, Expert en valorisation de déchets industriels, et Emmanuel Branche, Référent environnement industriel chez EDF Hydro</p> <p>Les sédiments sont des gisements de matières premières, qui dans certains cas peuvent se substituer aux entrants de certaines filières. Leur valorisation ne peut passer que par une bonne connaissance des propriétés physico-chimiques des matériaux. Cette démarche a un coût qui semble justifié quand on mesure le potentiel d'économie matière que cela peut permettre d'obtenir...</p>
	<p><u>Sédiments fluviaux : des plans d'actions</u></p> <p>Entretien avec Marion Delplanque, chargée de mission Sédiment, chez Voies Navigables de France (VNF)</p> <p>La démarche Alluvio est une étude fil rouge dont l'objectif est de mettre en place des plans d'actions à la fois pour agir en amont (réduire les sources d'apports sédimentaires et améliorer la qualité) et pour favoriser le développement des filières de valorisation. Une communication importante doit être engagée vers différents acteurs, maîtres d'ouvrages et industriels, sur les possibilités d'intégrer le sédiment dans des processus de fabrication industrielle...</p>
	<p><u>Sédiments marins : dragage, clapage et gestion à terre</u></p> <p>Entretien avec Françoise Lévêque, Chargée de projets, chez setec In Vivo</p> <p>Chacun de nos programmes de dragage est adapté aux sensibilités du territoire. Il est réalisé sur mesure. Nous évaluons notamment les habitats naturels sur les sites d'immersion. Nous réalisons des inventaires de la faune et de la flore. Nous utilisons les modélisations numériques pour estimer la manière dont les sédiments vont se déplacer dans le milieu, où ils vont se déposer, s'ils vont créer de la turbidité...</p>

Portrait



[Portrait d'Antoine Faure, Chargé d'affaires au lerm](#)

Actualités

I2SM 7th Edition

[International Symposium on Sediment Management](#)

Lille, du 7 au 10 Juillet 2020

REMERCIEMENTS

LERM-Infos



Directeur de la publication : *Bernard Quénée*

Rédactrice en chef : *Patricia Geretto*

Avec nos remerciements les plus chaleureux pour leur contribution experte à Isabelle Moulin et Antoine Faure.

Caractérisations et analyses réglementaires sur les sédiments de dragage

La thématique des sédiments est, par nature, en interface avec de nombreux sujets d'ordre environnemental. Les questions que se posent les maîtres d'ouvrage sont notamment :

- Quelle sera l'incidence des différents modes de gestion des sédiments sur le milieu aquatique ?
- Sur quels paramètres le sédiment à extraire doit-il être qualifié ?
- Dans quel type d'installation de traitement ou stockage doivent être gérés les sédiments extraits en fonction de leurs propriétés chimiques et environnementales ?
- Quelles voies de valorisation sont réglementairement autorisées pour un sédiment ayant des caractéristiques chimiques et environnementales données ?

En raison de ce positionnement des sédiments au carrefour de diverses problématiques, plusieurs domaines de la législation doivent être considérés pour traiter pleinement le sujet. Sont en particulier concernées les législations sur (i) l'eau, (ii) les déchets et (iii) les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE). Il doit donc être retenu que la gestion des sédiments ne fait pas l'objet d'une législation dédiée et ne peut être abordée au travers d'un prisme législatif unique.

Cet article n'a pas vocation à explorer toutes les facettes du cadre réglementaire relatif à la gestion des sédiments. En revanche, l'accent sera mis sur les procédures de caractérisation et d'analyse des sédiments de dragage en vigueur, à savoir :

- Les caractérisations physico-chimiques permettant d'évaluer la qualité environnementale du sédiment en amont de sa manipulation (opération de dragage notamment) ;
- Les analyses inhérentes au statut de déchet, pour des sédiments extraits du milieu aquatique et gérés à terre ;
- Les analyses complémentaires, propres aux sédiments extraits en domaine continental, dont la liste est établie par l'arrêté du 30 mai 2008.

Il est précisé que le présent document rend compte d'une situation réglementaire et procédurale à un instant *t*. Or, les textes relatifs aux sédiments et à leur gestion connaissent des mutations fréquentes. D'éventuelles évolutions par rapport au contenu de cet article sont donc susceptibles d'intervenir à court ou moyen terme.



Des niveaux réglementaires pour positionner les sédiments à draguer en fonction de leur qualité physico-chimique

Etablissement de niveaux réglementaires pour les domaines marins et continentaux

L'obligation pour un maître d'ouvrage d'effectuer des analyses avant la réalisation d'opérations de gestion des sédiments est introduite par l'arrêté le 14 juin 2000.

La circulaire interministérielle N°2000-62 complète cet arrêté et lui offre une grille de lecture.

L'objectif du texte du 14 juin 2000 est de fixer des niveaux de contamination dits N1 et N2 permettant d'apprécier l'incidence que peut avoir une opération projetée, notamment sur le milieu aquatique.

Ce référentiel découle des travaux du Groupe d'Etudes et d'Observation sur les Dragages et l'Environnement (abréviation GEODE) bâti au début des années 90 et composé de représentants des Ministères, des Ports Maritimes et d'experts scientifiques. Il est précisé que ces premiers textes réglementaires portaient exclusivement sur les matériaux sédimentaires accumulés dans des environnements marins et estuariens.

Les atterrissements en domaine continental n'étaient donc, à ce stade, pas pris en compte. Ils l'ont été à partir de l'arrêté du 9 août 2006 : ce texte instaure, en sus des niveaux N1 et N2 préexistants pour les sédiments marins et estuariens, un niveau S1 dédié aux sédiments provenant du domaine continental (cours d'eau, canaux et lacs).



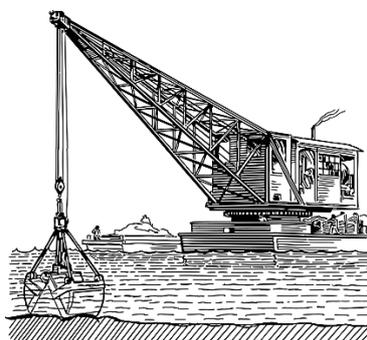
Rôle et emploi des niveaux réglementaires

L'objet de ces niveaux de référence (N1/N2 pour les sédiments marins et estuariens ; S1 pour les sédiments fluviaux et de canaux) est de poser des balises permettant d'anticiper l'incidence qu'aura sur l'environnement une opération projetée de manipulation de matériaux sédimentaires, notamment un dragage.

En conséquence, ces valeurs seuils tendent également à orienter le choix dans le mode de gestion des sédiments avec :

- Soit une remise dans le milieu aquatique par clapage en mer pour les sédiments marins ou, pour les opérations en milieu continental, une dilution dans le cours d'eau aval ;
- Soit une gestion à terre si les sédiments ne présentent pas une qualité physico-chimique et environnementale adéquate ou si les conditions locales ne permettent pas une remise dans le milieu aquatique.

De plus, ces niveaux de référence ont vocation, en combinaison avec les volumes dragués, à définir le régime administratif s'appliquant à l'opération de dragage. En fonction du positionnement des sédiments par rapport aux seuils et des volumes à draguer, l'opération d'extraction peut relever du régime de la déclaration ou de l'autorisation. Les conditions d'attribution de l'un ou l'autre des régimes administratifs sont illustrées par les tableaux décisionnels 1 et 2 présentés en annexe (1) au présent article.



Niveaux de référence pour les différents contaminants retenus

Les niveaux N1/N2 et S1 définis dans l'arrêté du 9 août 2006 portent sur les familles de contaminants qui suivent :

1. 8 éléments-traces métalliques : Arsenic, Cadmium, Chrome, Cuivre, Mercure, Nickel, Plomb et Zinc ;

2. Les polychlorobiphényles (PCB) : Les PCB sont des composés dont l'utilisation a été abondante au XXème siècle du fait de leurs excellentes propriétés électriques et de leur caractère ininflammable. Ils sont aujourd'hui réputés écotoxiques et, pour l'Homme, toxiques et reprotoxiques. Ces molécules sont également sujettes à des processus de bioaccumulation en lien avec leur forte affinité pour les tissus lipidiques. 7 congénères PCB sont retenus dans l'arrêté de 2006 ;

3. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) : Ces composés chimiques hydrophobes sont majoritairement d'origine anthropique et résultent de la combustion incomplète et à haute température de matières carbonées fossiles (notamment pétrole et charbon). Pour ce qui est des sédiments, 16 molécules différentes sont prises en compte ;

4. Tributylétains (pour les sédiments provenant du domaine marin) : Il s'agit d'un groupe de molécules chimiques utilisées dans la deuxième moitié du XXème siècle pour la protection des coques de bateaux, aujourd'hui identifiées comme écotoxiques. La prise en compte de ces composés concerne exclusivement les sédiments marins et estuariens (niveaux N1 et N2).

Plusieurs arrêtés modificatifs (publiés en 2009, 2013 et 2014) ont conduit à faire évoluer les valeurs seuils définies initialement dans l'arrêté du 9 août 2006. Les niveaux aujourd'hui en vigueur sont rappelées dans les tableaux 3 et 4 fournis en annexe à cet article (1).



Caractérisation des sédiments gérés à terre selon le référentiel déchets : dangerosité et caractère inerte

Dès l'instant où les sédiments sortent du milieu aquatique pour une gestion à terre du matériau, ils adoptent le statut de déchet. A ce titre, les sédiments doivent être caractérisés au regard du référentiel déchet, ce qui comprend :

1. D'une part, la détermination de leur caractère dangereux ou non dangereux ;
2. D'autre part, l'analyse de leur caractère inerte ou non inerte.

Les modalités d'évaluation de la dangerosité et du caractère inerte des sédiments sont illustrées par la Figure 1 ci-après.

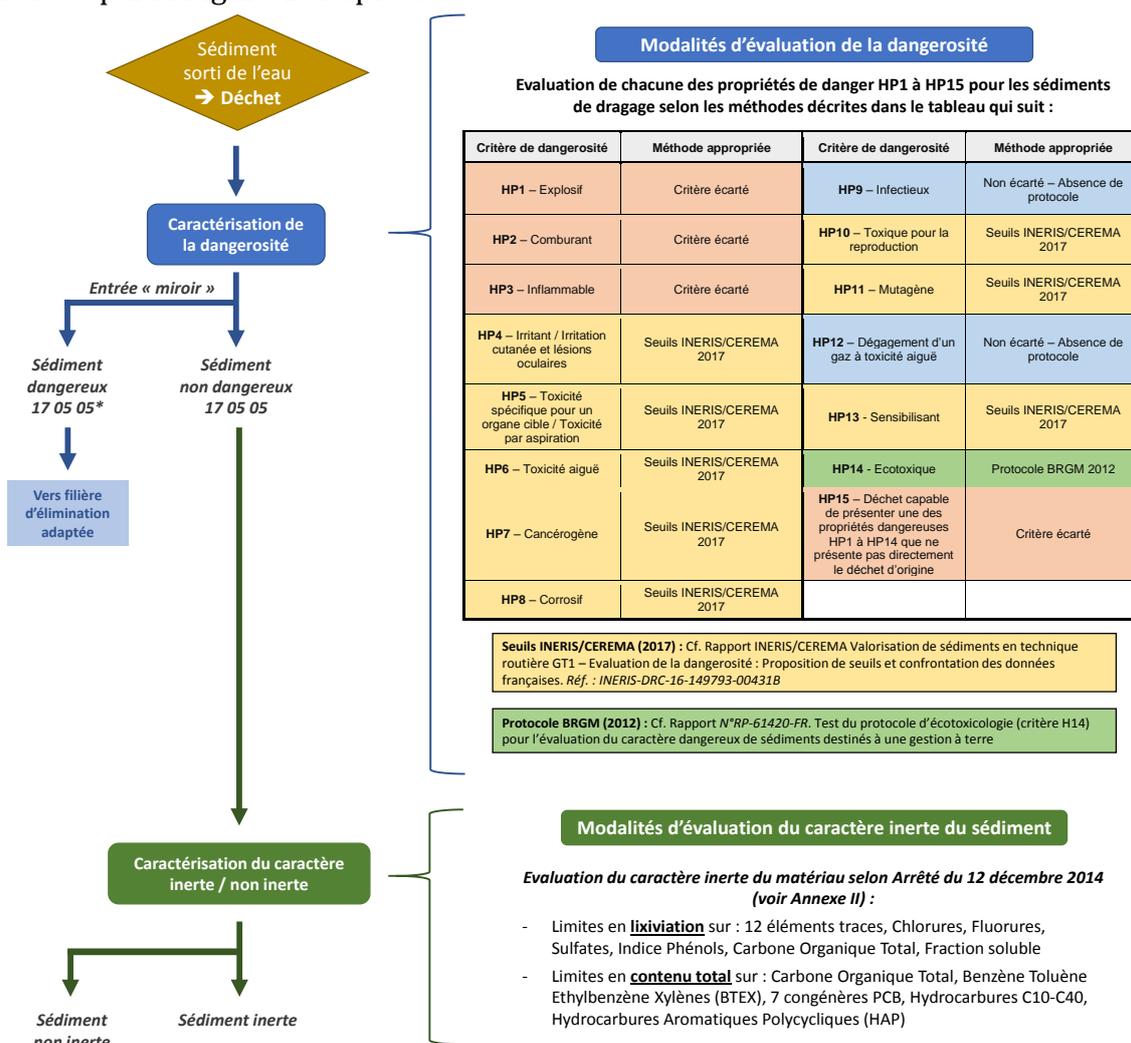


Figure 1 : Modalités d'évaluation de la dangerosité et du caractère inerte de sédiments gérés à terre

Evaluation de la dangerosité des sédiments

Au sein de la nomenclature sur les déchets, les sédiments disposent de deux entrées, dites « entrées miroirs » : 17 05 05 et 17 05 05*. La présence ou l'absence de l'astérisque rendent compte respectivement du caractère dangereux ou non dangereux du déblai de dragage.

La qualification de la dangerosité d'un déchet doit se faire sur la base des 15 propriétés de danger, notées HP1 à HP15. Dès lors qu'il présente une propriété de danger, le déchet est défini comme dangereux.

Concernant les sédiments de dragage, les protocoles à appliquer pour chaque propriété de danger sont désormais relativement bien définis (voir Figure 1), avec 4 cas qui coexistent :

- 1.** Les propriétés de danger qui ne peuvent être appliquées aux sédiments issus de dragage (par exemple explosif, comburant et inflammable) ;
- 2.** Les propriétés de danger évaluées par rapport à des teneurs seuils en contaminant définies dans le rapport publié par l'INERIS et le CEREMA en 2017 : un sédiment présentant des teneurs en polluants inférieures à ces seuils sera, de fait, identifié comme non dangereux pour les propriétés de danger correspondantes ;
- 3.** La propriété de danger HP 14 (écotoxicité) évaluée via le protocole du BRGM édité en 2013 ;
- 4.** Les propriétés de danger pour lesquelles aucun protocole n'est défini à ce jour, à savoir HP9 (infectieux) et HP12 (dégagement d'un gaz à toxicité aiguë). Leur évaluation doit donc se faire en se fondant sur leur origine et leurs caractéristiques.

Evaluation du caractère inerte des sédiments

Le caractère inerte d'un sédiment est évalué sur la base des paramètres contenus dans l'arrêté du 12 décembre 2014 relatif aux conditions d'admission des déchets inertes dans les installations relevant des rubriques 2515, 2516, 2517 et dans les installations de stockage de déchets inertes relevant de la rubrique 2760 de la nomenclature des installations classées.

L'annexe II à l'arrêté précité spécifie les limites maximales à respecter en test de lixiviation (sur éluat) et en contenu total. Les méthodologies et les seuils retenus pour l'évaluation du caractère inerte des sédiments concernent l'ensemble des déchets et ne prennent donc pas en compte les spécificités propres aux déblais de dragage.

Dans ce contexte, l'origine et la nature même de ces matériaux peuvent s'avérer pénalisantes et induire le dépassement de certains seuils. A titre d'exemple, les valeurs maximales en lixiviation sur les paramètres chlorures, sulfates et fraction soluble peuvent être franchies par des sédiments d'origine marine sans que toutefois ces matériaux ne soient contaminés par des polluants d'origine anthropique.



Caractérisations spécifiques à effectuer lors d'opérations d'entretien de cours d'eau et canaux

En sus des analyses mentionnées dans les paragraphes précédents, l'arrêté du 30 mai 2008 fixant les prescriptions générales applicables aux opérations d'entretien de cours d'eau ou canaux [...] précise un certain nombre de caractérisation complémentaires à effectuer pour les sédiments extraits en domaine continental.

Ces analyses additionnelles sont en lien avec des options de valorisation agricole / agronomique comme le régalage ou l'épandage. Ainsi, outre les mesures de polluants métalliques et organiques permettant de positionner le sédiment par rapport à un niveau S1, l'arrêté du 30 mai 2008 exige que soient renseignées notamment la granulométrie du matériau sédimentaire et ses teneurs en azote Kjeldahl, en phosphore total et en carbone organique.

La phase interstitielle (liquide) doit également être analysée dont pH, conductivité, azote ammoniacal et azote total. L'ensemble de ces paramètres permettent de rendre compte de la qualité agronomique du sédiment et de préciser dans quelle mesure il sera bénéfique dans le cadre d'une utilisation en régalage ou en épandage.



Des caractérisations à prévoir pour une orientation pertinente des sédiments vers les voies de valorisation

Pour juger de l'aptitude à la valorisation d'un sédiment dans une filière donnée, notamment industrielle, réaliser la totalité des analyses citées dans le présent article s'avère généralement insuffisant. Le cadre réglementaire et les analyses afférentes portent de manière quasi exclusive sur la qualité environnementale des sédiments et les éventuels impacts écologiques liés à leur manipulation.

En revanche, les propriétés « techniques » des matériaux issus de dragage et leur aptitude à entrer dans les process en substitution aux matières premières traditionnellement utilisées doivent également être évaluées. Cela passe par des essais spécifiques et adaptés à la voie de valorisation des sédiments de dragage considérée.

Ces caractérisations additionnelles peuvent notamment comprendre :

- **Des analyses minéralogiques** : la diffraction des rayons X est une technique pouvant être mise en œuvre pour discriminer les phases cristallines en présence (par exemple carbonates, silicates, phases argileuses) ;
- **Une caractérisation des argiles du matériau sédimentaire** : la connaissance de la proportion d'argiles, de leur nature et de leur activité renseignera en particulier sur le comportement du sédiment vis-à-vis de l'eau. Plusieurs techniques de laboratoire peuvent être mises en œuvre : quantification des argiles par sédimentométrie, identification des types d'argiles en présence par DRX sur lames minces et argilosité sur la base de la capacité du sédiment à absorber le bleu de méthylène (cf. valeur au bleu des sols) ;
- **Des caractérisations chimiques portant sur les éléments majeurs et mineurs** : dans les analyses requises par la réglementation, seuls quelques éléments traces sont quantifiés. Or, pour considérer l'aptitude d'un sédiment à entrer dans une filière de valorisation, notamment industrielle, les éléments majeurs (silicium, calcium, aluminium et fer) et certains éléments mineurs hors éléments traces métalliques doivent également être pris en compte.

La société setec lerm est en mesure d'accompagner les gestionnaires de sédiments dans les démarches de valorisation en sélectionnant et réalisant les analyses de laboratoire les plus appropriées à leurs contextes respectifs et aux solutions de valorisation pressenties.



Des ouvrages de référence pour la réalisation d'échantillonnages appropriés

Les stratégies d'élaboration des plans d'échantillonnage et les modalités de réalisation des prélèvements ne sont pas abordées de manière détaillée dans le présent article. Le lecteur est renvoyé vers des ouvrages existants.

Un premier document a été publié en 2016 à l'initiative du Groupe d'Etudes et d'Observation sur les Dragages et l'Environnement (GEODE) intitulé *Bonnes pratiques pour la caractérisation des matériaux en vue d'une opération de dragage et d'immersion en milieu marin et estuarien*. Comme son titre l'indique, il n'aborde pas le contexte des sédiments fluviaux et lacustres.

Un nouvel ouvrage, publié en 2018 par le CEREMA, fait aujourd'hui figure de référence pour ce qui est des recommandations sur les méthodes d'échantillonnage. Il s'intitule *Echantillonnage des sédiments marins et fluviaux – Du plan d'échantillonnage aux analyses de laboratoire – Synthèse documentaire et recommandations*. Il présente l'avantage de considérer l'ensemble des dragages, à la fois en domaine continental, estuarien et maritime. Les recommandations portent à la fois notamment sur : le nombre d'échantillons à investiguer en fonction des caractéristiques du chantier de dragage, les stratégies d'échantillonnage à retenir (méthode aléatoire, méthode statistique selon un maillage, ciblage de zones particulières) et le type de matériel de prélèvement à privilégier en fonction du contexte (benne, carottier, etc.).

Éléments bibliographiques cités dans l'article

Textes réglementaires

Arrêté du 14 juin 2000 relatif aux niveaux de référence à prendre en compte lors d'une analyse de sédiments marins ou estuariens présents en milieu naturel ou portuaire.

Circulaire n°2000-62 du 14 juin 2000 relative aux conditions d'utilisation du référentiel de qualité des sédiments marins ou estuariens présents en milieu naturel ou portuaire défini par l'arrêté ministériel.

Arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 4.1.3.0 et 3.2.1.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement.

Arrêté du 30 mai 2008 fixant les prescriptions générales applicables aux opérations d'entretien de cours d'eau ou canaux soumis à autorisation ou à déclaration en application des articles L. 214-1 à L. 214-6 du code de l'environnement et relevant de la rubrique 3.2.1.0 de la nomenclature annexée au tableau de l'article R. 214-1 du code de l'environnement.

Circulaire du 4 juillet 2008 relative à la procédure concernant la gestion des sédiments lors de travaux ou d'opérations impliquant des dragages ou curages maritimes et fluviaux.

Arrêté du 12 décembre 2014 relatif aux conditions d'admission des déchets inertes dans les installations relevant des rubriques 2515, 2516, 2517 et dans les installations de stockage de déchets inertes relevant de la rubrique 2760 de la nomenclature des installations classées.

Règlement (UE) n°1357/2014 de la Commission du 18 décembre 2014 remplaçant l'annexe III de la directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil relative aux déchets et abrogeant certaines directives.

Guides et référentiels

BRGM. Test du protocole d'écotoxicologie (critère H14) pour l'évaluation du caractère dangereux de sédiments destinées à une gestion à terre. Rapport N°RP-61420-FR. 2013.

GEODE - EGIS EAU. Bonnes pratiques pour la caractérisation des matériaux en vue d'une opération de dragage et d'immersion en milieu marin et estuarien. 2016.

INERIS - CEREMA. Valorisation de sédiments en technique routière GT1 – Evaluation de la dangerosité : Proposition de seuils et confrontation des données françaises. 2017.

CEREMA. Echantillonnage des sédiments marins et fluviaux – Du plan d'échantillonnage aux analyses de laboratoire – Synthèse documentaire et recommandations. 2018.

(1) Annexes

Tableau 1 : Régime administratif applicable aux opérations de dragage en cours d'eau et canaux (selon article R214-1 du Code de l'Environnement)

Positionnement du sédiment par rapport aux niveaux N1 et N2	Façade maritime	Distance rejet par rapport à zone conchylicole / cultures marines	Volume annuel de sédiment à extraire				
			< 500 m ³	Entre 500 et 5 000 m ³	Entre 5 000 et 50 000 m ³	Entre 50 000 et 500 000 m ³	> 500 000 m ³
Aucun dépassement de seuil N1	Façade Atlantique-Manche-Mer du Nord	> 1 km			D		A
		< 1 km		D			A
	Autre façade			D			A
Au moins un critère compris entre N1 et N2 et sans dépassement de seuil N2	Façade Atlantique-Manche-Mer du Nord	> 1 km	D		A		
		< 1 km	D	A			
	Autre façade		D	A			
Au moins un dépassement de seuil N2			A				

Note : D = Déclaration ; A = Autorisation

Tableau 2 : Régime administratif applicable aux opérations de dragage en cours d'eau et canaux (selon article R214-1 du Code de l'Environnement)

Positionnement du sédiment à draguer par rapport aux niveaux S1	Volume annuel de sédiment à extraire	
	< 2 000 m ³	> 2 000 m ³
Aucun dépassement de seuil S1	D	A
Au moins un dépassement de seuil S1	A	

Note : D = Déclaration ; A = Autorisation

Tableau 3 : Niveaux N1 et N2 en vigueur pour les sédiments marins et estuariens (Extrait de l'arrêté du 9 août 2006)

Substance	Niveau N1	Niveau N2
Éléments traces (en mg/kg de matière sèche)		
As	25	50
Cd	1,2	2,4
Cr	90	180
Cu	45	90
Hg	0,4	0,8
Ni	37	74
Pb	100	200
Zn	276	552
Polychlorobiphényles – PCB (en µg/kg de matière sèche)		
Congénère 28	5	10
Congénère 52	5	10
Congénère 101	10	20
Congénère 118	10	20
Congénère 138	20	40
Congénère 153	20	40
Congénère 180	10	20
Hydrocarbures aromatiques polycycliques- HAP (en µg/kg de matière sèche)		
Naphtalène	160	1 130
Acénaphène	15	260
Acénaphthylène	40	340
Fluorène	20	280
Anthracène	85	590
Phénanthrène	240	870
Fluoranthène	600	2 850
Pyrène	500	1 500
Benzo [a] anthracène	260	930
Chrysène	380	1 590
Benzo [b] fluoranthène	400	900
Benzo [k] fluoranthène	200	400
Benzo [a] pyrène	430	1 015
Di benzo [a,h] anthracène	60	160
Benzo [g,h,i] pérylène	1 700	5 650
Indéno [1,2,3-cd] pyrène	1 700	5 650
Tributylétain – TBT (en µg/kg de matière sèche)		
TBT	100	400

Tableau 4 : Niveaux S1 en vigueur pour les sédiments continentaux (cours d'eau, canaux, lacs) (Extrait de l'arrêté du 9 août 2006)

Substance	Niveau S1 (en mg/kg de matière sèche)
Éléments traces	
As	30
Cd	2
Cr	150
Cu	100
Hg	1
Ni	50
Pb	100
Zn	300
PCB totaux	0,680
HAP totaux	22,800

Sédiments continentaux : études en amont

Entretien avec Marion Trapu, chargée d'affaires chez Setec Hydratec

L'ingénierie de l'eau et des milieux aquatiques est votre métier. Nous souhaitons recueillir votre témoignage sur les sédiments continentaux.



Pourriez-vous tout d'abord présenter Hydratec ?

hydratec, société d'ingénierie généraliste dans le domaine de l'eau, de l'assainissement et des milieux aquatiques, possède une grande expertise dans le domaine de l'hydrologie, de l'hydrogéologie et de l'hydraulique des systèmes fluviaux et des ouvrages associés. Nous réalisons notamment des missions d'études et conseil auprès de Maîtres d'Ouvrage publics, privés et industriels, comme des études générales concernant l'aménagement du territoire, des expertises scientifiques...

En premier lieu, pouvez-vous nous résumer d'où proviennent les sédiments du domaine continental ?

La pluie en tombant sur le sol, a une force d'arrachage et en ruisselant, une force de transport : c'est le mécanisme général à l'origine de la formation des sédiments. Des gouttes d'eaux aux rivières, puis aux fossés, aux canaux... jusqu'à la mer. L'arrachage et le transport des sédiments est un mécanisme dont la plus grande masse est invisible parce que diluée. L'eau transporte des sédiments en suspension. Mais ceux qui nous intéressent sont ceux qui, une fois arrachés, reposent et se déplacent sous la pression d'une crue par exemple.



La nature du sédiment varie-t-elle ?

La nature du sédiment dépend de la nature du sol. La pluie n'arrache pas les mêmes éléments d'une terre arable, d'un sol développé sur roche granitique ou d'une voirie imperméabilisée.

Dans le Nord Pas de Calais, territoire sur lequel l'étude Alluvio (1) a été menée, et région grandement agricole, la terre est très travaillée en utilisant des techniques modernes. Des volumes importants de sols sont transportés. Des matériaux issus également de la forte urbanisation de cette zone se retrouvent dans les réseaux d'eaux pluviales ou unitaires, déversés dans les stations d'épuration, d'où ils sont envoyés dans le milieu

naturel lorsque le volume limite est atteint. Une troisième catégorie provient de l'histoire industrielle du Nord, territoire de charbon et de fer pendant deux siècles. Des rejets directs dans les voies d'eaux sont présents, en moindre quantité que les deux autres sources de sédiments précédemment évoquées, mais d'une plus grande concentration, impactant donc la qualité du sédiment.

Est-il possible de quantifier les volumes des sédiments et d'évaluer leur origine ?

Nous avons réalisé des études sur des bassins versants expérimentaux. Le Bureau des Recherches Géologiques et Minières (BRGM) mène des recherches afin d'établir une relation entre la surface du bassin versant, la nature de l'activité qui y est exercée et les volumes de sédiments arrachés.



Sur les réseaux d'assainissement, pluviaux ou unitaires, nous disposons de données parce que les Agences de l'Eau veillent à ce que les rejets aient le moins d'impact polluant possible. Il existe donc des métrologies et des formes d'abaques résultantes.

La caractérisation du bassin versant et du mode d'occupation des sols peuvent permettre d'estimer des quantités de matière susceptible d'être arrachée et transportée en fonction de la pluie. Cette donnée entrante peut être calée, vérifiée et critiquée en comparaison de la quantité de dépôt existant dans les canaux.

Mais c'est un domaine très complexe. Le milieu récepteur peut être caractérisé par des biefs au comportement différent, dans lesquels le sédiment entre et sort en petite quantité, s'écoule ou pas.

Et ces métrologies ne correspondaient pas à l'étude d'Alluvio, où il s'agissait non pas de réaliser des micro-études de petits bassins versants, qui, dans le cadre de recherches telles que celles réalisées par EDF et le lerm, servent à obtenir des données et de l'information scientifique essentielle dans ce domaine, mais de franchir une étape en travaillant à l'échelle d'une région.

Nous menons par exemple une étude sur la Scarpe, plan d'eau de niveau olympique servant à la compétition de canoë kayak, que la ville d'Arras est en charge de maintenir.



Le BRGM intervient pour affiner la compréhension des mécanismes d'apports et dispose d'un outil assez fin. Il n'est cependant pas envisageable de l'appliquer à l'échelle de la région des Hauts de France.

Il était nécessaire de mettre en place une métrologie spécifique Alluvio pour mesurer d'autres paramètres que ceux que nous mesurons habituellement, et de le faire systématiquement. Par ailleurs, les réglementations changent et les paramètres également. Les mesures sont faites aujourd'hui non pas pour des raisons systémiques mais en réponse à des demandes ponctuelles, opérations de déblai ou de curage.

C'est une histoire qui commence. Une des recommandations issue de l'étude est de se mettre d'accord sur les mesures à faire et les systématiser. Pour que la filière des sédiments se stabilise, le processus devra se professionnaliser.

Quelles actions engendrer à partir des mesures effectuées ?

Hydratec traite les données afin d'obtenir des observations qui répondent à deux questions : quel sera à terme le stock permanent disponible et quelle sera la qualité de ce stock ?



La quantification permet de déterminer les acteurs du territoire impliqués. Il existe une solidarité potentielle des acteurs. En effet, tous subissent des dommages dus aux sédiments.

La profession agricole perd des sols. Les collectivités territoriales doivent gérer des risques de pollution des cours d'eaux. Les Voies Navigables de France (VNF) récupèrent

des dépôts nuisibles à la navigation.

L'étude Alluvio a permis de montrer d'où venaient les sédiments. En fonction de leur origine et de l'endroit où ils se trouvaient, une hiérarchie a été définie, des acteurs avec qui travailler et des secteurs sur lesquels travailler. Ce plan d'action porté par VNF est composé de plusieurs grands axes : l'amélioration de la connaissance à l'échelle micro, pour affiner et définir précisément qui est à l'origine du rejet de tel produit, la préconisation d'améliorations de pratiques, notamment pour la gestion des eaux pluviales, des actions très ponctuelles auprès de différents acteurs, un travail avec la Chambre d'Agriculture. Ceci afin d'améliorer la qualité et de réduire la quantité des sédiments ruisselant vers les voies d'eau.

Peut-on transformer la contrainte en opportunité ?

Alluvio est, à ce point de vue, une étude pilote car même si elle est réalisée par la région Hauts de France, où se trouve un vrai enjeu de préservation de la navigation dans le Nord de l'Europe avec le futur Canal Seine Europe, la problématique étudiée est également rencontrée dans d'autres territoires.



Un volet de l'étude a porté sur la réglementation qui se révèle aujourd'hui très contraignante et limite grandement l'utilisation de sédiments, car considérés comme des déchets, ils doivent répondre à des exigences spécifiques et fortes pour être traités à terre. Dans le cadre d'une économie circulaire qui tend aujourd'hui à se développer, l'étude Alluvio représente un des moyens de l'Etat pour mettre en adéquation l'ambition du circulaire, les pratiques industrielles et la stabilisation de la réglementation. Des échanges avec des industriels

ont lieu afin de déterminer la qualité nécessaire des sédiments et les usages auxquels les destiner.

Au sujet de la valorisation, autre volet de l'étude Alluvio sur lequel le lerm est intervenu, l'on constate une synergie des différents acteurs, accompagnée d'un soutien fort de VNF prêt à accompagner les industriels et à les inciter à exploiter les sédiments. Développer des voies de recherches participe au lancement de la dynamique. Si ce n'est réaliser des bénéfices, il serait sans doute possible de diminuer le coût actuel de la gestion des sédiments.

Hydratec intervient-il dans des études visant à de la prévention ?

Un très grand nombre de nos prestations est réalisé dans le cadre de la prévention, à savoir la limitation des quantités de sédiments qui se créent.

Nous réalisons des études en amont, pour les collectivités qui souhaitent réduire les effets du ruissellement sur leur territoire, pour le domaine agricole qui ne souhaite pas perdre ses sols... Nous proposons des solutions à mettre en place, valider, généraliser et faire connaître aux différentes catégories d'acteurs.

(1) La démarche Alluvio, mise en place par Voies Navigables de France (VNF) et menée par setec hydratec et setec lerm, vise à déterminer des solutions alternatives à la gestion définitive à terre des sédiments fluviaux et à trouver des filières de valorisation. Pour en savoir plus, lire l'entretien avec Marion Delplanque, chargée de mission Sédiment chez VNF.

Sédiments des retenues artificielles : une affaire de matière

Entretien avec François Théry, Expert en valorisation de déchets industriels, et Emmanuel Branche, Référent environnement industriel chez EDF Hydro



Emmanuel Branche



François Théry

Quelle est la fonction d'EDF Hydro et quelle est la part de la production d'électricité issue de l'énergie hydraulique en France ?

EB : La production hydroélectrique, la première des énergies renouvelables et une énergie décarbonée, représente entre 10 et 12% de la production d'électricité en France. Nous exploitons 433 centrales hydroélectriques, qui représentent 50 000 hectares de retenues et 34 000 hectares de foncier (privé et concédé). EDF Hydro est la branche d'EDF qui gère ces centrales hydroélectriques.

Parlons de la gestion des sédiments de retenues artificielles. Pourquoi s'avère-t-elle nécessaire ?

EB : La gestion des sédiments répond à quatre objectifs.

- Le premier est d'assurer **la continuité sédimentaire**. Nous avons affaire à des cours d'eau naturels. La réglementation oblige à maintenir les sédiments dans ces cours d'eaux, afin de préserver une continuité et la biodiversité notamment. Mais cela rend aussi d'autres services aux écosystèmes. Les sédiments séquestrés dans les barrages doivent, tant qu'il est possible, être pompés et reversés par dilution en aval.

- Mais il s'agit également d'assurer **la sécurité des ouvrages**. Le cumul de sédiments peut empêcher le fonctionnement de certains dispositifs, telles les vannes de fond qui servent, en cas de fortes crues par exemple, à évacuer de l'eau et à éviter que le barrage ne soit détérioré.
- Le troisième objectif est de limiter **la perte de productible** (énergie produite). Le dépôt de sédiments diminue le volume disponible pour stocker l'eau, ce qui induit une perte de production potentielle d'électricité.
- Enfin, nous devons maintenir **la navigation**. Le surplus de sédiments peut amener les bateaux à toucher le fond de la voie d'eau et les empêcher de circuler.

Ces problématiques ne concernent pas toutes les retenues hydroélectriques ?

EB : Le phénomène de sédimentation provient de l'érosion naturelle des bassins versants. Or, il varie en nature et en vitesse selon la géologie du lieu et les conditions locales. Par conséquent, la nécessité et la fréquence des curages à réaliser diffèrent d'une retenue à une autre.



Sédimentation - Gestion des sédiments © EDF R&D

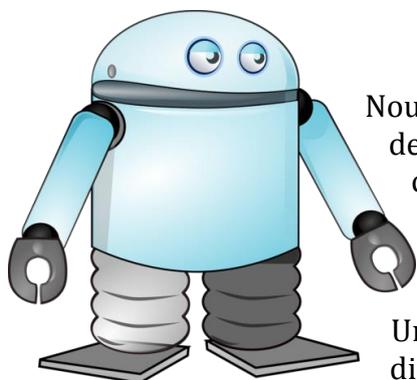
Concrètement, comment réalisez-vous techniquement l'opération de continuité sédimentaire ?

EB : La continuité sédimentaire est la solution prioritaire de la gestion des sédiments. Environ 92% de nos sédiments répondent au besoin de la continuité sédimentaire (i.e. restent dans le cours d'eau) et 8% sont gérés à terre.



Prélèvement de sédiments fins pour essais (Alpes) © EDF R&D

Nous procédons à ce qu'on appelle le **pompage-dilution** : les sédiments sont pris à un endroit où la vitesse de l'eau est lente, et replacés là où la vitesse est plus rapide. C'est réalisé de façon parcellaire, car il ne doit pas y avoir trop de matières en suspension pour ne pas impacter à la fois la biodiversité qui se trouve en aval, et les autres usages. Cette opération de pompage-dilution se réalise grâce à des sortes de grands aspirateurs installés sur des barges qui pompent et rejettent à l'aval, potentiellement via les turbines ou les ouvrages de manœuvre.



Nous effectuons également des tests sur des robots innovants, des sortes de petits tanks amphibies, qui pourraient réaliser ce dragage. Ils peuvent se déplacer sans nécessité qu'il y ait de barges sur place et permettent d'obtenir des tracés efficaces de pompage par géolocalisation.

Un projet européen sur cette innovation et regroupant différents partenaires est en cours de montage. EDF en tant qu'exploitant responsable souhaite limiter l'impact de la gestion sédimentaire sur la production et l'environnement.

Dans ce cadre, EDF a développé en partenariat la solution de dragage Nessie®, qui supprime les contraintes sur les aménagements en s'adaptant à la production et aux critères environnementaux. Cette solution est équipée d'un système de mesure et de régulation des Matières En Suspension (MES) performant, permettant de s'adapter aux variations et de rétablir une continuité sédimentaire proche du naturel pour optimiser les dragages.

Pouvez-vous exposer ce que la gestion des sédiments représente pour EDF ?

FT : EDF exploite et entretient plus de 600 barrages. 460 000 m³ de sédiments sont dragués chaque année, dont 60 000 m³ de sédiments fins.

Ce sont les sédiments fins, ceux dont la granulométrie est inférieure à 200 microns, pour lesquels nous recherchons des voies de valorisation possibles, sachant que les sédiments grossiers, les sables et les graviers, relèvent d'une voie de valorisation déjà toute tracée et facile dans le béton.

Les sédiments sont clairement entrés dans le périmètre réglementaire des déchets depuis la publication de la directive sur les déchets de 2008 et transposée en droit français en 2010. Cela nous donne des obligations de valorisation.

EB : Dans le cadre de sa politique de développement durable, EDF s'est défini une obligation forte de valoriser 90% de ses déchets. Nous cherchons dans cette même optique à valoriser les sédiments de nos barrages qui une fois déposés à terre prennent le statut de déchet.

Pourquoi une démarche R&D en gestion des sédiments fins a-t-elle été initiée ?

FT : Cette démarche était issue de notre volonté d'acquérir une solide connaissance du sujet et de réaliser une exploration réfléchiée des voies possibles de valorisation. Elle s'est inscrite sur une durée de près de 8 ans, et a abouti à la définition d'une stratégie de recherche de solutions de valorisation des sédiments.

Comment s'est-elle déroulée ?



Bassin du Clapier, Vallée de la Romanche, sédiments © EDF R&D

FT : L'approche que nous avons adoptée trouve son origine dans ma formation à l'Ecole Nationale Supérieure de Céramique Industrielle (ENSCI). La céramique se retrouve dans toutes sortes de productions, des assiettes aux moteurs, en passant par les briques et tuiles, les produits réfractaires, jusqu'à des produits parfois très sophistiqués. Il se trouve en effet que cette formation a induit deux angles d'approche dans notre gestion des sédiments, celui de la matière première et celui de la relation producteur-acheteur de matériaux. Ils ont véritablement fondé notre démarche.

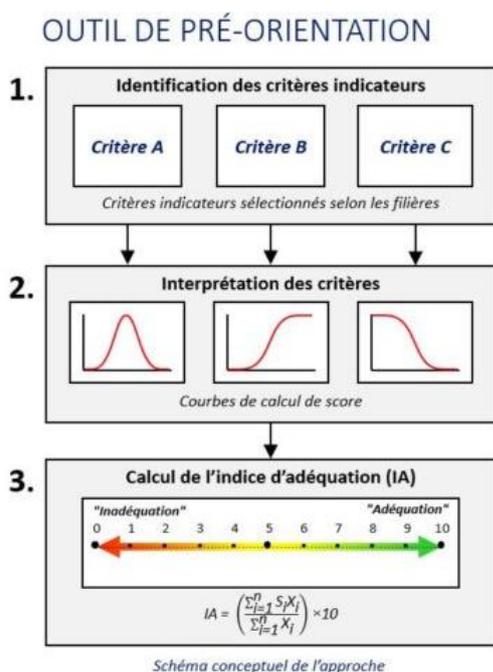
En bref, dès le départ, je n'ai pas considéré le sédiment comme un résidu pollué, sale et problématique, mais comme un matériau contenant des matières minérales (argiles,

feldspaths, calcaire) et donc révélant potentiellement des matières premières que nous pouvions questionner quant aux utilisations dans l'industrie. En nous interrogeant sur les besoins directs de fabricants acheteurs en recherche de matières premières, la perspective que le sédiment pouvait représenter un gisement source de matière exploitable pour certains d'entre eux pouvait s'envisager.

Concrètement, comment avez-vous procédé ?

FT : La première phase de nos travaux a consisté à identifier les gisements de sédiments et définir leur adéquation aux cahiers des charges des matières premières éligibles à différentes filières industrielles. Il s'agissait d'une démarche assez innovante, la recherche des spécifications techniques des matériaux utilisés dans certaines filières était assez difficile, avec des interlocuteurs peu préparés à ce questionnement.

La thèse réalisée par Baptiste Anger, « *Caractérisation de sédiments fins de retenues hydroélectriques en vue d'une orientation vers des filières de valorisation matière* » (1) a ainsi permis la production d'un outil d'aide à la pré-orientation de sédiments vers des filières.



Extrait de : Baptiste Anger. "Caractérisation des sédiments fins des retenues hydroélectriques en vue d'une orientation vers des filières de valorisation matière". 2014. Thèse.(Université de Caen Basse Normandie, Centre de Géomorphologie M2C, EDF R&D)

Ces travaux ont également inclus de façon systématique la recherche de l'éligibilité territoriale par un inventaire géographique des industries proches de chacun des gisements. La création de base de données géographiques est aussi très innovante, les informations sont dispersées et parfois difficiles d'accès.

Cette première phase vous a-t-elle permis de déterminer des filières plus propices à la valorisation des sédiments ?

FT : Elle a permis de définir des filières pour lesquels l'usage des sédiments paraissait les plus réalistes. Nous avons alors souhaité approfondir la faisabilité technique des filières « Liants hydrauliques » et « Agronomique » en nous appuyant sur l'expertise de différents acteurs de terrain et scientifiques, tels que l'ATILH, le CEREMA, l'ENSCI, Agrocampus Ouest et le lerm.

C'est ainsi que la thèse d'Antoine Faure, « *Capacité d'un sédiment à se substituer aux matières premières de l'industrie des liants hydrauliques* » (2) a permis de conclure que la

plupart des sédiments fins de barrage sont aptes à remplacer une partie (10 à 15%) des matières premières usuelles des cimentiers. Les analyses ont été réalisées par le lerm, que nous avons sollicité à la fois pour la compétence d'Isabelle Moulin, directrice du département « Economie circulaire et traitement des déchets » et pour la fiabilité des tests et résultats menés par le laboratoire. En outre, nous pouvions compter sur la compréhension de la démarche « matière première ».

La thèse de Gaëtan Fourvel, « *Capacité d'un sédiment à se substituer à des terres végétales en construction de sols* » (3) a, quant à elle, proposé une typologie de sédiments adaptés à la construction de sol. Elle se base sur les propriétés intrinsèques des sédiments combinés aux usages envisagés des sols à construire.

EB : les deux grandes voies qui se profilent sont véritablement la valorisation minérale (ciment, béton, techniques routières, céramiques/terre cuite, comblement de carrières) et l'agronomie (restructuration de sols, renaturation...).



Essais de valorisation de sédiments fins en tant que matière première à l'industrie de la terre cuite : Coulage de barbotine en moule de plâtre (taux d'incorporation de sédiments atteignant 100 % pour le sédiment isérois) ; Mise au point de pâtes plastiques pour la réalisation de produits de type briques. © EDF R&D

Et qu'en est-il de la présence de contaminants dans les sédiments ?

EB : les sédiments provenant de l'érosion naturelle et nos ouvrages se situant plutôt en haut des bassins versants où ne se trouvent pas beaucoup d'industries et d'activités, nos sédiments ne sont pas pollués. 90% d'entre eux sont inertes et les autres 10% sont non dangereux.

Par exemple, si des teneurs plus élevées en élément arsenic apparaissent ponctuellement, elles sont généralement dues au fond géochimique local, c'est-à-dire aux teneurs naturelles en arsenic des roches du bassin versant. Cet exemple est valable pour bon nombre de paramètres physico-chimiques : les spécificités des roches et sols locaux se retrouvent dans les sédiments accumulés dans les ouvrages.

FT : La deuxième phase de la démarche R&D et EDF Hydro a effectivement consisté à évaluer les teneurs en polluants des sédiments. Nous avons réalisé une analyse croisée des caractéristiques environnementales des sédiments (sur près de 500 échantillons de la base interne EDF et environ 10 000 échantillons de l'étude INERIS de 2010 (4)) et des critères d'entrée des filières (spécificités environnementales dans les domaines réglementaire et technique). Cela nous a permis d'estimer la proportion de sédiments

potentiellement valorisables dans chacune de ces filières ainsi que les éléments chimiques potentiellement les plus bloquants. Il apparaît que les sédiments sont majoritairement éligibles au regard des critères environnementaux pour les usages envisagés et donc adaptés aux filières de valorisation retenues et étudiées. La présence de contaminants dans les sédiments fluviaux est généralement liée à un contexte local (contexte urbain, industriel ou fond géochimique).

Au final, quels sont les bénéfices envisageables de la valorisation des sédiments ?

FT : Les sédiments ne peuvent pas constituer le composant majeur des matériaux utilisés par les filières industrielles identifiées mais ils peuvent représenter un complément de matériau permettant de réaliser des économies sur l'achat de la matière première habituellement acquise.

Leur usage favorise également l'économie des ressources minérales. Le fait qu'ils soient utilisés en complément et non en composant majoritaire ne contraint pas à une modification importante et coûteuse du dispositif de fabrication. La notion d'éligibilité territoriale, à savoir cibler les industries faisant partie des filières de valorisation mais proches géographiquement des gisements de sédiments, s'inscrit complètement dans une démarche de développement durable et d'économie circulaire.

Quel a été l'aboutissement de ces travaux et quelle suite a été donnée ?

FT : L'ensemble de la démarche a permis de faire connaître nos sédiments sous un éclairage nouveau : ce sont des gisements de matières premières, qui dans certains cas peuvent se substituer aux entrants de certaines filières. Une des clés est de faire comprendre que la valorisation des sédiments ne peut passer que par une bonne connaissance des propriétés physico-chimiques des matériaux. Cette démarche a un coût qui me semble justifié quand on mesure le potentiel d'économie matière que cela peut permettre d'obtenir.

Nous continuons à instruire, sur le terrain maintenant, les possibilités offertes par les liants hydrauliques et les filières liées au génie civil. L'industrie céramique est certainement une filière sérieuse qu'il faut continuer à creuser. La filière sol (agronomie) est la première à réaliser des expérimentations de valorisation de sédiments fluviaux. Dans certaines régions les agriculteurs perdent une partie de leurs sols par érosion, on commence à utiliser ces sédiments pour reconstituer les sols.



Essais de construction de sols fertiles à partir de sédiments fins de barrage en lysimètres (Agrocampus Ouest, Angers) © EDF R&D

EB : Nous travaillons en collaboration avec des agriculteurs, les Chambres d'Agriculture et les autorités, DREAL et DDT, autour par exemple, de l'intérêt d'utiliser du sédiment mélangé à du fumier ou à du compost dans des sols qui sont en montagne lavés par des événements extrêmes et par certaines pratiques agricoles.

Plusieurs projets pilotes sont menés. Deux opérations récentes sont en phase de contrôle :

Au Mont-Cenis où se trouve une retenue hydroélectrique, nous travaillons sur la reconstitution de sols sur des parcelles en AOP Beaufort, avec des sédiments, certains d'entre eux étant mélangés avec du compost. Le projet est en phase de suivi et les premiers résultats sont très concluants.

Dans le centre de la France, près de la retenue de l'Escaumel, des terrains agricoles sont très fortement érodés de par une pratique ancienne de labour profond. Une expérimentation est actuellement menée à grande échelle, sur plusieurs milliers de mètres cubes, de restructuration des sols par un apport de sédiments. Les résultats sont également très encourageants.

FT : Les travaux de R&D nous ont aussi permis de renforcer nos partenariats réalisés ces dernières années, mais aussi de nous rapprocher de VNF (Voies Navigables de France) qui a des problématiques équivalentes. La mise en place d'une collaboration plus étroite est en cours, pouvant déboucher sur différents projets en partenariats. C'est ainsi que nous avons organisé conjointement une conférence-débat en 2019 ouverte aux spécialistes de la question.

Enfin, un groupe de travail du CEREMA, associé à VNF et EDF, se lance dans l'élaboration d'un guide sur la valorisation des sédiments en agronomie.

Enfin, l'ensemble de notre démarche a débouché sur la définition d'une stratégie pour la valorisation de nos déchets, que l'on a nommé **C.L.E.** pour : Connaître, Localiser, Evaluer.

- La première étape « Connaître » recherche l'adéquation entre un déchet et des filières de valorisation d'un point de vue essentiellement technique ;
- La seconde « Localiser » tente de résoudre la question importante de la localisation des installations correspondant aux filières et situées au niveau du territoire, dans un périmètre économique jugé acceptable ;
- Enfin « Évaluer » est un guide pour aider le gestionnaire de déchets à rechercher l'installation qui répond à la meilleure performance.

Cette dernière étape a été développée dans la thèse de Mickaël Buronfosse « Conception d'un outil multicritères d'aide à la décision pour la valorisation des déchets industriels » [\(5\)](#), qui a élaboré un outil d'aide à la décision, basée sur une analyse multicritères de comparaison des différentes possibilités de gestion selon cinq dimensions (réglementaire, environnemental, économique, territorial, technique).

Cette stratégie C.L.E. a été soumise à la commission « Economie circulaire » de l'AFNOR, en vue d'une présentation à une commission ISO.

La première partie « Connaitre » a été développée dans un ouvrage auquel j’ai participé, et issu d’une démarche participative au sein du réseau RECORD : *Déchets et économie circulaire, conditions d’intégration pour une filière industrielle*. Publié en 2016 chez Lavoisier Tec & Doc.



Démarche C.L.E. © EDF R&D

Quel est l’avenir de la valorisation des sédiments ?

EB : Un projet d’arrêté pour la sortie du statut de déchets (SSD) (6) des sédiments et des terres excavées est en cours d’élaboration. Le sédiment passerait alors du registre de déchet que l’on cède moyennant un certain coût, à celui de ressource, pour laquelle l’acquéreur offrirait un paiement.

Aujourd’hui, le statut de déchet revêt une image négative autour des sédiments fluviaux, bien qu’ils soient non dangereux. Ce changement de statut permettrait de modifier la perception habituelle du sédiment. Des opérations de curage de volumes importants de sédiments dans certaines retenues (non nécessaires actuellement) pourraient devenir pertinentes et s’avérer neutres financièrement, voire éventuellement bénéficiaires. Grâce à cela, de plus grandes quantités de matériaux sédimentaires entreraient dans l’économie circulaire.

Le sédiment est réellement partie intégrante du développement durable. Il vient de la terre, passe en rivière, et après analyse, peut revenir sur les terres, et favoriser ainsi une moindre utilisation d’autres ressources naturelles ...

Le sédiment peut alors être envisagé comme un apport de culture fertile. Mais c’est uniquement un matériau de substitution d’une ressource naturelle qui se révélera manquante, et ses bénéfices s’évalueront plutôt par exemple en coût évité de gestion des ressources naturelles dans un premier temps, et de coût évité de CO² dû au transport.

La mise en place de vraies filières de gestion n'en est qu'à son début. Tout ce que les acteurs réalisent dans ce secteur aujourd'hui sont des opérations pilotes, même si cela peut représenter des milliers de mètres cubes, et ne se trouve pas encore à l'étape de phasage industriel.

Nous continuons à travailler également dans la voie de valorisation minérale, avec les cimentiers, qui se trouvent eux aussi confrontés à la raréfaction de leurs ressources minérales.

Références

(1) Baptiste Anger. *Caractérisation des sédiments fins des retenues hydroélectriques en vue d'une orientation vers des filières de valorisation matière.* Géotechnique. 2014. (Université de Caen Basse Normandie, Centre de Géomorphologie M2C, EDF R&D)

(2) Antoine Faure. *Capacité d'un sédiment à se substituer à la fraction argileuse de la matière première de l'industrie des liants hydrauliques.* Matériaux. 2017. (Université de Limoges, EDF R&D, lerm, ATILH)

(3) Gaëtan Fourvel. *Valorisation agronomique des sédiments fins de retenues hydroélectriques en construction d'Anthrosols fertiles.* Sciences de la Terre. 2018. (Agrocampus Ouest, EDF R&D, CEREMA)

(4) INERIS. *Qualité chimique des sédiments fluviaux en France : synthèse des bases de données disponibles.* Rapport d'étude, 2010.

(5) Université de Technologie de Troyes, CNRS, ICD – CREIDD, UMR 6281, Université de Nantes, LEMNA

(6) *Projet d'arrêté 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.*

Sédiments fluviaux : des plans d'actions

Entretien avec Marion Delplanque, chargée de mission Sédiment, chez VNF



Pourriez-vous nous présenter VNF ?

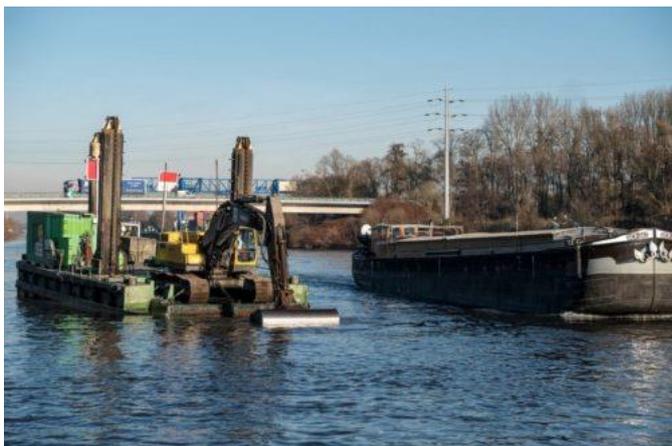
VNF est un établissement public dont les 7 directions territoriales (DT) gèrent et entretiennent 6800 km de voies d'eau réparties sur le territoire français. Deux réseaux, à grand et petit gabarit supportent le transport de fret et le tourisme fluviaux. Une certaine hauteur d'eau est nécessaire pour permettre aux bateaux de naviguer : c'est ce que l'on appelle le mouillage. La garantie de ce mouillage est assurée par des opérations d'entretien régulières : les dragages. En effet, les voies d'eau récupèrent des sédiments majoritairement issus des activités agricole (érosion des sols) ou urbaine (ruissellements).

En quoi consiste le dragage ?

Le dragage d'entretien, réalisé de façon régulière, permet de maintenir les caractéristiques des voies d'eau. Cela représente, en moyenne par an, 600 000 mètres cubes de sédiments sur l'ensemble du territoire, 100 à 120 000 mètres cubes dans le Nord Pas de Calais, 190 000 mètres cubes sur le Bassin de la Seine.

Le dragage d'accroissement capacitaire, quant à lui, permet d'améliorer le gabarit de la voie d'eau, lui permettant d'accueillir des bateaux de plus grandes dimensions. Trois opérations de ce type sont en cours ou vont être prochainement lancées dans le Nord Pas de Calais. La remise en navigation du canal de Condé à Pommeroëul, notamment, nécessitera de gérer 1,3 millions de mètres cubes de sédiments.

Il s'agit donc de volumes importants de sédiments, dont les qualités physico-chimiques peuvent être ponctuellement dégradées.



Dragage Bruay sur Escaut, 2016 - © DEME – Ecoterres

Quelle est la qualité des sédiments issus des dragages des voies d'eau ?

Les sédiments sortis de l'eau sont considérés comme déchets par la réglementation. A ce titre, ils peuvent appartenir à trois catégories différentes : 1- dangereux, 2- non dangereux non inertes, 3-inertes.

Dans la plupart des voies d'eau gérées par VNF, les sédiments à évacuer après dragage sont majoritairement inertes. En l'absence de valorisation, ces déchets sont conservés dans des installations de stockage de déchets classées. Le remblaiement de carrières par ces déblais de dragage inertes est une voie de valorisation possible. Cependant, cette filière peut être en tension dans certains secteurs, notamment le bassin de la Seine, où d'autres déchets tels que les terres excavées du Grand Paris, font concurrence aux sédiments.

Dans le Nord – Pas-de-Calais, en revanche, environ 90 % des sédiments à gérer sont non dangereux non inertes, ce qui leur interdit d'être valorisés dans des filières nécessitant des matériaux inertes. Aujourd'hui, l'essentiel des sédiments extraits dans ce secteur sont transférés, par voie fluviale, vers les Pays-Bas et la Belgique où ils sont valorisés en corps de digues par exemple.

Or, il pourrait y avoir des solutions de valorisation en France.

La qualité des sédiments ainsi que le développement et la maturité des filières de valorisation à l'échelle nationale, sont les deux problématiques auxquelles VNF est confronté.

Tout l'enjeu est de pouvoir gérer les sédiments à des coûts relativement raisonnables et de les transmettre à des filières de valorisation sur le territoire national pour répondre aux enjeux internationaux en matière d'économie circulaire et développer des filières économiques sur le territoire.

Quelles actions ont été entreprises par VNF pour répondre à ces enjeux ?

La gestion et la valorisation des sédiments est un sujet pris en main dès 2003 par la direction territoriale Nord – Pas-de-Calais de VNF, via la gestion et l'aménagement des terrains de dépôts. Ces derniers, appelés aujourd'hui sites de gestion des sédiments, sont

issus des pratiques historiques de dragage et dépôt de sédiments. Il en existe 183 dans les seuls départements du Nord et du Pas-de-Calais, qui possède un réseau dense de 680 km de voies d'eau, soit un dixième du réseau national.

A la suite de la transcription de la directive « déchets » en droit Français, l'utilisation des sites de gestion des sédiments, qui devaient être classés ICPE, a été rendue plus difficile, entraînant une multiplication par cinq des coûts de gestion des sédiments. Une autre stratégie que le stockage définitif des sédiments devait donc être envisagée. L'étude Alluvio, lancée en 2016, menée par setec hydratec et setec lerm, visait ainsi à déterminer des solutions alternatives à la gestion définitive à terre des sédiments et à trouver des filières de valorisation. Elle comportait également une réflexion sur la gestion en amont des sédiments.

En effet, un sédiment qui n'arrive pas dans la voie d'eau est un sédiment qu'on n'aura pas à en sortir et qui ne sera pas considéré comme déchet.

Que résulte-t-il de cette partie de l'étude Alluvio sur les sources d'apports de sédiments ?

Nous avons quantifié les apports sédimentaires à la voie d'eau. Les résultats montrent que les apports provenant du domaine agricole et dus à l'érosion des sols sont de l'ordre de 56% et les apports urbains de 43%.

Ceci est à mettre en lien avec la problématique de la gestion des eaux pluviales, des déversoirs d'orages et des systèmes d'assainissement qui ne sont pas en capacité d'absorber les pluies les plus importantes et déversent en milieu naturel des eaux grises avec des eaux pluviales.

Un travail conjoint avec les territoires est donc nécessaire pour développer des techniques agricoles alternatives et viser à la gestion de l'eau à la parcelle, problématique qui s'avère primordiale. Cette réflexion en amont est toujours en cours avec les territoires.

Et qu'en est-il de la valorisation ?

Dans la partie aval de la démarche Alluvio, il s'agissait de s'interroger sur la manière de gérer au mieux le sédiment immédiatement après l'opération de dragage. En particulier, nous avons étudié les questions relatives aux installations de transit et de préparation du sédiment, qui permettent de sécuriser leur valorisation et leur usage dans certaines filières.

La DT Nord – Pas-de-Calais a réalisé un projet dans le cadre de la démarche Sedimateriaux au travers duquel le sédiment a été valorisé en tant que charge granulaire pour le béton. Ce projet a démontré qu'une étape de préparation du sédiment (déshydratation, tri granulométrique) est incontournable pour en garantir l'utilisation dans les filières de valorisation. Il est en effet important de mettre en place les conditions favorables à l'intégration des sédiments dans les processus de fabrication des industriels, pour qu'ils y trouvent un intérêt à les utiliser.

Alluvio a également pu quantifier le gisement potentiel de sédiments fluviaux à différentes échelles de temps (5-10-15 ans), ce qui permet aux industries, sur la base de cette ressource sécurisée, de construire des plans d'investissement qui garantissent leur rentabilité sur le long terme.



Poutre de couronnement, Chantier de réfection de berge de Goelzin, 2018 © VNF

Que peut-on dire de la rentabilité à utiliser le sédiment comme composant de substitution ?

VNF s'engage sur plusieurs points : la mise en place d'installations de transit pour préparer un sédiment déshydraté et prêt à être utilisé dans les filières, et une incitation financière, qui a un impact très positif sur la recherche menée par les industriels. Nous envisageons, pour accompagner le développement des filières, de mettre en place dans un premier temps une incitation de 10 à 15 euros par tonne de sédiments valorisée par un industriel. Cette incitation est à mettre en regard des coûts d'adaptation des filières de valorisation : Le projet Sédimatériaux a démontré que, pour la filière béton, l'effort financier à porter par l'industriel était de l'ordre de de 2 euros la tonne...

Par ailleurs, le projet Sédimatériaux a permis de démontrer l'innocuité environnementale des sédiments utilisés dans une formulation de béton. Un taux de remplacement du sable pour béton par les sédiments de 20% donne des résultats très positifs en matière de performances mécaniques et d'innocuité. La filière de béton préfabriqué et de béton prêt à l'emploi est donc techniquement, économiquement et écologiquement mure. Les deux voies ont été testées : matelas gabions avec béton préparé en centrale et poutres de couronnement où le béton a été coulé sur le site. Aucune difficulté majeure n'a été rencontrée, seules quelques mesures d'adaptation sont nécessaires.

Ont été testées également des valorisations dans les filières asphalte, ciment, plastique, réfection de berges...



Sédiments préparés - © Néo Eco

Quelles suites VNF entend donner à ces démarches ?

La démarche Alluvio est une étude fil rouge dont l'objectif est de mettre en place des plans d'action à la fois pour agir en amont (réduire les sources d'apports sédimentaires et améliorer la qualité) et pour favoriser le développement des filières de valorisation. VNF envisage d'étendre progressivement cette stratégie au niveau national avec la même réflexion sur les apports sédimentaires, sur les tarifications des filières ...

Une communication importante doit être engagée vers différents acteurs, maîtres d'ouvrages et industriels notamment, sur les possibilités d'intégrer le sédiment dans un certain nombre de processus de fabrication industrielle. Nous rédigeons un guide technique et juridique à destination des maîtres d'ouvrages publics et privés pour toutes sortes de marchés de travaux – confortement de berges, poutres de couronnement, chaussées réservoirs..., pour aider les maîtres d'ouvrage à ouvrir leurs cahiers des charges à l'utilisation de sédiments. Cela peut en particulier passer par l'incorporation de clauses incitatives.

Certains acteurs sont d'ores et déjà sensibilisés, comme la Métropole Européenne de Lille (MEL) déjà largement engagée pour utiliser les sédiments dans ses projets d'aménagement.

VNF participe au projet d'engagement pour la Croissance verte qui vise à fixer les engagements des maîtres d'ouvrages, des industriels, de l'Etat, des fédérations pour l'application des sédiments dans les applications asphaltes, béton, ciment, composite...

Enfin, en matière de gestion des apports sédimentaires, il existe un enjeu de communication et de pédagogie sur les différentes techniques de gestion de l'eau à la parcelle. Nous devons sensibiliser les collectivités territoriales. Toutes ne prennent pas nécessairement en compte la gestion des eaux pluviales et l'ensemble du système d'assainissement.

Or, dans le cadre du dérèglement climatique, une augmentation des phénomènes tels que coulées de boue et inondations, à l'origine d'apports sédimentaires massifs, est envisageable. VNF a donc intérêt à travailler avec les territoires sur des diagnostics et des changements de pratiques. Certaines pratiques agricoles à l'origine de l'érosion des sols font partie d'un schéma économique qui ne facilite pas aujourd'hui leur transformation.

Quel avenir pour la valorisation des sédiments ?

Les expérimentations réalisées ont permis d'atteindre le niveau de maturité suffisant pour le déploiement des filières industrielles.

L'avenir des sédiments est donc dès aujourd'hui dans les mains des acteurs économiques qui ont tous les outils nécessaires au développement d'activités rentables sur les territoires.

Sédiments marins : dragage, clapage et gestion à terre

Entretien avec Françoise Lévêque, Chargée de projets, chez setec In Vivo

Pourriez-vous nous présenter setec In Vivo?

setec In Vivo est un bureau d'études spécialisé en environnement marin. Nous œuvrons sur tous types de projets, depuis des travaux d'aménagement portuaire jusqu'aux parcs éoliens en mer, en passant par la pose de câbles sous-marins, les travaux d'aménagement du littoral, les travaux de dragage, de rechargement de plages...

Nous avons trois types d'activités : l'assistance à maîtrise d'ouvrage (AMO) environnementale et réglementaire avec la réalisation d'études réglementaires liées au code de l'environnement (Loi sur l'eau, étude d'impact, notice Natura 2000...), les études naturalistes sur le milieu marin avec la réalisation de campagnes de terrain à vocation écologique et l'instrumentation du milieu marin pour des mesures de bathymétrie, de qualité d'eau, de bruit sous-marin...

Pourquoi doit-on draguer les sédiments marins ?

Les dragages sont rendus nécessaires dans les ports, les canaux, les chenaux, du fait de la sédimentation naturelle qui empêche d'exploiter correctement les infrastructures portuaires, et qui réduit notamment leur accessibilité, à savoir l'entrée et la sortie des navires.



Déshydratation de sédiments dragués hydrauliquement par boudins géotextiles © F. LEVEQUE, setec in vivo

Quel est le volume annuel des sédiments marins dragués et à quelle fréquence les drague-t-on ?

Ce volume est très variable selon les ports et dépend de 2 paramètres : l'activité du port et la dynamique sédimentaire du port. A titre d'exemple, dans le port de Rouen, les mouvements sédimentaires sont particulièrement marqués en raison de son positionnement dans la Seine. La Seine engendre le déplacement de quantités importantes de matières solides et des phénomènes d'envasement. L'accueil de gros navires par les grands ports nécessite le maintien de tirants d'eau importants, d'où des opérations d'entretien fréquentes. Pour d'autres ports plus petits, les contraintes de navigation sont généralement moindres car les bateaux accueillis sont plus petits. Ainsi, selon la configuration des ports et selon le type de bateaux accueillis, certains peuvent être amenés à draguer uniquement de manière occasionnelle, certains autres n'ont même jamais été dragués depuis leur création.

Le volume dragué par an peut donc varier entre quelques centaines de mètres cubes pour des petits sites, qui ont seulement besoin de dégager leurs cales d'accès par exemple, ou bien plusieurs dizaines de milliers de mètres cubes. Certains grands ports, comme le port de Rouen et le port de Dunkerque, peuvent draguer plusieurs millions de mètres cubes par an.



Dragage hydraulique, port de plaisance - © F. LEVEQUE, setec in vivo

Comment le dragage s'effectue-t-il ?

Il existe deux grandes familles de techniques.

Le **dragage hydraulique**, premièrement, s'effectue par aspiration et consiste à draguer les sédiments en même temps que l'eau est aspirée.

Le **dragage mécanique** consiste quant à lui en une extraction des sédiments à l'aide d'une pelle mécanique ou d'une benne preneuse positionnées soit à quai, soit sur un ponton flottant. Avec cette seconde technique, la teneur en eau du matériau dragué est plus faible qu'avec le dragage hydraulique.

Plusieurs critères conduisent à privilégier l'une ou l'autre de ces techniques : l'accessibilité du port (certains équipements pouvant être de taille trop importante pour la réalisation de travaux dans des petits ports), la typologie des matériaux extraits selon qu'ils sont consolidés ou peu consolidés, la présence de macrodéchets, et enfin le critère primordial : le choix du devenir des sédiments. Nous décidons au cas par cas la technique qui sera la plus adaptée, ainsi que la filière de destination des sédiments. A noter qu'une combinaison de plusieurs techniques de dragage peut être envisagée dans un même port, selon par exemple la qualité des sédiments variable d'un secteur à une autre, qualité qui détermine la filière de destination, et donc les équipements de dragage.

La durée d'un dragage varie entre quelques jours et plusieurs mois. Il peut se faire en un ou plusieurs temps, si les travaux doivent être interrompus pendant certaines périodes de l'année, par exemple pour tenir compte de contraintes environnementales ou de la saison touristique.

Que deviennent les sédiments dragués ? Peuvent-ils être valorisés ?

- La gestion la plus courante est le **clapage** en mer (*i.e.* l'immersion en mer du matériau sédimentaire extrait), la filière la plus utilisée en France en termes de volumes dragués. Elle est valable pour des sédiments peu et pas contaminés. Quelques variantes existent, telles que le rejet au fil de l'eau, dans un contexte avec présence de fleuve ou rivière, ou le rechargement de plages quand il s'agit de sédiments sableux.
- La seconde grande destination est la **gestion à terre**. Le sédiment peut faire l'objet d'un tri granulométrique de manière à séparer les fractions sableuses plus facilement valorisables (notamment dans des travaux de génie civil) de celles qui le sont moins (fines argileuses en particulier). Concernant les matériaux les plus fins, des études préalables en laboratoire peuvent être conduites de manière à vérifier la faisabilité et les conditions de la valorisation.

A titre d'exemple, le lerm étudie actuellement la faisabilité de formulation d'un matériau contenant des sédiments traités au liant pour le remplissage de quais portuaires en Bretagne. Concernant les sédiments contaminés, le dragage étant souvent associé à des travaux d'aménagement portuaire, ils peuvent être utilisés de manière confinée pour créer un terre-plein, remblayer des cavités dans le quai etc. Cependant, en cas de volumes importants, et d'une accumulation de pollution, des plateformes de décantation et de stockage sont créées.



Rejet de sédiment dragué hydrauliquement avant lagunage © F. LEVEQUE, setec in vivo

Si le terme de valorisation est utilisé dans le sens de transformation du sédiment pour en faire un autre produit, nous n’y arrivons pas vraiment aujourd’hui. Pour les sédiments marins, les risques dus aux contaminants sont un frein à ces filières de transformation. La plupart du temps on procède à du tri granulaire par séparation mécanique.

Qu’en est-il de la contamination des sédiments portuaires ?

Les sites de stockage et/ou de valorisation des sédiments sont soumis au régime des ICPE (Installations Classées pour la Protection de l’Environnement). De fortes évolutions réglementaires ont lieu depuis les années 2000. La prise de conscience sur la qualité des sédiments, la présence de contaminants et l’impact sur le milieu naturel a pris forme. Même si le clapage demeure à ce jour la solution la plus utilisée en termes de volumes de sédiments, les contrôles relatifs à la nature des matériaux à draguer, à leur niveau de contamination et aux impacts sur les sites de clapage ont été renforcés.

A quel moment sont faits les contrôles sur les sédiments ?

Réalisés en amont du projet de dragage, ils conditionnent la réflexion sur la destination des sédiments, les études à mener sur l’impact de la solution qui va être choisie... Avant toute intervention, la connaissance et la caractérisation de la nature du sédiment et de sa contamination sont nécessaires. Il existe une grille de comparaison réglementaire relative aux contaminants. Le volume doit ensuite être évalué. Ces deux critères déterminent la procédure administrative à mettre en place vis-à-vis du code de l’environnement (déclaration loi sur l’eau, étude d’impact ...).

Que fait-on des macrodéchets ?

Récupérés lors des dragages, ils sont triés par matériaux : il s’agit souvent de ferrailles et aussi de blocs de cailloux d’enrochements. Leur nombre et leur nature dépendent de la fréquence des dragages dans le port et du type de port. Ils sont triés par type et recyclés comme tout déchet dans les filières agréées.



Macro-déchets recueillis lors d'un dragage mécanique © F. LEVEQUE, setec in vivo

Vous avez évoqué le volet instrumentation et mesures dans vos activités. Pouvez-vous nous en dire plus ?

- Des modèles numériques sont réalisés en amont des travaux, pour comprendre les phénomènes physiques que le dragage va produire, comment il peut générer un panache par remobilisation et, dans le cas d'un clapage, comment les sédiments vont interagir avec le milieu. L'utilisation de ces modèles permet d'évaluer l'impact des sédiments dans le cadre des dossiers réglementaires.
- Par ailleurs, des programmes de mesures sont de plus en plus souvent mis en place pendant et après le dragage. Ces mesures de suivi en continu permettent d'évaluer le panache d'eaux troubles généré, notamment lorsqu'il y a des habitats naturels sensibles à la turbidité. Nous instrumentons des bouées de mesures pour effectuer le suivi du milieu et alerter l'entreprise qui réalise le dragage lorsque les valeurs dépassent un certain seuil. Cela lui permet d'adapter sa cadence de dragage ou d'interrompre momentanément son intervention. Ce type de suivi est presque systématiquement demandé dès que des sensibilités naturelles sont à préserver.
- Les données récoltées sur le terrain peuvent, sur certaines opérations importantes de dragage, être incorporées dans le modèle, de manière à mieux comprendre comment le panache se diffuse et ce qui se passe dans la réalité. Utiliser conjointement l'instrumentation et la modélisation numérique est, à ce jour, une pratique encore assez peu répandue.

Quels types d'études setec in vivo mène-t-il précisément ?

Nous répondons aux besoins de l'ensemble du littoral français, nos activités se situant en particulier sur la façade Atlantique, la Manche et la Mer du Nord.

Le groupe GEODE, groupe d'experts scientifiques à l'origine de la détermination des seuils N1 et N2 de contamination qui réglementent le dragage, édite régulièrement des guides de bonnes pratiques. Nous utilisons ces guides pour proposer notre programme d'études sur un site donné.

Chaque programme est adapté aux sensibilités du territoire, il est réalisé sur mesure au cas par cas. Nous évaluons notamment les habitats naturels sur les sites d'immersion et leurs alentours. Nous réalisons des inventaires de la faune et de la flore. Nous utilisons les résultats des modélisations numériques réalisées par des bureaux d'étude spécialisés pour estimer la manière dont les sédiments vont se déplacer dans le milieu, où ils vont se déposer, s'ils vont créer de la turbidité etc.

Les projets de dragage sont quasi systématiquement soumis à minima à des dossiers réglementaires liés à la loi sur l'eau. Nous devons évaluer les incidences du dragage sur l'environnement et justifier que le projet est acceptable au niveau environnemental. Toutes nos études visent à répondre aux exigences techniques et réglementaires.

Certains sites portuaires disposent de zones d'immersion déjà définies et, pour d'autres, nous devons procéder à des études amont pour en trouver. Cela concerne particulièrement des ports n'ayant jamais été dragués ou bien des infrastructures portuaires pour lesquelles le dernier dragage en date est très ancien. Comme pour les sédiments fluviaux et de barrages, nous déversons les sédiments dans leur milieu d'origine, mais la différence est que nous devons étudier les sites d'immersion.

Un exemple de chantier de dragage sur lequel vous avez travaillé et dont vous aimeriez nous parler ?

Nous avons été sollicités pour rédiger le plan de gestion des dragages concertés sur les dix années à venir de 15 sites de dragage situés dans la rade de Lorient et mettre en place le dossier réglementaire associé.

Des rencontres organisées entre les différents acteurs afin de se coordonner et d'explorer en commun les pistes de travail, s'en est suivie une démarche originale où 4 maîtres d'ouvrages, les 3 collectivités (ports de la région Bretagne, ports de Lorient agglomération, ports de la compagnie des ports du Morbihan) et l'entreprise Naval Group se sont regroupés pour avoir une réflexion commune à l'échelle de la rade sur leurs dragages.

Très peu de gestionnaires portuaires s'associent pour une gestion commune et concertée des dragages. Nous préconisons ce type de démarche, car les réflexions et les travaux de recherche communs rendent plus facile le développement de filières de gestion alternatives (en particulier des filières de valorisation matière). De plus, la création de plateformes de gestion et de centres de stockage devient plus rentable lorsque le volume des sédiments est plus important.

Il est très satisfaisant de constater que trois organismes publics et un organisme privé ont pu s'accorder pour avoir une vision concertée de leurs dragages.

Portrait d'Antoine Faure, Chargé d'affaires à setec lerm

Antoine, tu as rejoint le lerm il y a aujourd'hui, jour de notre entretien, deux ans exactement. Félicitations ! Tu es Chargé d'affaires. Peux-tu nous parler de ton cursus d'études ?



Merci ! J'ai suivi une classe préparatoire en Biologie Chimie Physique Sciences de la Terre puis intégré l'école d'ingénieurs Agro Paris Tech. Cette dernière offre une formation assez généraliste pouvant ouvrir des perspectives assez vastes dans des domaines tels que l'agronomie, l'environnement ou encore les industries agroalimentaires. En entrant dans ce cursus, j'étais intéressé par la géologie et la biologie, mais je n'avais pas à l'époque défini de manière précise mon orientation professionnelle.

Qu'est-ce qui t'a donc amené à une thèse sur la valorisation des sédiments ?

De fil en aiguille, au cours de la formation, de par les activités, les stages, je me suis progressivement orienté vers la spécialisation « Ingénierie de l'environnement, eau, sol, déchets ». Une attirance s'est créée pour ces thématiques. Et j'ai effectué mon stage de fin d'études au sein de la branche Recherche et Développement EDF, sur le sujet de la valorisation de sédiments retenus dans les ouvrages hydroélectriques et qui pourraient potentiellement être dragués dans le futur, avec un aspect géographie et territorialisation de la valorisation. En parallèle de ce stage, EDF R&D construisait un sujet de thèse relative à la valorisation du sédiment en tant que matière première pour l'industrie du ciment.

Et c'est ainsi que tu es arrivé dans le domaine des matériaux ?

Oui. Le sujet de la thèse m'intéressait beaucoup en raison du vaste panel de domaines qu'elle recouvrait : matériaux cimentaires, minéralogie et chimie, économie circulaire, valorisation des déchets, aspects réglementaires, etc. Cette transversalité du sujet me plaisait. Je ne connaissais initialement qu'une partie de ces sujets, je n'avais pas de formation purement matériaux à l'origine mais ma motivation pour apprendre a fait le reste. Par nature, j'aime m'ouvrir à de nouveaux sujets et me les approprier.

C'est à ce moment-là que tu as fait connaissance avec le lerm ?

Effectivement. Cette thèse [1] a démarré en décembre 2014 et elle réunissait 4 partenaires, L'Université de Limoges, EDF R&D, l'ATILH (Association Technique de l'Industrie des Liants Hydrauliques) et donc le lerm.

Peux-tu nous en dire plus sur cette voie de recherche de valorisation étudiée dans ta thèse ?

La thèse comportait deux grands axes. La valorisation dans les crus cimentiers, pour produire du clinker en substitution principalement de la matière argileuse, voire d'une fraction de l'apport calcaire en fonction de la géologie du bassin versant. Le deuxième volet du sujet de thèse portait sur la valorisation des sédiments comme addition cimentaire, après calcination, avec la recherche d'une éventuelle réactivité pouzzolanique.

Nous sommes allés assez loin dans la démarche, en étudiant de manière détaillée 8 sédiments provenant de 8 barrages différents. Les essais conduits dans le cadre de la thèse avaient notamment pour objectif de déterminer l'effet sur le produit final, le liant, des caractéristiques initiales des sédiments valorisés.

Des tests en laboratoire ont donc été réalisés ?

Cette recherche comportait une part importante d'études en laboratoire. Une partie des tests a été réalisée à l'Université de Limoges, une autre au laboratoire du lerm. Ce qui m'a plu c'est la diversité des tâches : préparation des échantillons, essais en laboratoire, tâches rédactionnelles, communications orales... Concernant le lerm, j'étais suivi et appuyé par Isabelle Moulin, directrice du département « Economie circulaire et traitement des déchets » dont l'expertise m'a été précieuse. J'ai également côtoyé régulièrement Nouredine Rafai, Directeur Scientifique, qui m'a également beaucoup apporté sur la caractérisation des clinkers. De semaine en semaine, j'ai progressivement acquis une culture sur les ciments et les bétons. C'était très formateur. Je peux dire que j'ai maintenant une formation multi-casquettes et une connaissance de l'intégralité du processus, de la matière première au matériau élaboré.

Comment s'organisaient les essais ?

La caractérisation des sédiments et les traitements thermiques s'effectuaient à l'Université de Limoges. Je transportais ensuite les échantillons, notamment les clinkers, jusqu'aux laboratoires du lerm à Arles où je restais sur des périodes de deux semaines environ. Isabelle Moulin intervenait sur le montage du programme. Les tâches étaient planifiées et intégrées dans l'ensemble des activités du laboratoire. Pour certaines parties de l'étude, je faisais appel aux techniciens spécialisés, par exemple des préparations de mortiers.

Et après la thèse, le lerm ?

Après la thèse que j'ai soutenue en décembre 2017, j'ai d'abord et surtout pris un certain temps de repos ! Le lerm m'a proposé un poste de chargé d'affaires début 2018. Il y avait tout d'abord un besoin urgent sur une mission d'une dizaine de mois à temps plein pour une mission de maîtrise d'œuvre sur un lot de génie civil de TELT, le Tunnel Euralpin Lyon Turin. Le travail portait sur la valorisation des déblais d'excavation, notamment pour la fabrication du granulats de bétons de génie civil.

C'était donc tout à fait dans la continuité de tes centres d'intérêt ?

Mes contacts avec le lerm pendant ma thèse de doctorat avaient été très bons. Les interactions que j'avais eues m'avaient enthousiasmé. J'appréciais notamment l'expertise présente au sein de la société sur de nombreuses thématiques liées aux matériaux et aux structures. Pour mon premier emploi post-thèse, je souhaitais autant que possible conserver les deux volets de ma formation, à savoir l'Environnement et les matériaux. Ce poste correspond vraiment à ce que je souhaitais faire. Le département Economie circulaire et traitement des déchets du lerm s'intéresse à une grande variété de déchets et matériaux naturels, pour l'heure à dominante minérale.

Quelles sont tes missions ?

J'ai travaillé pour TELT sur la valorisation des terres d'excavation en remblai et granulats. A cette occasion, j'ai découvert les missions de maîtrise d'oeuvre. Encore une fois ce fut une expérience très enrichissante. J'étais sur un site détaché du lerm et en contact avec d'autres sociétés du groupe setec, surtout setec ALS. J'ai approfondi ma connaissance sur les granulats et les bétons. Ensuite j'ai continué à assurer quelques missions à distance pour ce projet.

Puis j'ai rejoint l'agence de Paris du lerm début 2019. Le fait que nous travaillons sur un panel varié de missions, rend le quotidien non routinier. Et j'apprécie cet aspect. Pêle-mêle, j'ai travaillé sur des études liées à la caractérisation de granulats issus de béton recyclé, des problématiques de remblais gonflants, des caractérisations de sédiments, la construction, en partenariat avec setec hydratec, d'un schéma directeur de gestion et valorisation de sédiments de dragage pour la Direction Territoriale Nord – Pas-de-Calais de VNF, des essais en laboratoire de traitement de sédiments aux liants hydrauliques, des investigations géologiques sur des dépôts sédimentaires franciliens, etc.

Qu'est-ce qui te plaît le plus dans ta fonction ?

La variété des sujets, l'exigence de qualité du rendu, l'expertise, les contacts et le travail effectué avec d'autres sociétés du groupe setec auquel le lerm appartient, hydratec, Terrasol, ALS, setec inter. Au sein du groupe, nous sommes en mesure de produire des offres coordonnées faisant appel aux diverses expertises et qui répondent à de larges besoins. L'étendue des matériaux sur lesquels le lerm peut apporter son expertise avec, qui plus est des installations de laboratoire à disposition, fait que nous pouvons intervenir sur un grand nombre de projets.

Et la vie en dehors du lerm ? Il semble que tu as changé souvent de région ?

Je viens de la Loire, entre St Etienne et Clermont-Ferrand. J'ai fait ma classe préparatoire à St Etienne, puis AgroParisTech à Paris. J'ai eu l'occasion de séjourner en Italie, au Canada et dans différentes régions de France, à l'occasion des stages que j'ai effectués. J'ai effectué ma thèse de doctorat à Limoges, puis je suis allé à Chambéry pour le projet TELT. Et maintenant je vis en région parisienne et travaille à Paris...

Joli parcours géographique... Et quels sont tes loisirs ?

Principalement le sport en extérieur. Dans la nature, c'est bien. En montagne, c'est encore mieux. Je pratique la course trail, le vélo. Cela fait du bien. Le monde pro au bureau et le monde perso à l'extérieur, c'est un équilibre.

[1] **Antoine Faure**. *Capacité d'un sédiment à se substituer à la fraction argileuse de la matière première de l'industrie des liants hydrauliques*. Thèse de Doctorat. 2017. (Université de Limoges, EDF R&D, lerm, ATILH)