



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Inspection de digue à Decize Levée de la Jonction 3^{ème} section

Mesures hydrographiques 2022 sur la Loire

RAPPORT D'ETUDE

Octobre 2022

Le Cerema est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique, présent partout en métropole et dans les Outre-mer grâce à ses 26 implantations et ses 2 400 agents. Détenteur d'une expertise nationale mutualisée, le Cerema accompagne l'État et les collectivités territoriales pour la transition écologique, l'adaptation au changement climatique et la cohésion des territoires par l'élaboration coopérative, le déploiement et l'évaluation de politiques publiques d'aménagement et de transport. Doté d'un fort potentiel d'innovation et de recherche incarné notamment par son institut Carnot Clim'adapt, le Cerema agit dans **6 domaines d'activités** : **Expertise & ingénierie territoriale, Bâtiment, Mobilités, Infrastructures de transport, Environnement & Risques, Mer & Littoral.**

Site web : www.cerema.fr

Inspection de digue à Decize

Levée de la Jonction 3^{ème} section

Mesures hydrographiques 2022

Commanditaire : Direction Départementale des Territoires de la Nièvre (DDT 58)

Auteur :

Responsable du rapport

Francis GARNIER – Agence de Blois – RISOM – Surveillance des Ouvrages et des Milieux
Tél. : +33(0)2 54 55 49 42 – Mobile : +33(0)6 19 23 09 62
Courrier : francis.garnier@cerema.fr
Cerema Normandie -Centre - Agence de Blois - 11, rue Laplace – CS 32912 – F – 41029 Blois Cedex

Historique des versions du document

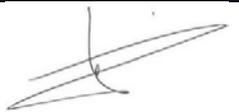
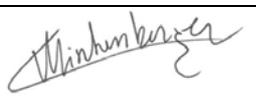
Version	Date	Commentaire
V1	19/10/2022	Version initiale – rédaction Francis Garnier
V2	24/10/2022	Version complétée et corrigée – Coraline Wintenberger

Références

N° d'affaire : 22-NC-0245

Partenaires :

Devis n°DE-2022-0013831 du 25/05/2022

Nom	Service	Rôle	Date	Visa
Francis Garnier	Chargé d'études hydrographiques - GRISOM	Auteur principal	19/10/2022	
Coraline Wintenberger	Responsable de l'activité Surveillance des Ouvrages et des Milieux	Contributeur/Relecteur	24/10/2022	
Hélène Barrière	Chef de groupe Risques Inondation Surveillance des Ouvrages et des Milieux	Valideur	24/10/2022	

Résumé de l'étude

La Direction Départementale des Territoires de la Nièvre (DDT 58) a sollicité le Groupe Risque Inondations et Surveillance des Ouvrages et des Milieux de l'Agence de Blois pour effectuer des mesures hydrographiques d'inspection d'une digue de protection contre les crues de la Loire sur la commune de Decize (58). Cette digue dite de la Jonction 3^{ème} section est en contact avec le lit vif du fleuve en rive gauche.

Les mesures ont été effectuées les 19 et 20 juillet 2022. Un levé bathymétrique de 500 m de long et 50 m de large a été effectué. Quatre profils en travers, espacés de 150 m, ont été édités à partir du levé et comparés au levé de 2005 et aux profils de 2008. Un profil supplémentaire a été réalisé et comparé au levé de 2005. Une imagerie acoustique a été réalisée au droit de la digue avec un sonar latéral.

Les mesures révèlent une tendance générale à la sédimentation depuis 2005. Toutefois la cartographie révèle de l'érosion en pied de digue. Sur les profils en travers, ces érosions semblent de faible ampleur. L'imagerie au sonar latéral semble révéler certains désordres sur la maçonnerie immergée.

Mots-clés

Bathymétrie multifaisceaux
Profils en travers
Digue
Loire
Sonar latéral

Statut de communication de l'étude

Les études réalisées par le Cerema sur sa subvention pour charge de service public sont par défaut indexées et accessibles sur le portail documentaire du Cerema. Toutefois, certaines études à caractère spécifique peuvent être en accès restreint ou confidentiel. Il est demandé de préciser ci-dessous le statut de communication de l'étude.

- Accès libre : document accessible au public sur internet
- Accès restreint : document accessible uniquement aux agents du Cerema
- Accès confidentiel : document non accessible

Cette étude est capitalisée sur la plateforme documentaire [CeremaDoc](https://doc.cerema.fr/depot-rapport.aspx), via le dépôt de document : <https://doc.cerema.fr/depot-rapport.aspx>

Contexte et objet de l'étude

Les mesures réalisées par l'équipe de Surveillance des Ouvrages et des Milieux (SOM) du Cerema sont assurées par des hydrographes dont les compétences sont reconnues auprès de l'Association Francophone d'Hydrographie (AFHy). Les analyses sont assurées par la responsable de l'activité Surveillance des Ouvrages et des Milieux, docteure en morphodynamique fluviale.

Les levés bathymétriques respectent au minimum les recommandations de la classe de produit 1b de la Norme OHI (S-44), norme hydrographique de référence internationale qui décrit les exigences minimales en termes de qualité et d'incertitudes concernant les levés hydrographiques. L'équipe s'appuie à la fois sur le « Guide Du SHOM Pour La Réalisation Des Levés Hydrographiques » (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, 2019) pour la conduite des levés et sur les « Recommandations pour la conduite d'un levé bathymétrique réalisé dans le domaine portuaire, côtier ou fluvial » publiées et tenues à jour par l'AFHy (association pour la promotion de l'hydrographie) dont l'application dans l'ensemble des services doit permettre de donner le statut de règles de l'art à ces recommandations et d'unifier la profession dans ces pratiques. Notamment, les levés bathymétriques respectent, en plus de la classe 1b de la norme S-44, la classe de produit « évolution des fonds 1 » proposée dans les recommandations de l'AFHy, basée sur la Norme OHI (S-44).

Le Cerema est membre de la Société Hydrotechnique de France (SHF), société savante œuvrant pour le partage des connaissances, l'innovation et la prospective dans les domaines des sciences et de l'ingénierie de l'eau assurant à l'équipe SOM un accès à l'évolutions des savoirs scientifiques et techniques dans ses domaines d'expertise. L'équipe est également membre du réseau de professionnels Groupe Doppler Hydrométrie (GDH), lié à la SHF, à l'origine de la publication du guide Mesures hydrologiques par profileur Doppler (*aDcp*)¹ auquel se réfère l'équipe SOM pour les mesures *aDcp*.

¹ Le Coz J., Pierrefeu G., Saysset G., Brochot J.-F., Marchand P. Mesures hydrologiques par profileur Doppler (*aDcp*). Paris : Ed. Quæ, 2008. 155 p. ISBN :978-2-7592-0286-7

Sommaire

1	PRESENTATION DE L'ETUDE	8
1.1	Contexte de l'étude	8
1.2	Description de la zone d'étude	9
1.3	Description de l'ouvrage	11
1.4	Livrables	11
1.4.1	Spécificités et contraintes techniques	11
1.4.2	Liste des pièces du dossier	12
1.4.3	Liste des documents numériques	12
2	CAMPAGNE DE MESURES.....	13
2.1	Méthodologie utilisée.....	13
2.2	Unités et qualité des mesures.....	13
2.2.1	Unités	13
2.2.2	Qualité du système de positionnement	13
2.2.3	Incertitudes des mesures bathymétriques	13
2.3	Descriptif des équipements	14
2.3.1	Moyens nautiques	14
2.3.2	Systèmes de positionnement des mesures	14
2.4	Système d'acquisition hydrographique	15
2.4.1	Mesures bathymétriques	15
2.4.2	Mesures au sonar latéral à balayage	15
2.5	Conditions hydrologiques et hydrauliques du levé	16
3	RÉSULTATS.....	17
3.1	Levé bathymétrique 2022 évolution morphologique 2005-2022	17
3.2	Imagerie au sonar latéral	19
4	SYNTHÈSE ET CONCLUSION	20
5	Annexes	21
5.1	ANNEXE 1 – Carte de situation	22
5.2	ANNEXE 2 – Incertitudes des mesures	24
5.2.1	Chaîne d'acquisition du sondeur multifaisceaux	24
5.3	ANNEXE 3 – Matériel utilisé	25
5.3.1	Moyens nautiques de l'équipe SOM	25
5.3.2	Système de positionnement hydrographique et topographique de l'équipe SOM	26
5.3.3	Systèmes d'acquisition hydrographique de l'équipe SOM.....	27
5.4	ANNEXE 4 – Glossaire des sigles et abréviations	29

Index des illustrations

ILLUSTRATION 1 : SITUATION DU SECTEUR D'ETUDE/OUVRAGE.....	8
ILLUSTRATION 2 : CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE ET LOCALISATION DU LEVE TOPO- BATHYMETRIQUE 2022.	9
ILLUSTRATION 3 : DESCRIPTION DU SECTEUR D'ETUDE.....	10
ILLUSTRATION 4 : ETAT DE VEGETALISATION DU TALUS DE LA DIGUE ET MAÇONNERIE APPARENTE.	11
ILLUSTRATION 5 : CARTOGRAPHIE DES COURBES DE NIVEAU DU LEVE BATHYMETRIQUE AVEC UNE PROGRESSION DES ALTITUDES LES PLUS BASSES EN TEINTE BLEUE VERS LES PLUS ELEVEES EN TEINTE VERTE, ET LOCALISATION DES 4 PROFILS EN TRAVERS 2008 ET 2022.	12
ILLUSTRATION 6 : EMBARCATION PNEUMATIQUE SILLINGER 380UM AVEC LA CHAINE D'ACQUISITION MULTIFAISCEAUX.	14
ILLUSTRATION 7 : SCHEMA DE PRINCIPE DE LA MESURE AVEC UN ECHOSONDEUR MULTIFAISCEAUX.	15
ILLUSTRATION 8 : SCHEMA DE PRINCIPE DE FAUCHEE D'UN SONAR LATERAL.....	15
ILLUSTRATION 9 : LEVE BATHYMETRIQUE 2022 ET LOCALISATION DES ZONES DEPRESSIONNAIRES ET HAUTS FONDS NOTABLES.....	17
ILLUSTRATION 10 : COMPARAISON DES LEVES BATHYMETRIQUES 2005 ET 2022 AVEC LOCALISATION DES ZONES DE DEPOT ET D'EROSION NOTABLES.....	18
ILLUSTRATION 11 : EXTRAIT DES IMAGES AU SONAR LATERAL A BALAYAGE.....	19

Index des tableaux

TABLEAU 1 : INCERTITUDES DE POSITIONNEMENT PLANIMETRIQUE ET ALTIMETRIQUE DES SONDES.	14
TABLEAU 2 : HAUTEURS D'EAU INSTANTANEEES MESUREES A LA STATION DECIZE (K170 0010 10). (SOURCE : WWW.HYDRO.EAUFRANCE.FR, CONSULTATION LE 24/10/2022).....	16
TABLEAU 3 : LOCALISATION ET DATE DES POINTS DE MESURE DES NIVEAUX D'EAU POUR CHAQUE PROFIL TOPOGRAPHIQUE.	16
TABLEAU 4 : LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DES DESORDRES OBSERVES.....	19

1 PRESENTATION DE L'ETUDE

1.1 Contexte de l'étude

La Direction Départementale des Territoires de la Nièvre (DDT 58) a sollicité l'équipe d'hydrographie du Groupe Risque Inondations et Surveillance des Ouvrages et des Milieux de l'Agence de Blois pour effectuer des mesures hydrographiques d'inspection d'une digue de protection contre les crues de la Loire, en contact avec le lit vif du fleuve, sur la commune de Decize (58) : digue dite de la Jonction 3^{ème} section.

Ces mesures actualisent la connaissance de la morphologie et de l'altitude des fonds de la rivière au droit de la digue par rapport aux mesures de 2005 (cartographie des fonds, image acoustique au sonar latéral) et 2008 (profils en travers) réalisées par le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées (LRPC) de Blois du Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement (CETE) Normandie-Centre.

Dans ce contexte, l'équipe d'hydrographie SOM a réalisé au droit de la digue de la Jonction 3^{ème} section à Decize (58) des mesures topographiques et bathymétriques le 19 juillet 2022 et de l'imagerie au sonar latéral le 20 juillet 2022 pour la DDT 58.

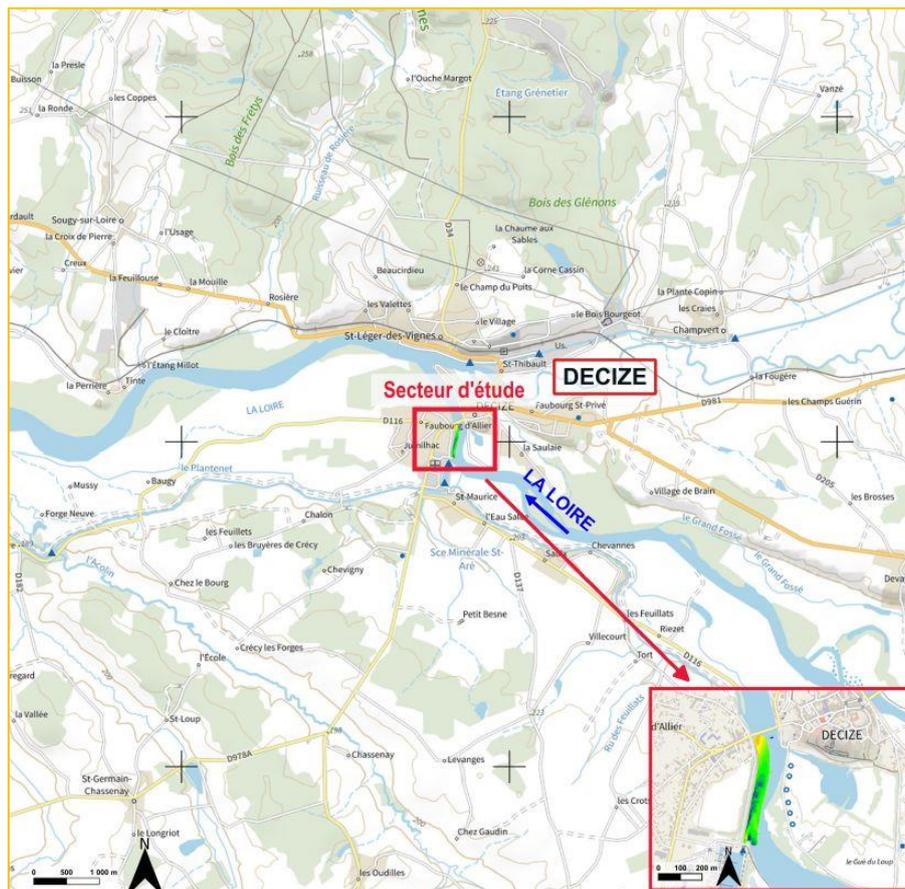


Illustration 1 : situation du secteur d'étude/ouvrage.
(Sources : extrait Annexe 1 – Cerema/NC-AB/GRISOM, IGN)

Un plan de situation (Pièce_A_carte de situation) de la zone du levé est joint en annexe (ANNEXE 1- Carte de situation).

Le présent rapport présente le matériel déployé pour les mesures, la méthodologie suivie et les résultats des mesures, notamment de l'imagerie acoustique au sonar latéral.

1.2 Description de la zone d'étude

Le site d'étude se localise sur la Loire dans une zone de confluence fortement anthropisée (Illustration 2). Dans ce secteur, la Loire conflue actuellement avec l'Aron, affluent rive droite, environ 1 km en aval du site d'étude. Entre le cours principal actuel de la Loire et l'Aron, la Vieille Loire se connecte par l'aval à l'Aron, environ 600 m en amont de la confluence avec le cours principal de la Loire, et semble déconnectée à l'amont. Le canal du Nivernais longe l'Aron en rive droite et se connecte à l'aval au droit de la confluence entre la Loire et l'Aron. En aval de cette confluence, le barrage de Saint-Léger-des-Vignes, implanté sur la largeur totale de la Loire, influence le niveau d'eau en amont.

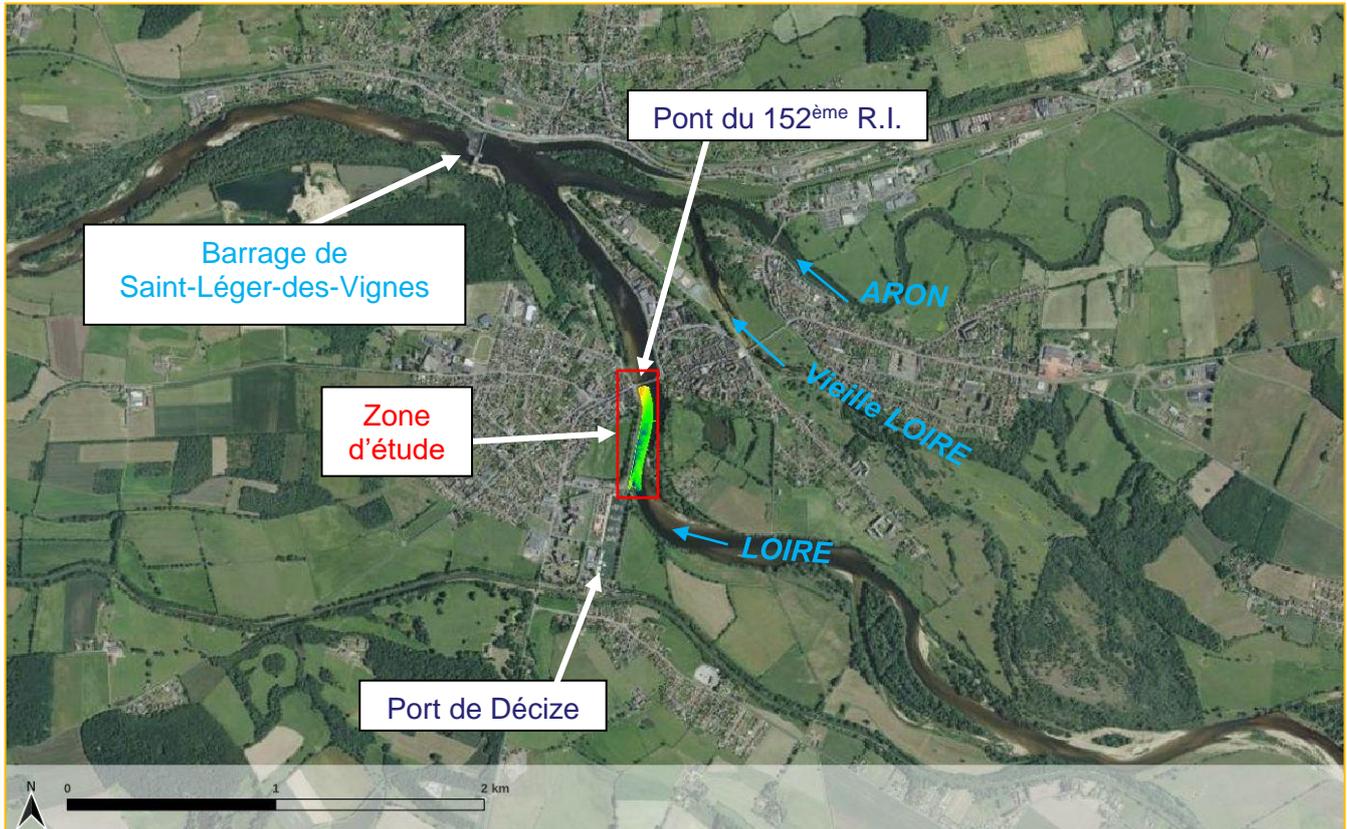


Illustration 2 : contexte hydrographique et localisation du levé topo-bathymétrique 2022.
(Sources : IGN/BD Ortho / Cerema/NC-AB/GRISOM)

Plus spécifiquement, le site d'étude se localise environ 1,5 km en amont du barrage de Saint-Léger-des-Vignes, en rive gauche de la Loire. De plus, il se localise à l'aval de l'extrado d'un méandre de la Loire, dans le prolongement de l'écluse située en rive gauche qui connecte le canal latéral à la Loire à la Loire via le port de Decize. La zone d'étude est délimitée à l'amont par l'écluse et à l'aval par le pont du 152^{ème} R.I.

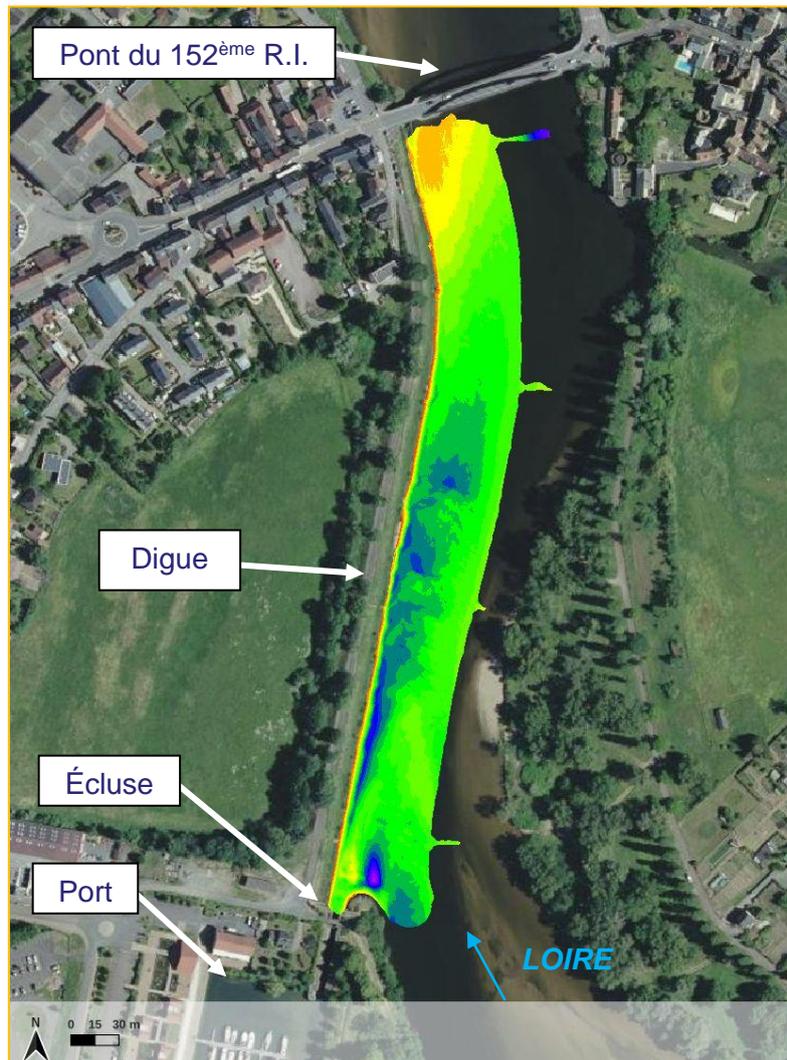


Illustration 3 : description du secteur d'étude.
(Sources : IGN/BD Ortho / Cerema/NC-AB/GRISOM)

1.3 Description de l'ouvrage

La digue, située en rive gauche, mesure 500 m de long. Rectiligne sur la partie amont, avec une orientation nord/nord-est, la digue forme un angle à environ 120 m en amont du pont du 152^{ème} R.I. et son orientation devient nord/nord-ouest. Elle est inclinée d'environ 25° pour une hauteur de 7 m. Elle est surmontée par une route de 2,5 m de largeur, bordée de grands arbres côté val.

Le talus de la digue est végétalisé ainsi que le pied de digue (Illustration 4). La végétation en pied de digue limite l'accès et la visualisation du pied de digue, néanmoins des zones maçonnées en pied de digue apparaissent ainsi que des escaliers partant du haut de la digue et menant vers le pied de digue (Illustration 4).

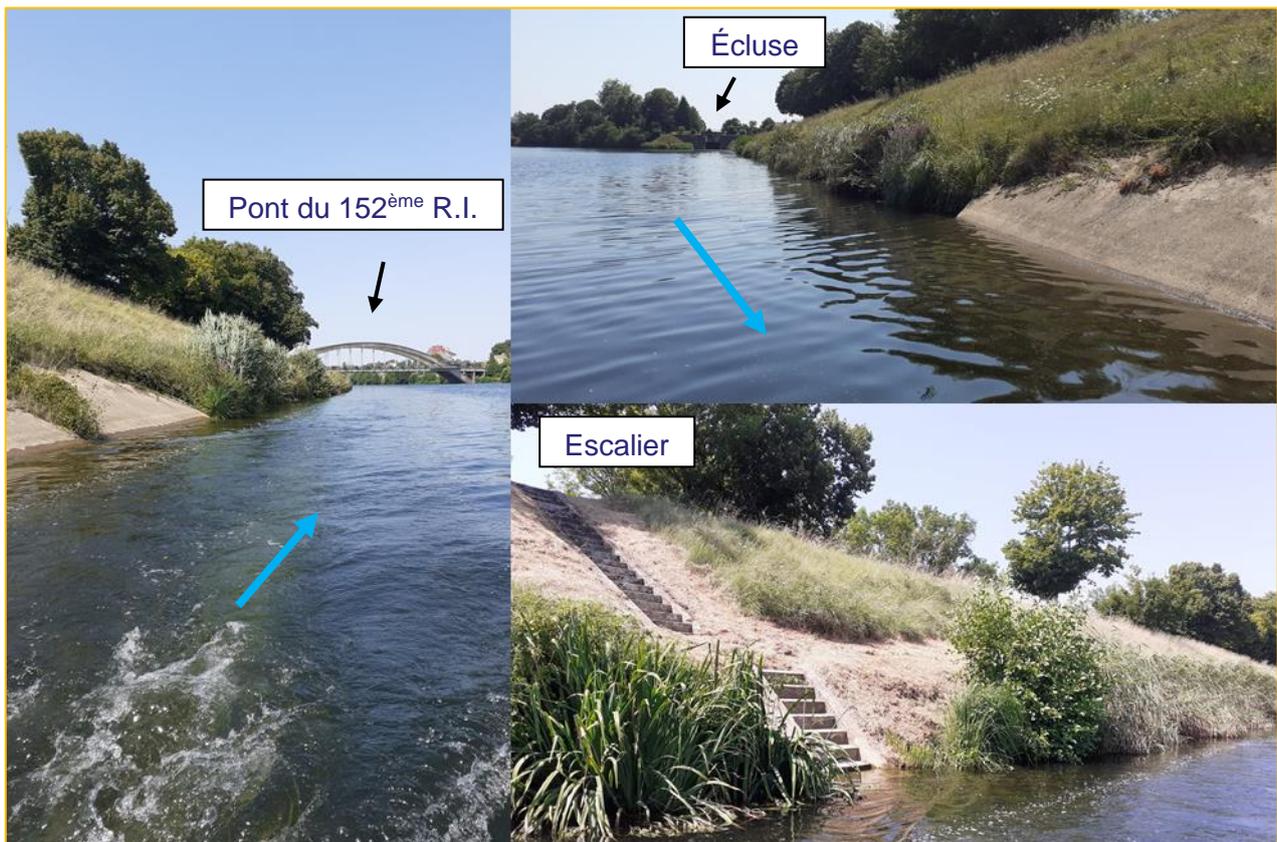


Illustration 4 : état de végétalisation du talus de la digue et maçonnerie apparente.
(Source : Cerema/NC-AB/GRISOM)

1.4 Livrables

1.4.1 Spécificités et contraintes techniques

Les livrables sont établis avec des références planimétriques RGF93-Lambert 93 et des références altimétriques NGF-IGN69.

Le levé bathymétrique a été réalisé sur les 500 m le long de la digue, entre l'écluse à l'amont et le pont à l'aval, et sur une largeur de 50 m. Le levé bathymétrique a été complété par des mesures topographiques du haut de la digue jusqu'au pied de digue selon 4 profils en travers correspondant aux profils levés en 2008. Les points topographiques ont été, dans la mesure du possible, raccordés au levé bathymétrique. Pour chaque profil un niveau d'eau a été levé.

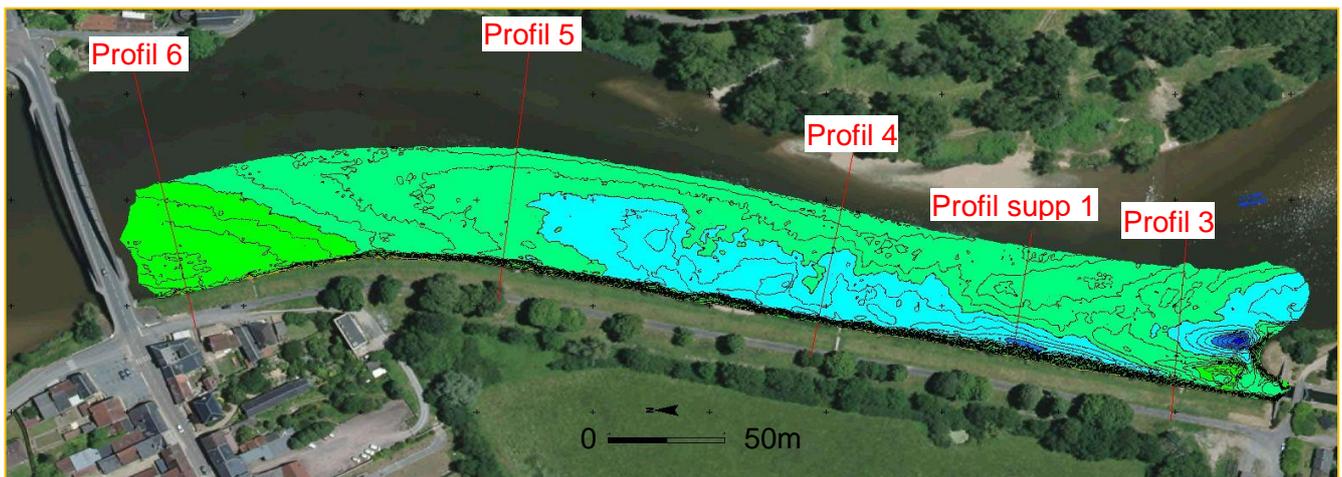


Illustration 5 : cartographie des courbes de niveau du levé bathymétrique avec une progression des altitudes les plus basses en teinte bleue vers les plus élevées en teinte verte, et localisation des profils en travers 2008 et 2022 et du profil supplémentaire.

(Sources : IGN/BD Ortho / Cerema/NC-AB/GRISOM)

A la vue des résultats de la cartographie, un profil complémentaire a été extrait du levé bathymétrique entre le profil 3 et le profil 4. Pour ce profil complémentaire, il n'y a pas de mesures topographiques associés.

Un levé du pied de digue au sonar latéral a également été réalisé sur les 500 m de long de la digue.

1.4.2 Liste des pièces du dossier

Le dossier est constitué de 4 pièces :

- Pièce A : la présente note technique avec la carte de situation géographique au 1/50 000^{ème} du secteur d'étude jointe en Annexe ;
- Pièce B : plan des courbes de niveau et des zones d'altitude issues du levé bathymétrique 2022 à l'échelle 1/500^{ème} ;
- Pièce C : plan de comparaison des courbes de niveau avec le levé bathymétrique de 2005 à l'échelle 1/500^{ème} ;
- Pièce D : 5 profils en travers, dont quatre numérotés de 3 à 6 d'amont en aval (numérotation correspondant aux profils de 2008) et un profil supplémentaire n°1, comparant 2022 à 2008 et 2005.

1.4.3 Liste des documents numériques

Les éléments suivants sont envoyés au format numérique à la DDT58 :

- deux fichiers format PDF de la présente note technique et du plan de situation au 1/50 000^{ème} annexé (Pièce A et Pièce A_Annexe 1) ;
- un fichier pdf de la cartographie 2022 des courbes de niveau ;
- un fichier pdf de la cartographie de la comparaison des courbes de niveau de 2005 et 2022 ;
- un fichier pdf des 5 profils en travers ;
- 3 fichiers de points XYZ (bathymétrie totale et profils [réels et projetés]) ;
- un fichier tif de l'imagerie acoustique au sonar latéral CMAX Cm2 de portée 12,5 m ;
- un dxf de l'étude.

2 CAMPAGNE DE MESURES

2.1 Méthodologie utilisée

Les mesures bathymétriques ont été effectuées à l'aide d'un échosondeur multifaisceaux (SMF), couplé à un célérimètre de coque, piloté par le logiciel de navigation et d'acquisition de données HYPACK/HYSWEEP 2022. Le positionnement du bateau en mode cinématique temps réel (*RTK*) est assuré par un récepteur GNSS (Géolocalisation et Navigation par un Système de Satellites) à 2 antennes permettant également de mesurer le cap du système. Une centrale inertielle mesure l'attitude du système.

Le levé des points topographiques complémentaires a été réalisé avec une canne de topographie équipée d'un récepteur GNSS *RTK*.

L'imagerie acoustique est assurée par un sonar latéral à balayage.

Les mesures ont été réalisées par Mme Coraline WINTENBERGER et MM. Francis GARNIER et Jean-Pierre JACQUES les 19 et 20 juillet 2022.

Le traitement des données a été assuré par M. Francis GARNIER à l'aide de la suite logiciels HYPACK/HYSWEEP 2022 et du logiciel TopStation 2021. Ces opérations ont permis de produire les livrables demandés.

2.2 Unités et qualité des mesures

2.2.1 Unités

Les systèmes de référence des coordonnées géographiques et de nivellements utilisés dans ce rapport sont le système géodésique RGF93 et sa projection associée Lambert 93 pour la planimétrie et le système NGF-IGN69 dans le système géodésique RGF93 pour l'altimétrie, calculé à partir de la grille de conversion entre l'ellipsoïde et le géoïde RAF 20 pour les mesures GNSS.

Les données planimétriques et altimétriques citées dans ce rapport sont exprimées en mètre (m).

2.2.2 Qualité du système de positionnement

Le positionnement des mesures est assuré par le système de Géolocalisation et Navigation par un Système de Satellites (GNSS) provenant des constellations de satellites GPS (constellation de satellites américains) et GLONASS (constellation de satellites russes). Le système GNSS est connecté au réseau de stations d'observations Orphéon permettant la réception et l'intégration de corrections en temps réel (*RTK*) assurant un positionnement centimétrique des mesures.

La qualité du système de positionnement utilisée dans cette étude a été validée par comparaison de nos mesures avec des repères de nivellement IGN situés à proximité de la zone d'étude.

L'hybridation inertielle (couplage centrale inertielle et GNSS *RTK*) assure le positionnement correct des mesures du sondeur multifaisceaux.

La qualification des mesures des sondes bathymétriques, acquises avec un échosondeur multifaisceaux, est assurée par comparaison entre le levé des réguliers (fauchées d'insonification du fond, parallèles aux rives) et le levé de traversiers (fauchées spécifiques, perpendiculaires aux réguliers).

2.2.3 Incertitudes des mesures bathymétriques

Les incertitudes de mesure pour l'intervalle de profondeur du site (0 à 5 m), fonction de la hauteur d'eau au moment du levé, sont données dans le tableau 1.

Tableau 1 : incertitudes de positionnement planimétrique et altimétrique des sondes.

Paramètres	Incertitudes minimum	Incertitudes maximum
Positionnement planimétrique	0,01 m	0,11 m
Positionnement altimétrique	0,06 m	0,06 m

NB : le détail des calculs des incertitudes est décrit en annexe de ce document (ANNEXE 2 – Incertitudes des mesures).

2.3 Descriptif des équipements

2.3.1 Moyens nautiques

Les mesures ont été réalisées depuis l'embarcation pneumatique Sillinger 380UM (ANNEXE 3 – Matériel utilisé) accueillant la chaîne de mesure bathymétrique multifaisceaux (Illustration 6) ou le sonar latéral à balayage.



Illustration 6 : embarcation pneumatique Sillinger 380UM avec la chaîne d'acquisition multifaisceaux.

2.3.2 Systèmes de positionnement des mesures

Le système de positionnement du sondeur multifaisceaux se compose d'un boîtier SBG Splitbox GNSS RTK Trimble BD982 (ANNEXE 3 – Matériel utilisé) auquel sont raccordés :

- deux antennes Trimble Zephyr III (ANNEXE 3 – Matériel utilisé) assurant le cap de l'embarcation ;
- la centrale inertielle SBG Ekinox-U (ANNEXE 3 – Matériel utilisé) permettant d'acquérir les composantes de l'attitude du sondeur.

L'hybridation inertielle, de la centrale et du GNSS, permet d'entretenir la position du système pendant les courtes périodes de masquage, dues à la végétation ou aux ouvrages.

Le récepteur GNSS RTK Trimble R12i (ANNEXE 3 – Matériel utilisé) assure également le positionnement des mesures d'imagerie acoustique au sonar latéral lorsque la réception des signaux des satellites est de bonne qualité.

Les mesures topographiques sont assurées également par le récepteur *Full GNSS RTK Trimble R12i* (ANNEXE 3 – Matériel utilisé) corrigées par le réseau d’augmentation de précision Orphéon.

2.4 Système d’acquisition hydrographique

2.4.1 Mesures bathymétriques

Les mesures bathymétriques multifaisceaux ont été réalisées avec un échosondeur *R2Sonic 2020* (ANNEXE 3 – Matériel utilisé) possédant 256 faisceaux suivant un angle d’ouverture pouvant aller de 10° à 130° (Illustration 7) et une fréquence sélectionnable de 200 kHz à 400 kHz et jusqu’à 700 kHz en mode haute résolution.

Les mesures des faisceaux du sondeur, combinées au déplacement de l’embarcation, engendrent une fauchée qui assure une couverture surfacique de la zone à lever (Illustration 7) avec un grand nombre de points de mesures, permettant d’obtenir une morphologie détaillée du fond.

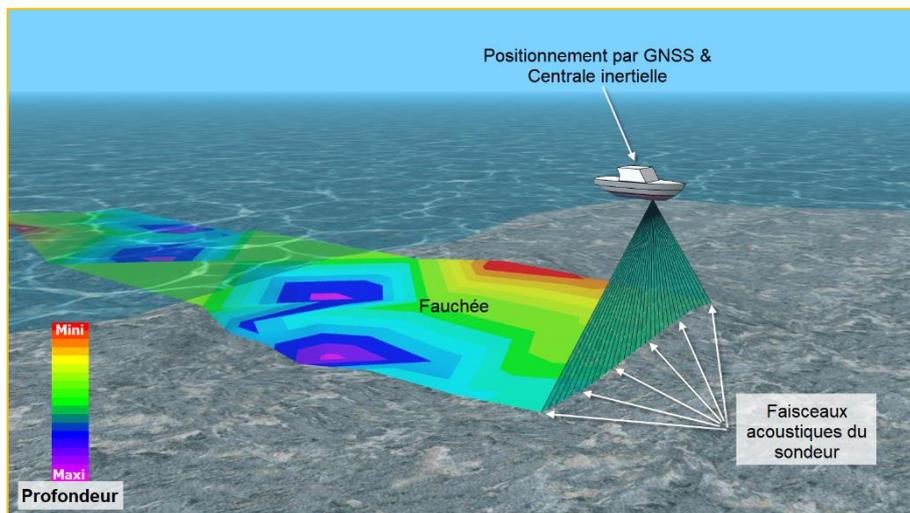


Illustration 7 : schéma de principe de la mesure avec un échosondeur multifaisceaux.
(Source : Cerema/NC-AB/GRISOM)

2.4.2 Mesures au sonar latéral à balayage

Les images acoustiques ont été acquises avec les sonars latéraux à balayage *Tritech StarFish* et *Cmax CM2* (ANNEXE 3 – Matériel utilisé), à l’aide d’ondes acoustiques émises à haute fréquence (1000 kHz) avec une largeur de faisceau horizontale de 0,3°. Ces images sont obtenues en balayant un faisceau acoustique étroit, en incidence rasante sur le fond (Illustration 8). L’écho du signal recueilli au cours du temps, et enregistré latéralement à la direction d’avancée du sonar, constitue, ligne après ligne, une image acoustique du fond.

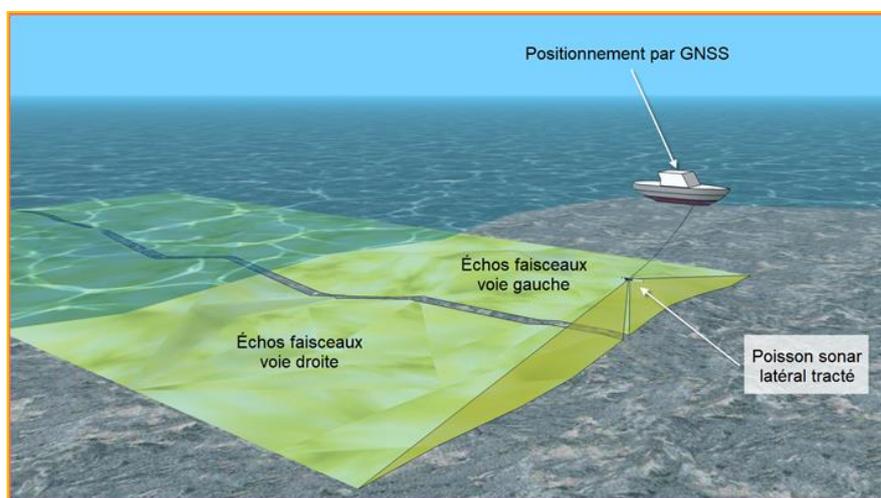


Illustration 8 : schéma de principe de fauchée d’un sonar latéral.
(Source : Cerema/NC-AB/GRISOM)

2.5 Conditions hydrologiques et hydrauliques du levé

La station hydrométrique la plus proche est Decize (code station : K170 0010 10), située sur site, au droit de l'écluse. Cette station mesure les hauteurs d'eau (Tableau 2) mais pas les débits.

Tableau 2 : hauteurs d'eau instantanées mesurées à la station Decize (K170 0010 10). (Source : www.hydro.eaufrance.fr, consultation le 24/10/2022)

Date	Altitude de la référence altimétrique (cote du zéro d'échelle) (IGN69)	Hauteur instantanée minimale journalière (m)	Altitude minimale journalière (m NGF)	Hauteur instantanée maximale journalière (m)	Altitude maximale journalière (m NGF)
19/07/22	186,442 m	1,39 m	187,832 m	1,406 m	187,848 m
20/07/22		1,405 m	187,847 m	1,424 m	187,866 m

Au droit de chaque profil topographique, le niveau d'eau a été mesuré au GNSS RTK.

Tableau 3 : localisation et date des points de mesure des niveaux d'eau pour chaque profil topographique.

Date	N° de profil	Position en Lambert 93	Altitude (m NGF)
19/07/22	3	E = 734811,3 / N = 6636046,5	187,853
19/07/22	4	E = 734839,2 / N = 6636193	187,838
20/07/22	5	E = 734868,8 / N = 6636337	187,892
20/07/22	6	E = 734857,7 / N = 6636470,5	187,879

La station la plus proche mesurant des débits est celle de Gilly-sur-Loire (code station K144 0010 10) qui se localise loin du site, à 50 km en amont. Les débits caractéristiques de la Loire pour cette station sont les suivants (source : www.hydro.eaufrance.fr, consultation le 24/10/2022) :

- module: $129 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$;
- débit d'étiage de fréquence biennale : $23,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$;
- débit de crue de fréquence biennale : $903 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$;
- débit de crue de fréquence décennale : $1500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Le débit moyen journalier le 19 juillet était de $18,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et de $18,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ le 20 juillet.

Ainsi, les mesures hydrographiques ont été réalisées dans un contexte d'étiage avec une variabilité de niveau d'eau entre les deux jours de mesure inférieure à 0,04 m.

3 RÉSULTATS

3.1 Levé bathymétrique 2022 évolution morphologique 2005-2022

Les altitudes du levé bathymétrique sont comprises entre 182,75 m (X : 734833,74 ; Y : 6636022,01) (Zone A – Illustration 9) et n'excèdent pas 188 m

La morphologie générale du lit montre des altitudes plus faibles vers l'amont et vers la rive gauche, côté digue. Les altitudes ont tendance à augmenter vers l'aval et vers la rive droite.

Toutefois, certaines singularités sont notables :

- une zone dépressionnaire localisée à l'aval de la construction matérialisant la séparation entre le chenal de la Loire et le chenal vers l'écluse (Zone A – Illustration 9) ;
- une zone de hauts fonds en aval de l'écluse, avec une cote minimale de 186,67 m (X : 734821,67 ; Y : 6636023,97) (Zone B – Illustration 9).
- une zone dépressionnaire au droit de la digue dans la partie amont avec une cote minimale de 183,68 m (X : 734830.89 ; Y : 6636113.15) (Zone C – Illustration 9).

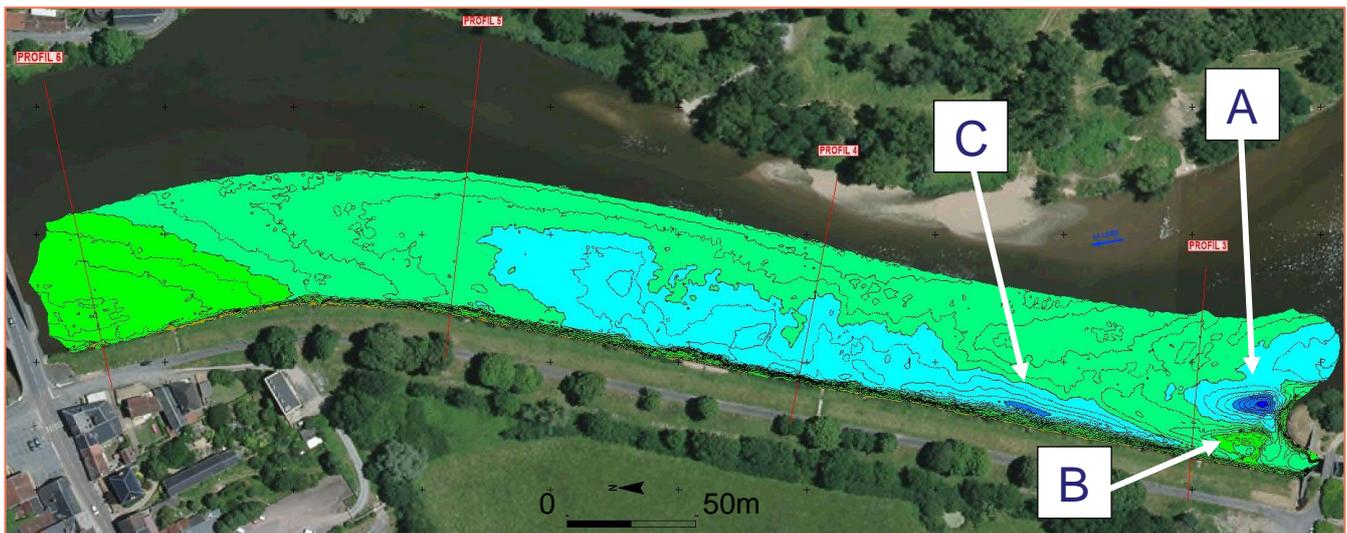


Illustration 9 : levé bathymétrique 2022 et localisation des zones dépressionnaires et hauts fonds notables.
(Sources : IGN/BD Ortho / Cerema/NC-AB/GRISOM)

La carte de comparaison des levés bathymétriques 2005-2022 révèle une tendance générale à la sédimentation depuis 2005 avec des hauteurs de sédiments pouvant atteindre + 1 m et jusqu'à 2 m sur de larges surfaces. Cette sédimentation est particulièrement marquée entre les profils 3 et 4 (Zone A – Illustration 10). Toutefois, au pied de la digue, le long de celle-ci, de l'érosion a été enregistrée avec une intensité majoritairement comprise entre -0,25 m et -0,5 m. Très localement ces hauteurs d'érosion peuvent atteindre entre -0,5 m et -0,75 m (Zone B – Illustration 10).

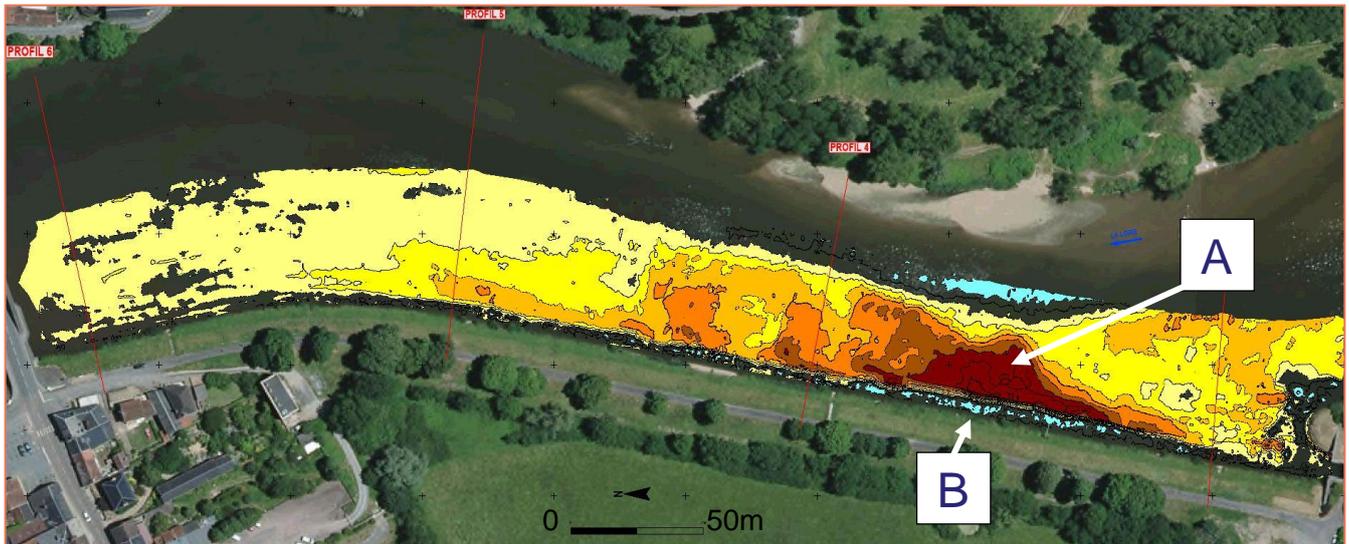


Illustration 10 : comparaison des levés bathymétriques 2005 et 2022 avec localisation des zones de dépôt et d'érosion notables.

(Sources : IGN/BD Ortho / Cerema/NC-AB/GRISOM)

La dépression au droit de la digue (Zone C – Illustration 9) associée à l'érosion en pied de digue nous a conduit à extraire un profil complémentaire, le profil supplémentaire n° 1 (Pièce C) pour vérifier l'ampleur de l'intensité de l'érosion. Le profil ne révèle pas une forte intensité et une forte modification du profil bathymétrique au droit de la digue entre 2005 et 2022. En revanche, une forte sédimentation est enregistrée dans le chenal (Pièce C – Profil supplémentaire n° 1).

Sur les quatre profils en travers P3, P4, P5 et P6, les altitudes de 2005 sont toujours bien en deçà des altitudes de 2008 puis 2022. Sur le profil P3, le fond est relativement plat et symétrique avec peu de variation d'altitude entre 2008 et 2022. Sur le profil 4, la partie rive gauche du chenal s'est sédimentée alors que de l'érosion est survenu en rive droite atténuant ainsi l'asymétrie de la section présente en 2005 avec une profondeur plus marquée en pied de digue. Sur le profil 5, la tendance est identique au profil 4, on note toutefois une forte sédimentation à l'extrémité du profil côté rive droite. Le profil montre peu d'évolution au droit de la digue. La morphologie du chenal est asymétrique mais le thalweg se trouve en rive droite et a eu tendance à se creuser entre 2008 et 2022.

3.2 Imagerie au sonar latéral

Un levé au sonar latéral à balayage a été réalisé sur la totalité de la longueur de la digue. Des désordres et des dégradations des maçonneries semblent apparaître (Illustration 11, Tableau 4).

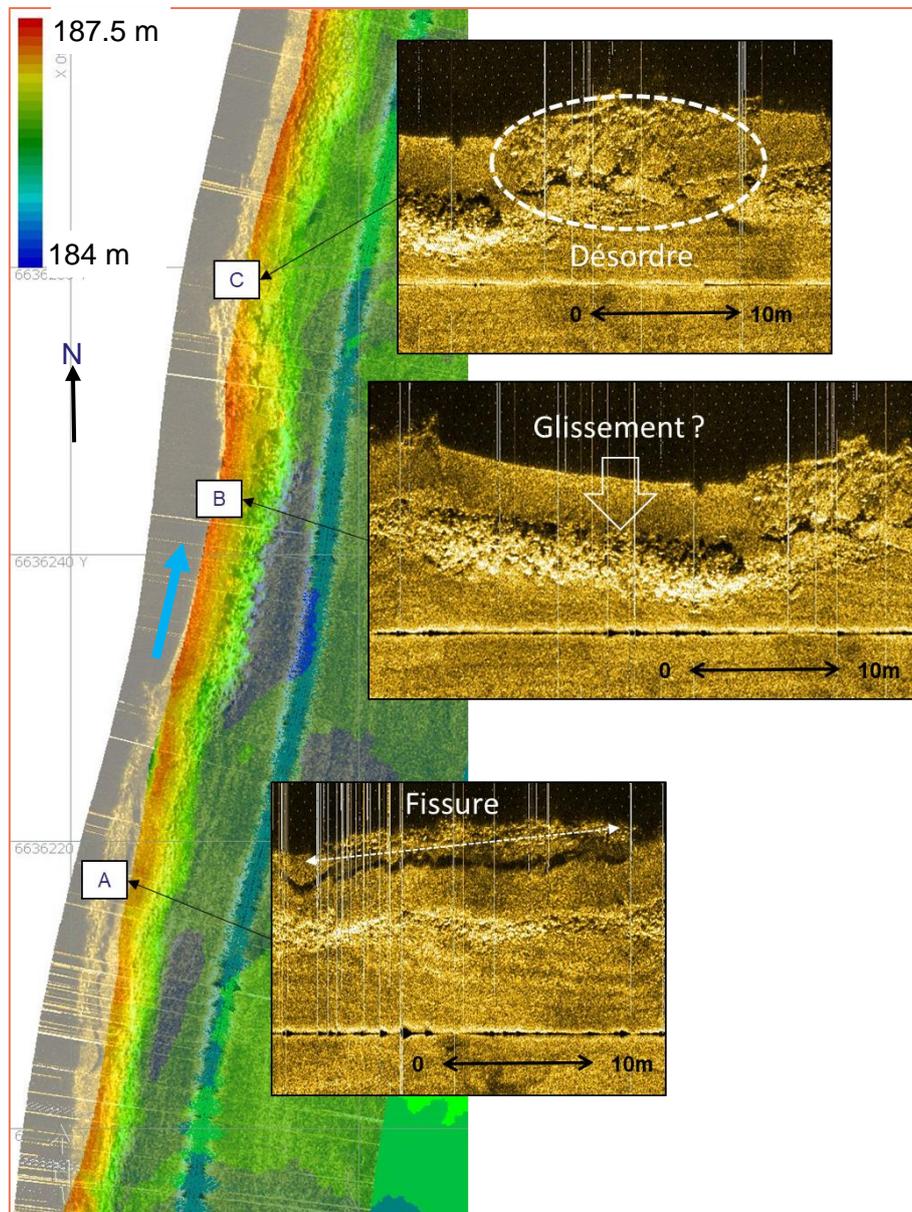


Illustration 11 : extrait des images au sonar latéral à balayage.
(Source : Cerema/NC-AB/GRISOM)

Tableau 4 : localisation géographique des désordres observés.

Nom	Observations	Localisation début	Localisation fin
A	Fissure	X : 734845 ; Y : 6636226	X : 734840 ; Y : 6636203
B	Suspicion de glissement	X : 734850 ; Y : 6636249	X : 734846 ; Y : 6636231
C	Désordre	X : 734853 ; Y : 6636256	

Hormis sur ces secteurs, les images ne semblaient pas présenter de désordres ou discontinuités notables. Par ailleurs, la végétation limitait parfois la visibilité de la digue.

4 SYNTHÈSE ET CONCLUSION

La campagne de mesures hydrographiques 2022 a permis d'actualiser la connaissance des fonds du lit de la Loire au droit de la digue de la Jonction 3^{ème} section.

Le levé bathymétrique révèle une morphologie avec des altitudes plus élevées vers la rive droite et vers l'aval du site. La comparaison du levé bathymétrique de 2005 avec 2022 révèle une tendance à la sédimentation mais une érosion en pied de digue. Cette constatation a conduit à l'extraction d'un profil complémentaire pour vérifier l'ampleur de l'érosion en pied de digue dans le secteur de plus grande profondeur. Les profils en travers ne révèlent pas d'érosion importante en pied de digue. L'asymétrie constatée avec le thalweg au droit de la digue dans la partie amont tend à s'atténuer.

L'imagerie au sonar latéral semble révéler certains désordres sur la maçonnerie immergée avec la matérialisation de discontinuités marquées.

5 ANNEXES

5.1 ANNEXE 1 – Carte de situation

Levé hydrographique 2022 Pièce A : Carte de situation géographique

Échelle : 1/50 000

Mesures des 19 et 20 juillet 2022

Direction Départementale des Territoires de
la Nièvre (DDT58)
Levée de la Jonction 3^{ème} section
Affaire n° 22-NC-0245

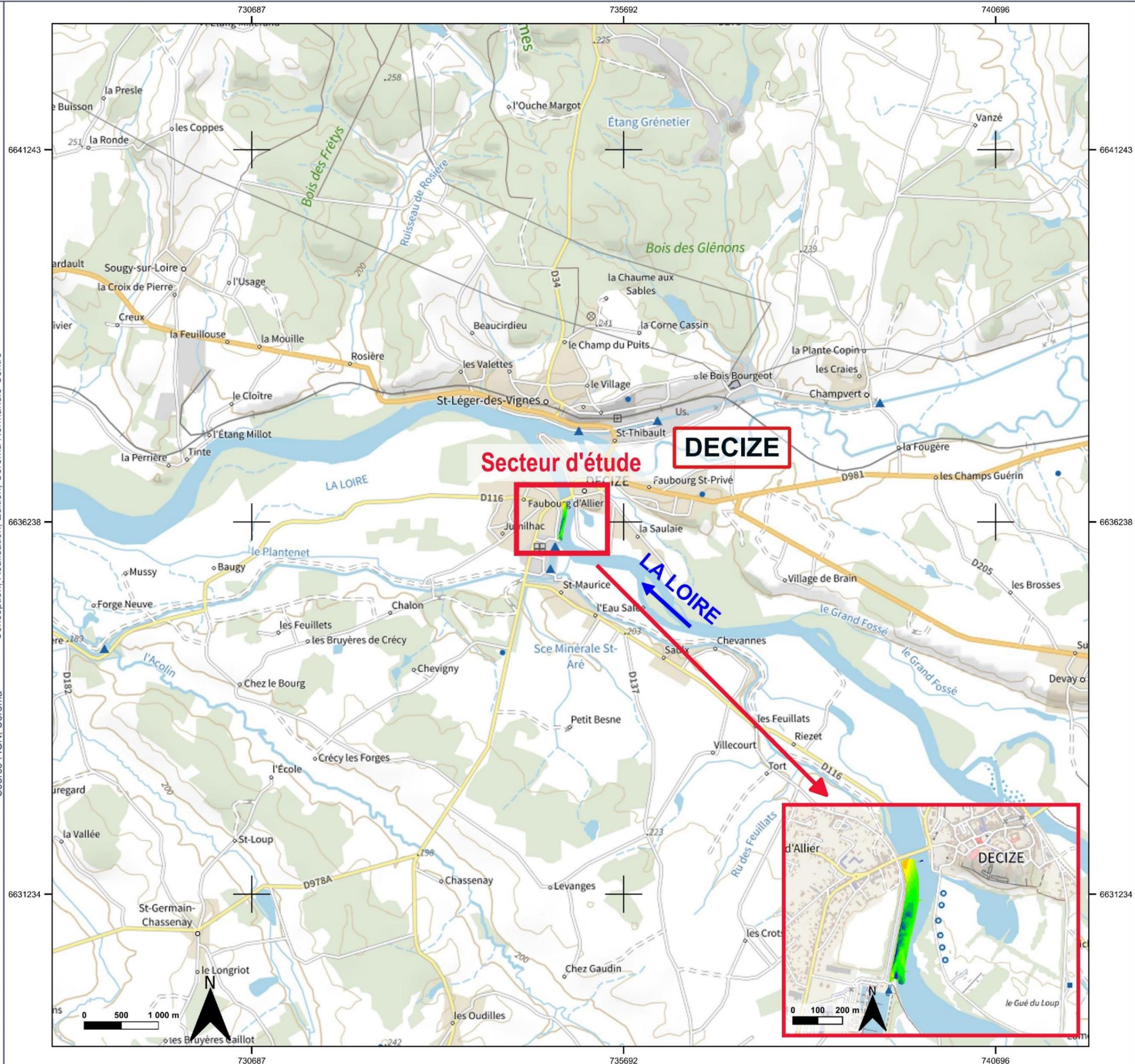
Rivière La Loire
Département de la Nièvre (58)
Commune de Decize

Système géodésique : RGF93
Ellipsoïde associé : IAG – GRS 80
Projection : Lambert 93

Cerema Normandie Centre – Agence de Blois
Groupe Risques Inondations
Surveillance des Ouvrages et des Milieux
11 Rue Laplace – CS 32912 – 41029 Blois Cedex
Tél : +33(0)2 54 55 49 00
Mél : ab.dternc.cerema@cerema.fr

Siège social : Cerema – 25, avenue François Mitterrand
69500 Bron – Tél : +33 (0)4 72 14 30 30

Conception; Réalisation; Edition; Cerema Normandie-Centre
Source : IGN, Cerema



5.2 ANNEXE 2 – Incertitudes des mesures

5.2.1 Chaîne d'acquisition du sondeur multifaisceaux

Les incertitudes des mesures issues des fiches techniques des capteurs, des appareils ou des systèmes de mesure sont données dans le tableau (Tableau 1) suivant :

Tableau 1 : incertitudes des capteurs

Paramètres	Incertitudes
Positionnement planimétrique	0,02 m
Positionnement altimétrique	0,03 m
Cap	0,05°
Roulis	0,05°
Tangage	0,05°
Célérité de coque	0,02 m.s ⁻¹
Profil de célérité	0,15 m.s ⁻¹

Les incertitudes de positionnement des sondes en fonction de la profondeur sont calculées à partir des incertitudes des capteurs et des paramètres relatifs aux conditions d'utilisation sur le chantier. Elles sont calculées en tenant compte des incertitudes des mesures d'attitude, de la célérité, du positionnement planimétrique, de l'altitude, du pilonnement et des incertitudes horizontales et verticales des faisceaux du sondeur.

Un coefficient d'incertitude fixe et un coefficient pour le calcul de l'incertitude variable en fonction de la profondeur sont calculés pour le plan horizontal et le plan vertical suivant les préconisations du SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine). Ces coefficients permettent le calcul des incertitudes des mesures à partir des formules suivantes :

- Formule de l'incertitude horizontale

$$f_{\text{horizontale}} (P) = \sqrt{X^2 + (Y \times P)^2} \quad (1)$$

Avec :

X = Coefficient d'incertitude fixe
Y = Coefficient d'incertitude variable
P = Profondeur

- Formule de l'incertitude verticale

$$f_{\text{verticale}} (P) = \sqrt{A^2 + (B \times P)^2} \quad (2)$$

Avec :

A = Coefficient d'incertitude fixe
B = Coefficient d'incertitude variable
P = Profondeur

Les coefficients d'incertitude calculés, fixes et variables, sont donnés dans le tableau (Tableau 2) ci-dessous :

Tableau 2 : coefficients pour le calcul des incertitudes

Paramètres	Coefficients incertitude fixe	Coefficients incertitude variable
Positionnement planimétrique	X = 0,01	Y = 2,11 %
Positionnement altimétrique	A = 0,06	Y = 0,19 %

Les incertitudes de mesure calculées pour l'intervalle de profondeur mesuré sur site (0 à 5 m), sont données dans le tableau (Tableau 3) ci-dessous :

Tableau 3 : incertitudes de positionnement planimétrique et altimétrique

Paramètres	Incertitude minimum	Incertitude maximum
Positionnement planimétrique	0,01 m	0,11 m
Positionnement altimétrique	0,06 m	0,06 m

5.3 ANNEXE 3 – Matériel utilisé

5.3.1 Moyens nautiques de l'équipe SOM

Moyens nautiques	Description	Mis en œuvre	Positionnement	Photo	Moyen Utilisé
Sillinger 380UM	Embarcation pneumatique à faible tirant d'eau capable d'accueillir l'ensemble de la chaîne d'acquisition. Equipée d'un moteur de 20cv elle est idéale pour l'intervention sur des cours d'eau aux possibilités de manœuvre restreintes.	-Bathymétrie -Imagerie acoustique -Courantométrie	-GNSS -Optique		<input checked="" type="checkbox"/>
Linder Arkip 460	Embarcation à coque aluminium capable d'accueillir l'ensemble de la chaîne d'acquisition. Equipée d'un moteur de 50cv, elle est utilisée pour l'intervention sur de large cours d'eau et pour des conditions de débits conséquentes.	-Bathymétrie -Imagerie acoustique -Courantométrie	-GNSS -Optique		<input type="checkbox"/>
Drone Zboat 1800	Drone nautique télépiloté capable de réaliser des mesures bathymétriques et courantométriques à distance. Maniable et réactif, il est idéal pour l'acquisition de mesures en eaux peu profondes ou pour des zones dangereuses. Il est également déployé lors d'une absence de mise à l'eau adaptée aux embarcations.	-Bathymétrie monofaisceau -Courantométrie	-GNSS -Optique		<input type="checkbox"/>
Oceanscience River Boat	Trimaran à coque polyéthylène. Il est dédié à l'utilisation de courantomètre ADCP. Il est déployé soit à couple d'une embarcation soit tracté à la main depuis un ouvrage. Il dispose d'un très faible tirant d'eau et réduit les perturbations hydrauliques au niveau du courantomètre.	-Courantométrie	-GNSS		<input type="checkbox"/>

5.3.2 Système de positionnement hydrographique et topographique de l'équipe SOM

Matériel	Mode de positionnement	Description	Mise en œuvre	Matériel associé	Photo	Moyen Utilisé
Trimble R6	GNSS	Système de positionnement par satellite (GPS + GLONASS + GALILEO) RTK (en temps réel) via le réseau Orphéon. Orphéon est un système de corrections GNSS basé sur un réseau de stations terrestres de références réparties sur le territoire dont chaque position est connue avec précision. Il permet un positionnement centimétrique en temps réel.	-Topographie -Bathymétrie -Courantométrie	-Carnet de terrain Trimble TSC2/3		<input type="checkbox"/>
Trimble R7	GNSS		-Bathymétrie -Courantométrie	-Carnet de terrain Trimble TSC2/3 -Antenne Zephyr		<input type="checkbox"/>
Trimble R12i	GNSS		-Topographie -Bathymétrie -Courantométrie	-Carnet de terrain Trimble TSC5		<input checked="" type="checkbox"/>
Leica Viva GS14	GNSS		-Topographie	-Carnet de terrain Leica CS10		<input type="checkbox"/>
Carte Trimble BD982	GNSS		-Bathymétrie multifaisceaux	--SplitBox SBG Systems Antenne Zéphyr 3 x2		<input checked="" type="checkbox"/>
Station totale Trimble S6	Optique	Le système de positionnement optique est utilisé lorsque le positionnement GNSS n'est pas disponible où, lorsque la précision du signal n'est pas assez élevée en raison de phénomènes de masques (e.g. ouvrage, végétation). Le système de positionnement GNSS est utilisé pour la mise en station de cet instrument.	-Topographie	-Carnet de terrain Trimble TSC2		<input type="checkbox"/>
Station totale Trimble S5	Optique		-Bathymétrie -Imagerie acoustique	-Carnet de terrain Trimble TSC3		<input type="checkbox"/>
Centrale inertielle SBG Ekinox-U	Inertiel	La centrale inertielle intègre les mouvements du sondeur pour calculer son attitude (roulis, tangage, pilonnement et cap), sa vitesse linéaire et sa position en temps réel. Elle permet l'hybridation de la trajectoire de l'embarcation sous un ouvrage.	-Bathymétrie multifaisceaux	-SplitBox SBG Systems -Sondeur R2Sonic Sonic2020 -Célérimètre Valport mini SVS		<input checked="" type="checkbox"/>

5.3.3 Systèmes d'acquisition hydrographique de l'équipe SOM

Matériel	Type de mesures	Description	Logiciel/matériel associé	Photo	Moyen Utilisé
Odom EchoTrac MKIII	Bathymétrie monofaisceau	Le sondeur monofaisceau est un sondeur bathymétrique disposant d'un unique faisceau d'émission acoustique. Le signal acoustique est émis vers le nadir du sondeur par un transducteur à large ouverture et réfléchi par le fond; L'écho est reçu par le même transducteur. Connaissant la célérité du son dans l'eau, la mesure du temps de parcours permet de d'obtenir la profondeur minimale entre l'émetteur/récepteur et le fond.	-Logiciel de navigation et d'acquisition Hypack -Positionnement optique ou GNSS		<input type="checkbox"/>
Odom EchoTrac E20	Bathymétrie monofaisceau	Le sondeur monofaisceau est un sondeur bathymétrique disposant d'un unique faisceau d'émission acoustique. Le signal acoustique est émis vers le nadir du sondeur par un transducteur à large ouverture et réfléchi par le fond; L'écho est reçu par le même transducteur. Connaissant la célérité du son dans l'eau, la mesure du temps de parcours permet de d'obtenir la profondeur minimale entre l'émetteur/récepteur et le fond.	-Logiciel de navigation et d'acquisition Hypack -Positionnement optique ou GNSS		<input type="checkbox"/>
R2Sonic 2020	Bathymétrie multifaisceaux	Le sondeur multifaisceaux est un sondeur bathymétrique disposant d'un grand nombre de faisceaux d'émission acoustique répartis le long d'une fauchée perpendiculaire à l'axe du navire. Cette fauchée d'émission permet une couverture surfacique de la zone à lever. Le grand nombre de points acquis permet ainsi d'obtenir la morphologie détaillée du fond. L'attitude du sondeur doit être connue en permanence avec précision et ces systèmes sont nécessairement couplé à une centrale inertielle.	-Logiciel de navigation et d'acquisition Hypack -Positionnement GNSS -Centrale inertielle (SBG Ekinox) -Célérimètre (Mini SVS)		<input checked="" type="checkbox"/>
Sonar latéral C-Max2	Imagerie acoustique	Le sonar à balayage latéral réalise, à l'aide d'ondes acoustiques émises à haute fréquence, des images détaillées de la réflectivité des fonds et de la partie immergée de structures et d'ouvrages. Ces images sont obtenues en balayant un faisceau acoustique étroit, en incidence rasante sur le fond. Ce signal, enregistré latéralement à la direction d'avancée du sonar, constitue, ligne après ligne, une image acoustique du fond.	-Logiciel de navigation et d'acquisition Hypack -Positionnement optique ou GNSS		<input checked="" type="checkbox"/>
Sonar latéral Tritech StarFish	Imagerie acoustique	Le sonar à balayage latéral réalise, à l'aide d'ondes acoustiques émises à haute fréquence, des images détaillées de la réflectivité des fonds et de la partie immergée de structures et d'ouvrages. Ces images sont obtenues en balayant un faisceau acoustique étroit, en incidence rasante sur le fond. Ce signal, enregistré latéralement à la direction d'avancée du sonar, constitue, ligne après ligne, une image acoustique du fond.	-Logiciel de navigation et d'acquisition Hypack -Positionnement optique ou GNSS		<input checked="" type="checkbox"/>

<p>Teledyne RiverRay ADCP</p>	<p>Courantométrie Jaugeage</p>	<p>Le courantomètre ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) est un appareil basé sur l'effet Doppler capable d'enregistrer un profil des vitesses et des directions du courant. Il comporte des transducteurs piézoélectriques qui transmettent et reçoivent les signaux acoustiques. Il permet d'étudier la structure des écoulements sur une section de rivière et de calculer des débits.</p>	<p>-Logiciel d'acquisition WinRiverII -Positionnement GNSS</p>		<input type="checkbox"/>
<p>Moulinet hydrométrique</p>	<p>Courantométrie</p>	<p>Courantomètre constitué d'une hélice que l'on place dans le courant, plus le courant est rapide plus celle-ci tourne vite. À chaque tour l'hélice produit une impulsion électrique, qui est transmise dans un câble, puis comptabilisée. Cet instrument permet la mesure précise de la vitesse instantanée d'un courant.</p>	<p>N/A</p>		<input type="checkbox"/>
<p>CTD SONTEK CastAway</p>	<p>Mesure de célérité, etc.</p>	<p>Le célérimètre permet de mesurer la vitesse de propagation du son dans la colonne d'eau. Dans la chaîne d'acquisition multifaisceaux il mesure la célérité de surface à proximité du sondeur et utilise cette donnée pour la formation des faisceaux. Cette technique est indispensable à la bonne exploitation des mesures acoustiques.</p>	<p>N/A</p>		<input checked="" type="checkbox"/>

5.4 ANNEXE 4 – Glossaire des sigles et abréviations

Cerema	Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
GDH	Groupe Doppler Hydrométrie
IGN	Institut national de l'information géographique et forestière
RI	Risques Inondations
SOM	Surveillance des Ouvrages et des Milieux
SHF	Société Hydrotechnique de France
SHOM	Service Hydrographique et Océanographique de la Marine
<hr/>	
<i>aDcp</i>	<i>acoustic Doppler current profiler</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	<i>Global Positioning System (Système Américain)</i>
GLONASS	<i>Global Navigation Satellite System (Système Russe)</i>
MNT	Modèle Numérique de Terrain
NGF	Nivellement Général de la France
PI	Passage Inférieur
RAF	Référence des Altitudes Françaises
RGF	Réseau Géodésique Français
RTK	<i>Real Time Kinematics</i>
SMF	Sondeur Multifaisceaux
SVP	<i>Sound Velocity Profiler</i>
SVS	<i>Sound Velocity Sensor</i>



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Cerema

CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN