

Maîtrise d'œuvre pour la renaturation du fleuve côtier de la Sélune et la réalisation d'aménagements intervenant dans le cadre de la restauration de la continuité écologique

PHASE DIAGNOSTIC

Thématique : Hydromorphologie et suites de la gestion
sédimentaire

Rapport MBS/MOER/DIAG/HY01 – Version 0 – Mars 2024

Fiche signalétique

CLIENT

Préfecture - DDTM de la Manche

477 Boulevard de la Dollée
BP 60355 - 50015 Saint-Lô Cedex

Victor PICCIOLI
Responsable Mission Barrages Sélune
02.33.77.52.26 – 07.72.29.69.89
victor.piccioli@manche.gouv.fr

SITE

Vallée de la Sélune
Périmètre de l'ancienne retenue de Vezins

PROJET - RAPPORT

Directeur de projet Antea Group
mandataire

Nicolas MOURY

Chef de projet Vert Latitude

Jean-Baptiste FLICHY

Chef de projet TBM Environnement

Catherine JUHEL

Implantation Antea Group
chargée du suivi du projet

Implantation de Caen
02.31.46.12.46
secretariat.caen@anteagroup.fr

Rapport Antea Group n°

125486

Rapport Vert Latitude n°

-

Rapport TBM Environnement n°

-

Version n°

0

Nom

Fonction

Bénédicte MANGEZ

Cheffe de projet en hydraulique

Rédaction

Nicolas LAM

Ingénieur d'étude en hydraulique

Approbation

Nicolas MOURY

Directeur de projet

Suivi des modifications

Version	Date	Modifications
0	Mars 2024	Version initiale

Sommaire

1	Rappel du contexte et des objectifs	8
2	Données d'entrée.....	9
2.1	Hydrologie et hydraulique des cours d'eau.....	9
2.2	Transport sédimentaire	10
2.3	Données topographiques	14
3	Analyse hydraulique.....	15
3.1	Contexte.....	15
3.2	Analyse hydrologique	17
3.2.1	<i>Données</i>	<i>17</i>
3.2.2	<i>Estimation des débits caractéristiques.....</i>	<i>18</i>
3.2.3	<i>Définition des hydrogrammes</i>	<i>28</i>
3.3	Construction du modèle hydraulique	29
3.3.1	<i>Présentation du logiciel de modélisation</i>	<i>30</i>
3.3.2	<i>Hypothèses de modélisation</i>	<i>30</i>
3.3.3	<i>Calage</i>	<i>34</i>
3.4	Analyse des résultats de la modélisation hydraulique	34
4	Analyse hydromorphologique	41
4.1	Typologie de la Sélune sur le secteur d'étude.....	41
4.2	Evolution générale en plan	44
4.3	Evolution du profil en long de la Sélune et de ses affluents	49
4.4	Evolution sédimentaire de la Sélune	53
4.5	Conclusions	54

Liste des figures

FIGURE 1 - EXTRAITS DE L'ANALYSE HYDROLOGIE DU RAPPORT ARTELIA DE JUILLET 2013	9
FIGURE 2 - DEBITS DE POINTE DES CRUES HISTORIQUES A VEZINS (EGIS, 2012)	10
FIGURE 3 - PROFILS EN LONGS ETABLIS DANS L'ETUDE ARTELIA DE DECEMBRE 2013	11
FIGURE 4 - EXEMPLE DE CARTOGRAPHIE REPORTANT LA GRANULOMETRIE DES SEDIMENTS DE LA SELUNE (IDRA 2012)	12
FIGURE 5 - CARTOGRAPHIE DE LA MOBILITE DU LIT DE LA SELUNE (RAPPORT D'ETAPE 2014)	13
FIGURE 6 – SITE DE VEZINS AVANT ET APRES EFFACEMENT DU BARRAGE (SOURCE : GEOPORTAIL.GOUV.FR, 2023)	15
FIGURE 7 - BASSINS VERSANTS DES COURS D'EAU RETENUS POUR LA MODELISATION HYDRAULIQUE (SOURCE : ANTEA GROUP, 2023)	16
FIGURE 8 - STATIONS DE MESURE DISPONIBLES SUR LA SELUNE ET SON BASSIN VERSANT (SOURCE : ANTEA GROUP, 2023)	18
FIGURE 9 - SOUS-BASSINS VERSANTS DE LA SELUNE ENTRE LA CONFLUENCE AVEC L'AIRON ET LE BARRAGE DE VEZINS (SOURCE : ANTEA GROUP, 2023)	19
FIGURE 10 - OCCUPATION DES SOLS A L'ECHELLE DES BASSINS VERSANTS DE LA SELUNE (SOURCE : CORINE LAND COVER ET ANTEA GROUP)	22
FIGURE 11 - DEBITS MOYENS MENSUELS DE LA SELUNE ESTIMES AU BARRAGE DE VEZINS (1990-2022) (SOURCE : HYDRO.EAUFRANCE.FR)	27
FIGURE 12 - DEBITS CLASSES DE LA SELUNE ESTIMES AU BARRAGE DE VEZINS (1990-2022) (SOURCE : HYDRO.EAUFRANCE.FR)	27
FIGURE 13 - FORME THEORIQUE DES HYDROGRAMMES DE CRUE	28
FIGURE 14 - HYDROGRAMMES D'ENTREE DU MODELE HYDRAULIQUE – EXEMPLE DE LA CRUE CINQCENTENNALE (SOURCE : ANTEA GROUP, 2023)	29
FIGURE 15 - EMPRISE DU MODELE HYDRAULIQUE (SOURCE : ANTEA GROUP)	31
FIGURE 16 - EXEMPLE DE PROFIL EN TRAVERS DU LIT DE LA SELUNE LEVE PAR UN GEOMETRE (SOURCE : TOPDESS)	32
FIGURE 17 - EXEMPLE D'OUVRAGE (ANCIEN PONT DE LA REPUBLIQUE) LEVE PAR UN GEOMETRE (SOURCE : TOPDESS)	32
FIGURE 18 - EXTRAIT DES DONNEES LIDAR DU LIT MAJEUR DE LA SELUNE (SOURCE : IGN)	33
FIGURE 19 - MAILLAGE AU DROIT DE LA CONFLUENCE ENTRE LA SELUNE ET L'YVRANDE (SOURCE : ANTEA GROUP)	33
FIGURE 20 - PROFILS EN LONG DE LA SELUNE POUR LES DIFFERENTS DEBITS ETUDIES (SOURCE : ANTEA GROUP, 2024)	35
FIGURE 21 - PROFILS EN LONG DE L'YVRANDE POUR LES DIFFERENTS DEBITS ETUDIES (SOURCE : ANTEA GROUP, 2024)	36
FIGURE 22 - PROFILS EN LONG DU LAIR POUR LES DIFFERENTS DEBITS ETUDIES (SOURCE : ANTEA GROUP, 2024)	37
FIGURE 23 - EXTRAIT DE LA CARTE DES ZONES INONDABLES POUR Q100 SUR LE SECTEUR DES BIARDS (SOURCE : ANTEA GROUP, 2024)	38
FIGURE 24 - CARTE DES HAUTEURS D'EAU AU DROIT DE L'ANCIEN BARRAGE DE VEZINS POUR UNE Q100 (SOURCE : ANTEA GROUP, 2024)	39

FIGURE 25 - CARTE DES HAUTEURS D'EAU AU DROIT DE L'ANCIEN BARRAGE DE VEZINS POUR UNE Q500 (SOURCE : ANTEA GROUP, 2024)	39
FIGURE 26 - CARTE DES HAUTEURS D'EAU POUR Q5 ET Q500 SUR L'YVRANDE (SOURCE : ANTEA GROUP)	40
FIGURE 27 - SECTORISATION DE LA ZONE D'ETUDE (SOURCE : ANTEA GROUP)	41
FIGURE 28 - PENTES DU PROFIL EN LONG DE LA SELUNE (SOURCE : ANTEA GROUP).....	41
FIGURE 29 - DECOMPOSITION GENERALE DU PROFIL EN LONG DE LA SELUNE (SOURCE : ANTEA GROUP)	42
FIGURE 30 - SEUILS DE PUISSANCE SPECIFIQUE (D'APRES BROOKES, 1988 IN WASSON ET AL., 1998).....	43
FIGURE 31 - TRACE DE LA SELUNE ET DE SES AFFLUENTS – CARTE D'ETAT MAJOR 1820-1886 (SOURCE : IGN) ..	45
FIGURE 32 - TRACE DE LA SELUNE ET DE SES AFFLUENTS – PHOTO AERIENNE 1977 (SOURCE : IGN).....	46
FIGURE 33 - TRACE DE LA SELUNE ET DE SES AFFLUENTS – PHOTO AERIENNE 2023 (SOURCE : GOOGLE).....	47
FIGURE 34 - VUE AERIENNE DE L'YVRANDE EN AVAL DU PONT DES BIARDS (SOURCE : IGN)	48
FIGURE 35 - COMPARAISON DES LITS DE L'YVRANDE AVAL ENTRE 1977 ET 2023 (SOURCE : IGN ET GOOGLE) ..	48
FIGURE 36 - COMPARAISON DES PROFILS EN LONG DE LA SELUNE (SOURCE : ARTELIA 2013 ET TOPDESS 2023)	50
FIGURE 37 - COUPE TYPE DES GABIONS MIS EN PLACE DANS LE LIT DE L'YVRANDE (SOURCE : VINCI CONSTRUCTIONS 2017)	51
FIGURE 38 - PROFIL EN LONG DE L'OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT DU CHEMIN DES BIARDS PAR L'YVRANDE (SOURCE : TOPDESS, 2023)	51
FIGURE 39 - EROSION DE BERGE A L'EXUTOIRE DE L'ANCIEN PONT DE L'YVRANDE (SOURCE : TOPDESS ET ANTEA GROUP)	52
FIGURE 40 - EXEMPLE DE PETIT SEUIL EN ENROCHEMENTS (SOURCE : MANUEL DE RESTAURATION HYDROMORPHOLOGIQUE DE COURS D'EAU – FICHE 6).....	54

Liste des tableaux

TABLEAU 1 - COEFFICIENTS DE MONTANA CALCULES A LA STATION DE SAINT-HILAIRE-DU-HARCOUËT (50), SUR LA PERIODE 1998-2021 (SOURCE : METEO-FRANCE)	17
TABLEAU 2 - PERIODES DE RETOUR USUELLES DE LA SELUNE A SAINT-AUBIN-DE-TERREGATTE (DONNEES RELEVES DU 04/07/1990 AU 05/11/2023) (SOURCE : BANQUE HYDRO, 2023).....	17
TABLEAU 3 - CARACTERISTIQUES DES SOUS-BASSINS VERSANTS DE LA SELUNE ET DE SES AFFLUENTS (SOURCE : ANTEA GROUP, 2023)	20
TABLEAU 4 - COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENT PAR TYPE DE SURFACE (SOURCE : ANTEA GROUP, 2023)	21
TABLEAU 5 - DEBITS DE POINTE RETENUS POUR CHAQUE BASSIN VERSANT (SOURCE : ANTEA GROUP)	25
TABLEAU 6 - STATIONS HYDROMETRIQUES A PROXIMITE DU SITE D'ETUDE (SOURCE : HYDRO.EAUFRANCE.FR)	26
TABLEAU 7 - DEBITS D'ETIAGE, QC50% ET MODULE POUR LA SELUNE ET SES AFFLUENTS (SOURCE : ANTEA GROUP)	28
TABLEAU 8 - COEFFICIENTS DE MANNING-STRICKLER RETENUS EN FONCTION DES SECTEURS (SOURCE : ANTEA GROUP)	34
TABLEAU 9 - ENERGIE POTENTIELLE DE LA SELUNE PAR TRONÇON (SOURCE : ANTEA GROUP)	43

Liste des annexes

Annexe I : Cartographie des hauteurs d'eau de la Sélune et de ses affluents pour une crue décennale

Annexe II : Cartographie des hauteurs d'eau de la Sélune et de ses affluents pour une crue biennale

Annexe III : Comparaison des profils en travers de récolement VCT (217-2019) et des profils en travers TOPDESS (2023)

1 Rappel du contexte et des objectifs

Les travaux d'effacement mis en œuvre par l'État sur le barrage de Vezins et sa retenue ont comporté 2 phases principales :

- Phase de gestion sédimentaire de la retenue de Vezins avant et pendant la vidange, avec la réalisation d'un profil d'« équilibre » du lit mineur de la Sélune visant à limiter drastiquement les flux de sédiments qui pourraient impacter les milieux aval : cette phase s'est déroulée jusqu'à la fin 2019 (hormis le recouvrement des sédiments pollués de l'Yvrande qui a été réalisé au printemps 2021) ;
- Phase de démantèlement du barrage de Vezins : cette phase s'est terminée fin 2020 (hors canal évacuateur de crue dont le comblement reste à mettre en œuvre).

La renaturation constitue la phase finale de l'opération d'effacement. C'est une étape charnière qui vient à la fois parachever les travaux de gestion sédimentaire et de démantèlement du barrage et initier la phase de suivi et de gestion post-travaux. L'objectif général est d'assurer le plus rapidement possible le retour de la Sélune et de ses affluents dans des conditions hydromorphologiques permettant la reconquête du milieu par les espèces attendues dans les milieux cours d'eau, d'éviter la reprise des sédiments accumulés au fond de la retenue par les crues du cours d'eau et d'engager, dans certaines limites, les actions de développement et de gestion future de la vallée.

Sur le volet « Hydrologie et suites de la gestion sédimentaire », les points à traiter suivant les articles 3.4.1 et 4.1.4 du programme de maîtrise d'œuvre relatif à la renaturation sur le site de Vezins sont les suivants :

- **Etat des lieux à la suite des travaux de gestion sédimentaire**, avec l'analyse des enjeux hydromorphologique liés aux écarts entre le projet de gestion sédimentaire et les travaux réalisés, et les évolutions du milieu.
- **Modélisations de crues**, intégrant les ouvrages présents dans le cours d'eau, afin d'apprécier les incidences de ces phénomènes et d'alimenter les réflexions sur l'aménagement des berges et leur végétalisation.
- **Etude des flux sédimentaires** transitant par le site de Vezins.
- **Analyse des enjeux liés à la mobilité du cours d'eau**, avec notamment les impacts liés aux ouvrages anciens.
- **Analyse des nouveaux écoulements** et des enjeux associés vis-à-vis de la biodiversité, de la gestion agricole et des aménagements de mise en valeur du territoire.
- **Diagnostic hydrologique et sédimentaire** permettant de vérifier le bon fonctionnement du lit dérivé de l'Yvrande.

L'objectif est d'identifier les éventuels dysfonctionnements résiduels dans l'état actuel et de définir les éventuels travaux complémentaires à mener en conséquence lors de la phase de renaturation pour redonner à la rivière un fonctionnement hydromorphologique le plus favorable possible.

Pour ce qui concerne plus spécifiquement les crues, conformément aux objectifs précédemment fixés pour la phase de gestion sédimentaire, l'objectif est de dimensionner le lit majeur pour contenir un débit de crue décennale et le lit mineur pour contenir un débit de crue biennal.

2 Données d'entrée

2.1 Hydrologie et hydraulique des cours d'eau

Une étude hydraulique a été menée par le cabinet ARTELIA en juillet 2013 dans le cadre du démantèlement des barrages (étude 4-53-1336-Etude hydraulique.pdf). Cette étude avait pour but de définir l'impact du curage de la Sélune suivant 2 scénarii de curage. L'étude s'est appuyée sur une modélisation hydraulique 1D menée avec le logiciel ISIS. En l'absence de topographie de la Sélune dans le fond des plans d'eau, le modèle a été construit sur la base de plans anciens du lit mineur de la Sélune et sur une bathymétrie de 2011.

Cette étude explicite les débits de crues décennaux et centennaux de la Sélune en plusieurs points du bassin versant et de l'Airon ainsi que les hydrogrammes de crues historiques.

Les débits de pointe des hydrogrammes d'entrée du modèle hydraulique seront donc les suivants :

- $Q_{10} = 76 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{100} = 155 \text{ m}^3/\text{s}$

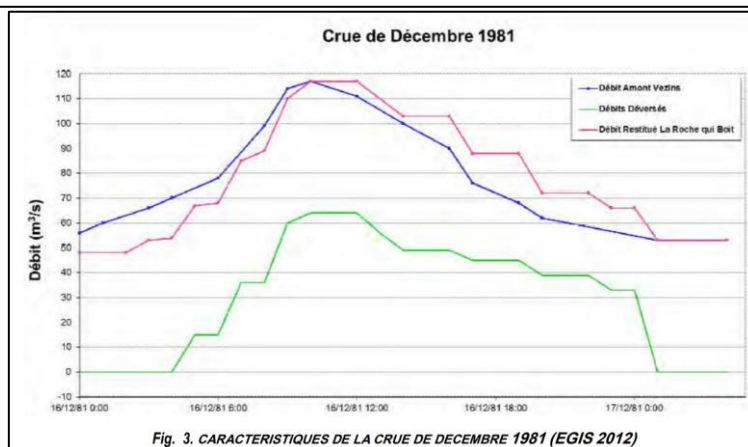


Figure 1 - Extraits de l'analyse hydrologie du rapport ARTELIA de juillet 2013

Les affluents n'ont pas été intégrés. La modélisation a conduit à tracer les profils en long de la Sélune pour les différents scénarii de curage et de dépôt de sédiments. Même si ces lignes d'eau ne sont pas à considérer telles quelles du fait de l'imprécision de la topographie et de l'évolution du lit de la Sélune depuis les démantèlements, l'étude permet d'avoir un point de comparaison pour le calage du modèle hydraulique.

Les données hydrologiques précédentes sont reprises et complétées dans le dossier Loi sur l'Eau, plus spécifiquement dans l'état initial réalisé par ARTELIA en 2014 (2_Etat initial-ind-a5.pdf). L'étude fournit les caractéristiques hydrologiques (débits moyens interannuels, étiage, débits spécifiques et débits de crues (Q_2 , Q_5 , Q_{10} , Q_{20} et Q_{50}) pour la Sélune et l'Airon. Toutefois, les affluents ne sont pas mentionnés.

Une étude hydraulique a été menée par EGIS en novembre 2012 pour réaliser une expertise du rôle des barrages lors des crues de la Sélune (étude EGIS expertise sur le rôle des barrages de la Sélune lors de crues 2012.pdf). Comme dans les documents cités précédemment, cette étude présente une analyse des débits de crues et historiques de la Sélune uniquement. Elle s'appuie sur d'autres études, réalisées entre autres par EDF (étude hydrologique de 2004).

■ Historiques des plus grosses crues connues à Vezins.

Date de la crue	Débit de pointe entrant	Débit maximum sortant
7 janvier 1968	155	155
16 novembre 1974	110	100
17 décembre 1979	95	95
15 janvier 1981	85	76
16 décembre 1981	117	117
16 décembre 1982	90	90
14 février 1990	140	125
23 janvier 1995	123	NC
8 novembre 2000	125	125
13 novembre 2000	123	123

Figure 2 - Débits de pointe des crues historiques à Vezins (EGIS, 2012)

L'analyse est complétée par l'analyse pluviométrique des événements et l'analyse des marées pour la partie aval.

Les données hydrologiques existantes concernent uniquement la Sélune et l'Airon. Dans le cadre de l'étude, elles permettront toutefois d'évaluer les données hydrologiques pour les affluents et nouveaux axes d'écoulement.

2.2 Transport sédimentaire

En décembre 2013, le cabinet ARTELIA a mené une étude de transport solide sur la Sélune dans le cadre des études liées au démantèlement des barrages (étude 4-53-1336-Transport solide-b-ac annexes_dec2013.pdf). Cette étude permet d'établir un état zéro du transport solide de la Sélune depuis l'amont des retenues jusqu'à la baie du Mont-Saint-Michel. Elle s'appuie sur des données topographiques de profils en travers hors retenues pour l'amont et l'aval et sur la bathymétrie des retenues pour le lit mineur de la Sélune en amont des barrages. Un profil en long de l'évolution historique du lit a été établi : cf. figure 3.

La dynamique fluviale de la Sélune a été étudiée avec l'identification des zones d'érosion et de dépôt des sédiments. L'analyse s'appuie sur l'évaluation de la puissance spécifique du cours d'eau par tronçon. Par ailleurs, une analyse granulométrique a été réalisée. Elle s'appuie aussi sur les données de l'étude IDRA de 2012 (cf. figure 4). La majorité des sédiments accumulés dans les retenues correspondent à des matériaux fins à très fins (2 - 63 µm). Des dépôts sédimentaires s'observaient en amont de la retenue de Vezins pour la Sélune et ses affluents principaux (Yvrandre, Lair et Isolant) du fait du ralentissement des écoulements.

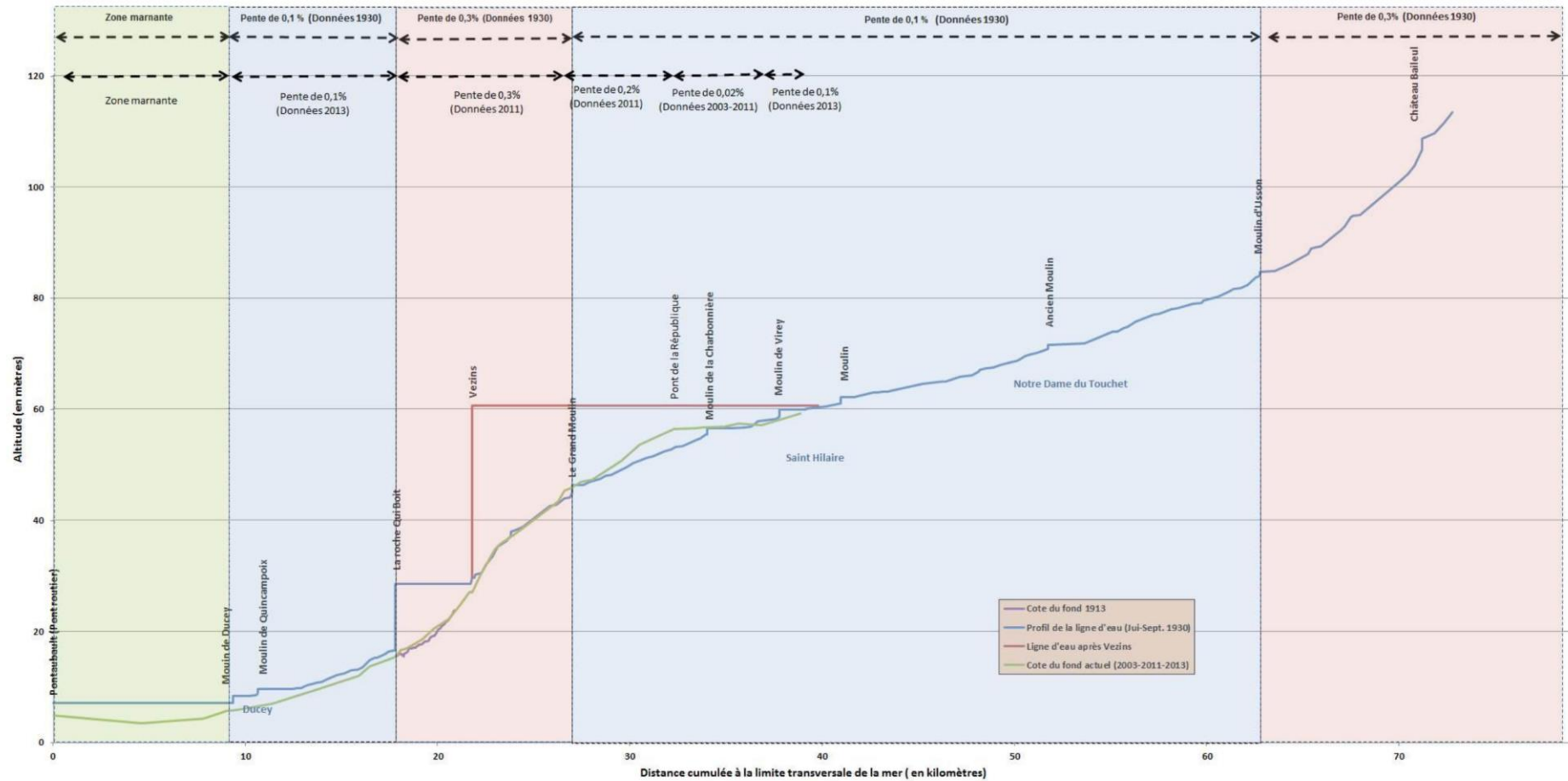


Fig. 1. PROFIL EN LONG HISTORIQUE

Figure 3 - Profils en longs établis dans l'étude ARTELIA de décembre 2013



Figure 4 - Exemple de cartographie reportant la granulométrie des sédiments de la Sélune (IDRA 2012)

Enfin, une analyse des profils type de la Sélune, hors retenue, a été faite pour définir les faciès d'écoulement (mouille, chenal lotique, radier). Les études d'ARTELIA et d'IDRA permettent de faire un état zéro de l'évolution sédimentaire de la Sélune, en particulier sur les tronçons hors retenues et d'avoir un état des lieux granulométrique.

En 2014, le rapport d'étape annuel – programme Sélune – Phase Pré-arasement, permet de compléter l'état zéro avec une analyse de la géomorphologie dynamique de la rivière. Ce rapport s'appuie sur une analyse granulométrique des sédiments fins (< 5 mm) et grossiers (> 5 mm), sur l'évolution du profil en long et sur l'étude de mobilité en plan du lit de la Sélune.

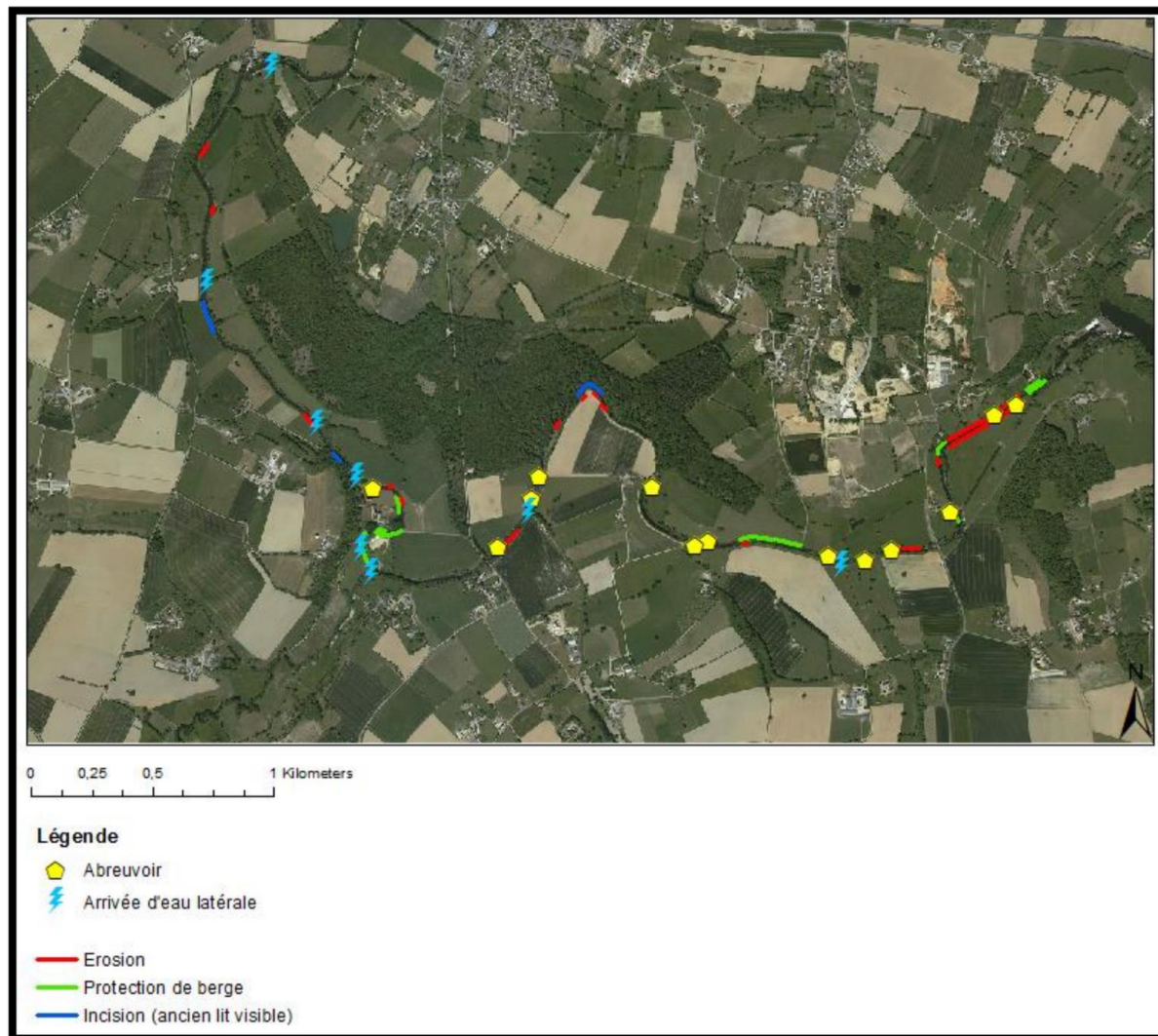


Figure 30 : Cartographie des érosions de berges, des secteurs d'incisions du lit et des abreuvoirs

Figure 5 - Cartographie de la mobilité du lit de la Sélune (rapport d'étape 2014)

Le suivi effectué par AQUABIO en 2018 et 2019 s'intéresse quant à lui à l'évolution des profils en travers et en long et de la granulométrie de la Sélune dans le cadre des vidanges de Vezins et de la Roche Qui Boit.

Cette analyse est complétée par une analyse sur le temps long s'appuyant sur des données géologiques et des analyses cartographiques. Ce rapport s'appuie sur les données établies sur le rapport de l'année 2013.

2.3 Données topographiques

Dans le cadre du récolement des travaux de gestion sédimentaire achevés en 2019 pour l'effacement du barrage de Vezins, un relevé de profils en travers des lits mineurs et majeurs de la Sélune post-travaux a été réalisé par l'entreprise Vinci Construction Terrassement.

Suite aux travaux de démantèlement, un plan de récolement a été effectué par l'entreprise Charier en 2020 au droit de l'ancien barrage. Ce plan permet de connaître la topographie du site (Sélune et ses abords) après démantèlement.

Des plans de récolement ont été réalisés par EDF en 2022 pour les casiers de dépôts sédimentaires réalisés suite à l'effacement du barrage de la Roche Qui Boit.

Enfin, des données topographiques ont été acquises entre juillet et novembre 2023 par l'entreprise TOPDESS, missionnée par la maîtrise d'ouvrage sur la base du cahier des charges établi par la maîtrise d'œuvre pour les besoins de la présente mission.

3 Analyse hydraulique

3.1 Contexte

La Sélune est un cours d'eau d'une longueur d'environ 90 km qui prend sa source à Saint-Cyr-du-Bailleul et se jette dans la baie du Mont-Saint-Michel. Ses principaux affluents sur le secteur d'étude sont l'Airon et le Lair en rive gauche, ainsi que l'Yvrande et l'Isolant en rive droite.

La vallée avait été aménagée dans les années 1930 pour la production d'hydroélectricité. Le barrage de Vezins a été démantelé en 2019-2020 afin de restaurer la continuité écologique du cours d'eau.



Figure 6 – Site de Vezins avant et après effacement du barrage (source : Geoportail.gouv.fr, 2023)

Les bassins versants principaux pris en compte dans l'étude sont ceux de l'Isolant, de l'Yvrande, du Lair et de la Sélune, avec plusieurs sous-bassins versants. Les figures suivantes présentent les bassins et sous-bassins versants étudiés.

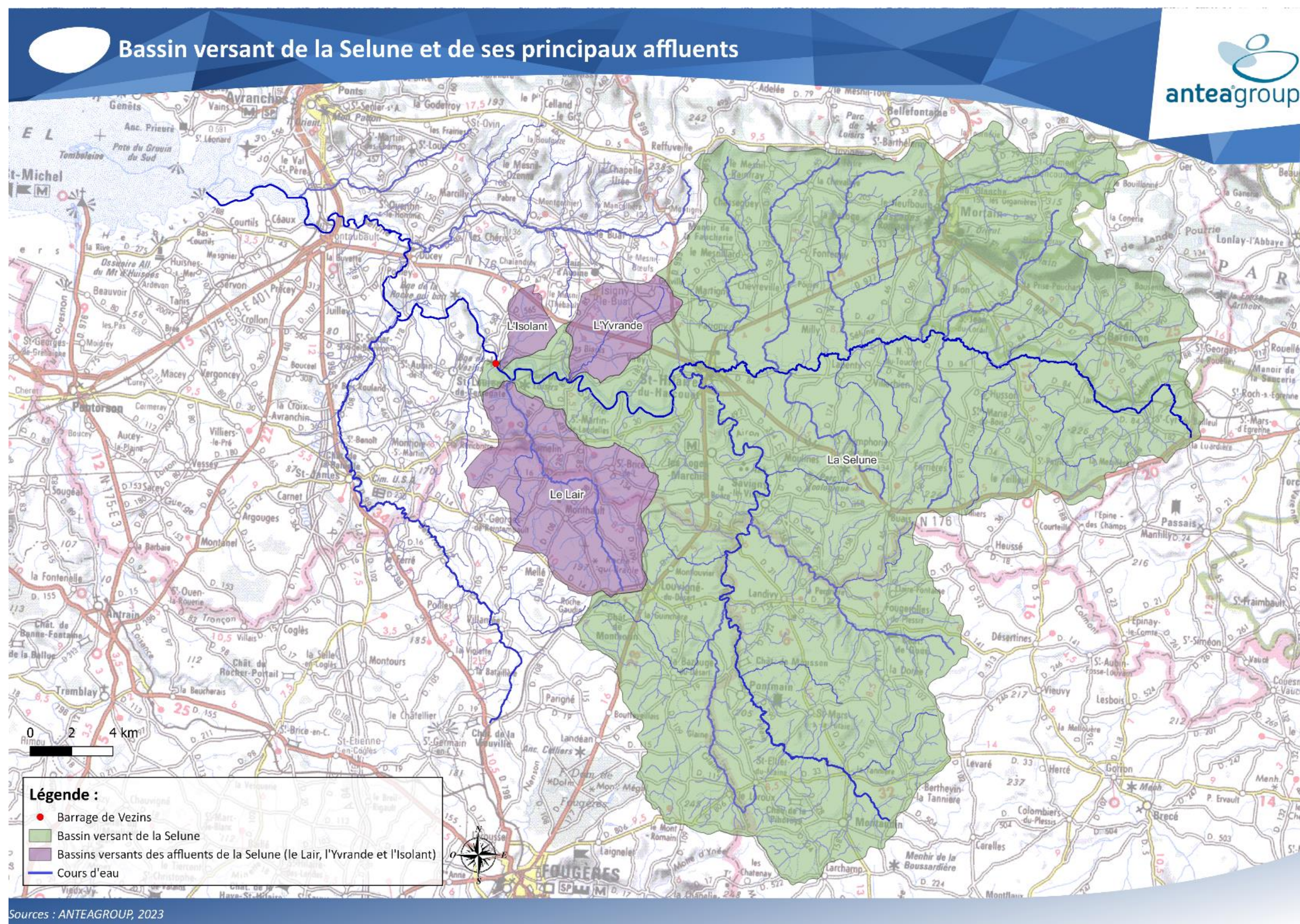


Figure 7 - Bassins versants des cours d'eau retenus pour la modélisation hydraulique (source : Antea Group, 2023)

3.2 Analyse hydrologique

3.2.1 Données

3.2.1.1 Données météorologiques

Pour mener l'analyse hydrologique, nous nous sommes appuyés sur les données météorologiques calculées par Météo France à la station de Saint-Hilaire-du-Harcouët (50).

A cette station, sont estimés les coefficients de Montana, qui permettent pour une durée de pluie donnée et une période de retour, d'estimer la lame d'eau précipitée ou l'intensité de pluie. Ces coefficients sont calculés sur la base des chroniques de pluies passées.

	Coefficients de Montana		T = 5 ans	T = 10 ans	T = 20 ans	T = 30 ans	T = 50 ans	T = 100 ans
Intensité [mm/h]	6min à 3h	a	240	278	310	326	343	364
		b	0.622	0.612	0.598	0.588	0.573	0.552
	2h à 12h	a	360	484	626	723	865	1085
		b	0.707	0.729	0.745	0.754	0.766	0.78
	6h à 48h	a	412	564	772	930	1165	1586
		b	0.73	0.753	0.779	0.795	0.814	0.842
	Coefficients de Montana		T = 5 ans	T = 10 ans	T = 20 ans	T = 30 ans	T = 50 ans	T = 100 ans
Hauteur [mm]	6min à 3h	a	4.0	4.6	5.2	5.4	5.7	6.1
		b	0.622	0.612	0.598	0.588	0.573	0.552
	2h à 12h	a	6.0	8.1	10.4	12.1	14.4	18.1
		b	0.707	0.729	0.745	0.754	0.766	0.78
	6h à 48h	a	6.9	9.4	12.9	15.5	19.4	26.4
		b	0.73	0.753	0.779	0.795	0.814	0.842

Tableau 1 - Coefficients de Montana calculés à la station de Saint-Hilaire-du-Harcouët (50), sur la période 1998-2021 (source : Météo-France)

3.2.1.2 Données hydrologiques

La station hydrométrique de Saint-Aubin-de-Terregatte (code station I922 1020) relève des informations sur la Sélune depuis le 04/07/1990 et constitue la station de la Banque HYDRO la plus proche de la zone d'étude sur la Sélune. La surface du bassin versant de la Sélune mesurée par la station est de 769,5 km². Les périodes de retour usuelles sont affichées dans le tableau suivant :

Période de retour	Débit estimé [m ³ /s]	Intervalle de confiance à 95%
Quinquennale sèche (QMNA5)	5,7	[0 ; 3,36]
Module	9,37	-
Biennale	49,4	[43,3 ; 55,9]
Quinquennale	66,6	[57,2 ; 77,7]
Décennale	78	[65,2 ; 92,8]
Vicennale	89	[73,6 ; 107]
Cinquantennale	103	[84,1 ; 126]

Tableau 2 - Périodes de retour usuelles de la Sélune à Saint-Aubin-de-Terregatte (données relevées du 04/07/1990 au 05/11/2023) (source : Banque HYDRO, 2023)

Au-delà des stations hydrométriques, il existe un réseau de stations SHYREG, gérées par l'INRAE, sur les cours d'eau non jaugés pour lesquels il n'existe pas de données de débit mesurées. Pour ces stations, l'INRAE estime les débits pour différentes périodes de retour de 2 à 1000 ans.

Dans le cas de la Sélune, il existe plusieurs stations SHYREG sur la Sélune et ses affluents (Yvrande, Airon, Isolant).

Ces données permettent de comparer les débits obtenus par les calculs ci-après avec les débits estimés au droit des stations SHYREG.

La carte ci-dessous localise les différentes stations SHYREG et de la banque HYDRO.

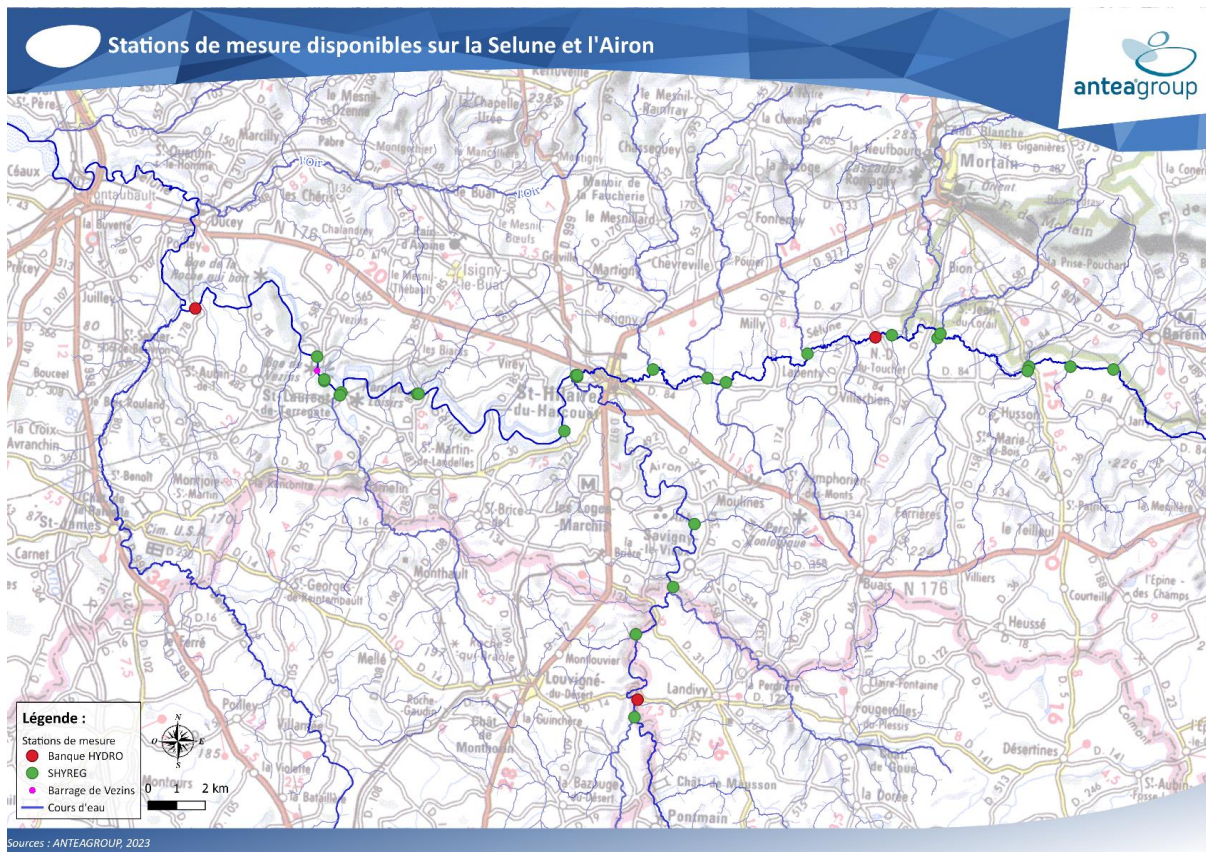


Figure 8 - Stations de mesure disponibles sur la Sélune et son bassin versant (source : Antea Group, 2023)

3.2.2 Estimation des débits caractéristiques

3.2.2.1 Détermination des bassins versants

Plusieurs bassins versants ont été considérés :

- Les bassins versants principaux, décrits en Figure 7. Il s'agit des bassins versants de la Sélune, de l'Yvrande, de l'Isolant et du Lair qui seront modélisés par la suite ;
- Les sous-bassins versants correspondants aux différents axes de ruissellement drainés par le linéaire de Sélune concerné par l'étude. La carte ci-après présente le découpage en sous-bassins versants considéré.

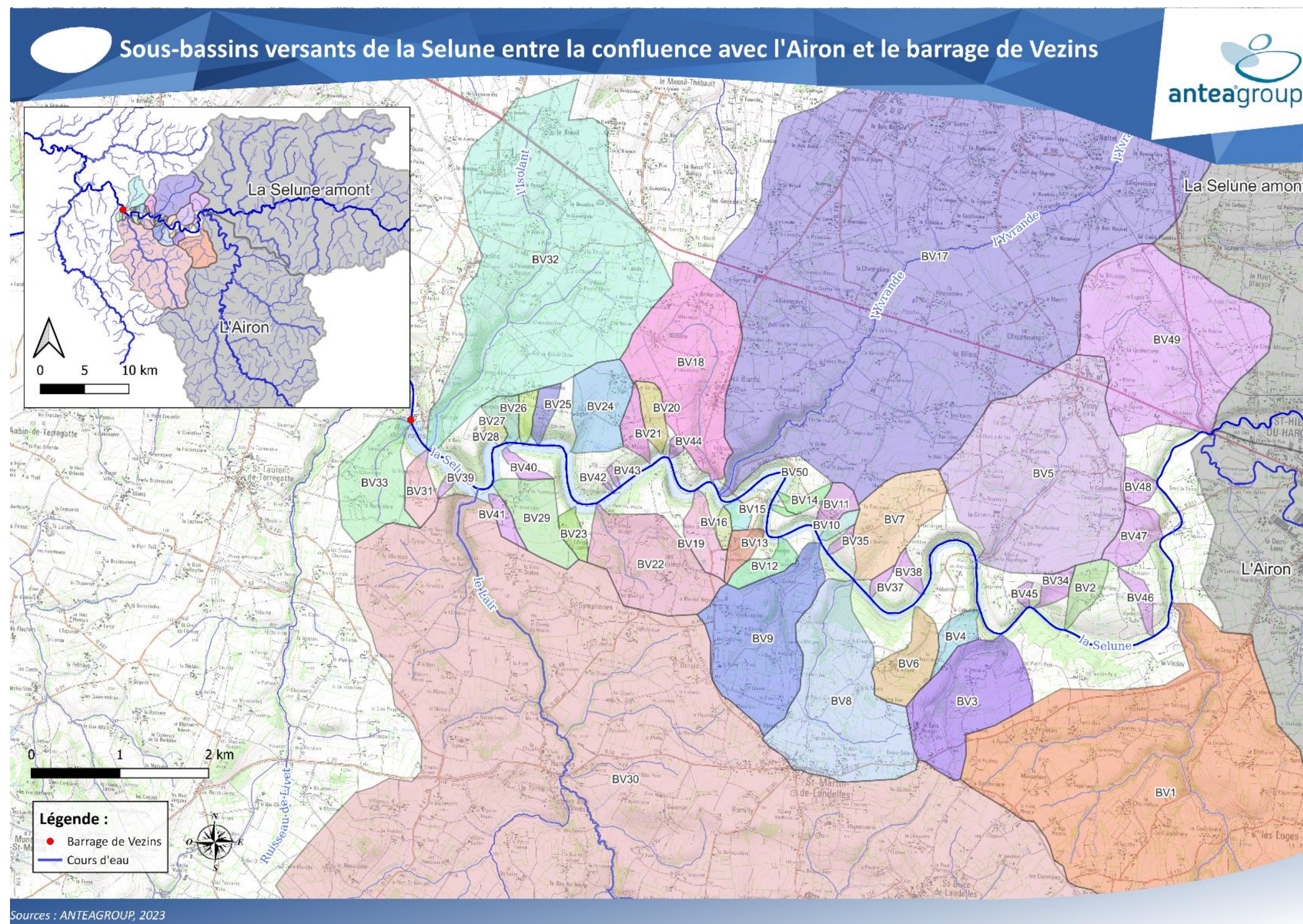


Figure 9 - Sous-bassins versants de la Sélune entre la confluence avec l'Airon et le barrage de Vezins (source : Antea Group, 2023)

Pour chacun de ces bassins versants, il a été déterminé les caractéristiques suivantes :

- Caractéristiques physiques : pente, superficie, longueur hydraulique, etc. ;
- Occupation du sol ;
- Temps de concentration (temps que met une goutte d'eau pour parcourir la distance depuis le point le plus éloigné de l'exutoire d'un bassin versant jusqu'à celui-ci).

Les résultats sont repris dans le tableau ci-dessous :

BV	Cours d'eau	Aire [km²]	Point haut [m NGF]	Point bas [m NGF]	Pente [%]	Longueur hydraulique [m]	Coefficient de ruissellement [-]	Perimetre [m]	Temps de concentration [min]
La Sélune hors affluents principaux (L'Isolant, Le Lair et l'Yvrande)									
	La Sélune au barrage de Vezins	666.0	191	43	0.3	56592	0.25	162414	2505
L'Airon									
	L'Airon	275.0	227	64	0.4	43808	0.25	82605	1459
La Sélune en amont de la confluence avec l'Airon									
	La Sélune à l'amont de la confluence avec l'Airon	349.0	191	63	0.3	37718	0.25	94989	1610
Sous-bassins versants de la Sélune entre la confluence avec l'Airon et le barrage de Vezins									
1	Le Vaux Roux	11.1	190	66	2.1	5788	0.26	15179	13
2	Blutiere	0.2	143	56	10.9	798	0.25	2097	58
3	Charbonniere	1.3	193	56	6.8	2024	0.26	4842	33
4	Cahudiere	0.2	162	57	10.2	1033	0.25	2195	13
5	Moulin_republique	3.7	120	56	2.3	2831	0.27	7501	82
6	Vallee	0.5	191	55	10.9	1244	0.25	2992	17
7	Ruettes	0.8	135	53	7.7	1059	0.23	3719	24
8	Esnaudieres	2.2	191	53	4.4	3171	0.31	6815	52
9	Champ_reusson	1.7	174	52	4.9	2496	0.25	5881	43
10	Fi	0.1	135	52	14.3	582	0.31	1260	8
11	leverie	0.1	132	52	13.2	608	0.25	1618	10
12	Loriette	0.2	161	52	11.1	979	0.27	2163	13
13	Guesnonniere	0.1	161	54	13.7	779	0.26	1747	10
14	Rousseliere	0.1	133	52	10.3	784	0.29	1645	10
15	Ponts_des_Biards	0.1	130	51	20.6	384	0.38	1070	6
16	Guesnoniniere	0.1	145	62	16.2	512	0.26	1109	7
17	L'Yvrande	18.0	126	57	0.8	8154	0.26	18649	272
18	Biards	1.9	142	51	2.8	3208	0.25	6268	61
19	Petites_Bruyeres	0.3	162	48	13.1	869	0.27	2488	13
20	Rue_Gerault	0.2	140	57	8.9	936	0.25	1995	14
21	Masure	0.2	140	58	8.3	983	0.26	2050	14
22	Froidrieres	1.2	159	55	5.6	1859	0.26	4563	35
23	Ange_Suzanne	0.1	128	52	11.1	684	0.29	1539	10
24	Poissoniere	0.6	142	57	6.7	1274	0.25	3106	24
25	Lonniere	0.1	135	53	10.4	785	0.28	1689	11
26	Hautonniere	0.1	133	51	11.5	710	0.31	1503	10
27	Rigottiere	0.1	129	51	10.8	722	0.32	1723	11
28	Bourgaisiere_1	0.1	119	53	16.9	391	0.47	897	6
29	Pimoussiere	0.5	121	58	4.5	1386	0.27	3213	28
30	Le Lair	55.0	191	58	0.9	15169	0.25	35846	441
31	Le Gat	0.2	118	46	8.7	825	0.23	2029	15
32	L'isolant	6.0	149	44	2.0	5218	0.24	11582	114
33	Geraudiere	0.8	130	52	4.7	1663	0.22	4042	32
34	Court_Champ	0.1	144	57	13.6	638	0.25	1569	9
35	RD48	0.0	128	52	16.0	475	0.37	1012	6
36	Rousseliere	0.0	89	52	11.4	324	0.37	694	6
37	Faruliere	0.0	100	54	9.4	488	0.29	1012	8
38	Faruliere2	0.1	107	54	8.9	597	0.26	1331	10
39	Le Gat	0.0	118	57	15.8	386	0.39	821	5
40		0.1	111	51	8.1	739	0.30	1496	11
41	Pimoussiere_2	0.1	109	58	6.4	793	0.27	1665	13
42		0.0	96	55	15.6	263	0.36	554	4
43		0.0	105	58	15.8	297	0.39	641	5
44	Ville	0.0	112	56	20.1	278	0.31	681	5
45	Jariais	0.0	121	56	18.7	348	0.24	784	5
46	Ressources	0.1	134	61	7.9	920	0.25	1898	13
47	Moulin_de_Virey	0.3	139	60	10.4	758	0.24	2299	14
48	Cois	0.1	107	66	8.8	466	0.24	1309	11
49	Maudouet	3.2	119	62	2.1	2659	0.24	7256	80
50		0.0	104	49	33.7	163	0.41	401	2

Tableau 3 - Caractéristiques des sous-bassins versants de la Sélune et de ses affluents
(source : Antea Group, 2023)

La définition du coefficient de ruissellement moyen par bassin versant a été déterminée à l'aide de la base de données Corine Land Cover, qui définit à l'échelle de la France plusieurs typologies d'occupation des sols auxquelles sont associées des coefficients de ruissellement.

Le tableau suivant présente les différentes typologies de sols et coefficients de ruissellement associés. La carte en page suivante présente la répartition de l'occupation des sols sur le périmètre d'étude.

Code	Type	Coefficient de ruissellement [-]	Code	Type	Coefficient de ruissellement [-]
111	Tissu urbain continu	0,8	312	Forêts de conifères	0,2
112	Tissu urbain discontinu	0,65	313	Forêts mélangées	0,2
121	Zones industrielles ou commerciales et installations publiques	0,8	321	Pelouses et pâturages naturels	0,25
124	Aéroports	0,9	322	Landes et broussailles	0,3
131	Extraction de matériaux	0,8	324	Forêt et végétation arbustive en mutation	0,2
133	Chantiers	0,8	331	Plages, dunes et sable	0,5
142	Equipements sportifs et de loisirs	0,65	411	Marais intérieurs	1
211	Terres arables hors périmètres d'irrigation	0,2	421	Marais maritimes	1
231	Prairies et autres surfaces toujours en herbe à usage agricole	0,25	423	Zones intertidales	1
242	Systèmes culturaux et parcellaires complexes	0,25	511	Cours et voies d'eau	1
243	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	0,2	512	Plans d'eau	1
311	Forêts de feuillus	0,2	522	Estuaires	1

Tableau 4 - Coefficients de ruissellement par type de surface (source : Antea Group, 2023)

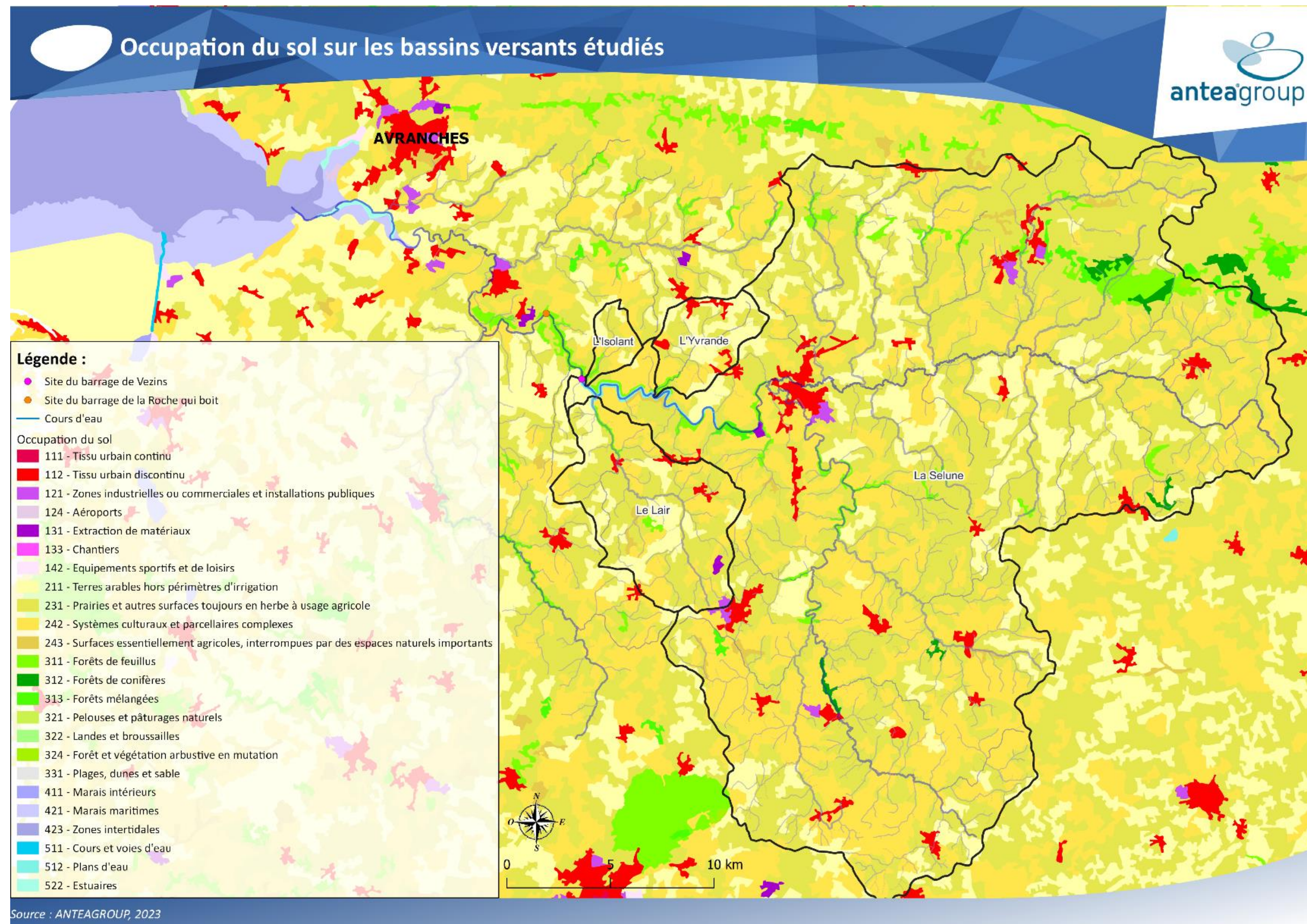


Figure 10 - Occupation des sols à l'échelle des bassins versants de la Sélune (Source : Corine Land Cover et Antea Group)

Concernant le temps de concentration de chaque bassin versant, il s'agit de la durée que met une goutte d'eau à parcourir la longueur hydraulique du bassin. Cette durée dépend de la longueur hydraulique (L_h) mais aussi de l'aire du bassin (A), de sa pente moyenne (P) ainsi que de son dénivelé (D). Plusieurs formules de calcul permettent de l'estimer :

- Méthode de Passini :

$$T_c = 6,48 * \frac{(A * L_h)^{\frac{1}{3}}}{P^{\frac{1}{2}}},$$

*T_c en minutes
A en km²
L_h en km
P en m/m*

Domaine de validité : A > 40 km²

- Méthode de Giandotti :

$$T_c = \frac{240 * \sqrt{A} + 0,09 * L_h}{0,8 * \sqrt{D}},$$

*T_c en minutes
A en km²
L_h en m
D en m*

- Méthode de Kirpich :

$$T_c = 0,0195 * \left(\frac{L_h}{\sqrt{P}}\right)^{0,77},$$

*T_c en minutes
L_h en m
P en m/m*

Domaine de validité : 0,4 ha < A < 8,1 ha et 3% < P < 10%

- Méthode de Ventura :

$$T_c = 7,62 * \sqrt{\frac{A}{P}},$$

*T_c en minutes
A en km²
P en m/m*

3.2.2.2 Evaluation des débits de crue décennale

Il existe plusieurs formules permettant d'évaluer pour chaque bassin versant, le débit de pointe de crue décennale. Ces formules sont les suivantes :

- Méthode rationnelle :

$$Q_T = C * \frac{I_T * A}{3,6},$$

*Q le débit de période de retour T en m³/s
C le coefficient de ruissellement moyen du BV sans unité
A en km²*

I l'intensité de pluie de période de retour T en fonction des coefficients de Montana en mm/h

Domaine de validité : D < 1 km²

- Méthode CRUPEDIX :

$$Q_T = R * \left(\frac{P_T}{80}\right)^2 * A^{0,8},$$

*Q le débit de période de retour T en m³/s
Le coefficient régional R dépendant de la localisation du BV sans unité, ici R=1 pour tous les BV étudiés
A en km²*

P_T la hauteur de pluie de période de retour T en fonction des coefficients de Montana en mm

Domaine de validité : 10 km² < A < 2000 km²

- Méthode SOGREAH :

Cette méthode s'aide d'un abaque réalisé par SOGREAH prenant en compte l'aire du bassin versant, la pente moyenne, la pluie décennale journalière et le type de sol (imperméable ou non, défini comme perméable dans tous les BV étudiés en raison de leur localisation).

Domaine de validité : $1 \text{ km}^2 < A < 100 \text{ km}^2$

- Méthode SOCOSE :

$$Q = \xi * \frac{k * A * r^2}{(1,25 * D_s)^b * (15 - 12 * r)},$$

*Q le débit de période de retour en m3/s
 ξ le coefficient d'abaque dépendant de b sans unité
b le coefficient de Montana sans unité
k l'indice pluviométrique sans unité
A en km²
r le nombre intermédiaire sans unité
Ds la durée caractéristique de crue du BV en heures
Domaine de validité : $2 \text{ km}^2 < A < 200 \text{ km}^2$*

- Méthode de transition :

$$Q_{10} = Q_{rationnelle} * \left(\frac{10-A}{9}\right)^2 + Q_{crupedix} \left(1 - \left(\frac{10-A}{9}\right)^2\right),$$

*Q10 le débit de période de retour décennal en m3/s
Qrationnelle le débit calculé avec la méthode rationnelle en m3/s
Qcrupedix le débit calculé avec la méthode CRUPEDIX en m3/s
A en km²
Domaine de validité : $1 \text{ km}^2 < A < 10 \text{ km}^2$*

- SHYREG combiné à la méthode de Myer si besoin :

L'estimation du débit de pointe décennal est faite en appliquant la formule de Myer ci-dessous aux données SHYREG de la station la plus proche.

$$Q_A = Q_B * \left(\frac{S_A}{S_B}\right)^{0,8},$$

*QA le débit cherché en m3/s
QB le débit disponible en m3/s
SA l'aire du bassin versant dont on cherche le débit
SB l'aire du bassin versant dont on possède le débit*

Pour chaque bassin versant, une moyenne des valeurs admissibles a été retenue. Les résultats sont donnés dans le Tableau 5.

3.2.2.3 Evaluation des débits autres que décennaux

Développée par EDF, la méthode du GRADEX progressif permet d'obtenir différents débits de pointe en s'appuyant sur le débit de pointe décennal. En effet, la méthode du Gradex s'appuie sur l'hypothèse qu'à partir d'une certaine période de retour, point pivot pris ici à T = 10 ans, la totalité de la pluie tombée contribue au ruissellement (saturation des sols). Cette méthode permet de valoriser les informations pluviométriques étudiées sur la station du Saint-Hilaire-du-Harcouët.

3.2.2.4 Débits retenus

Les débits de pointe retenus pour chaque bassin versant sont présentés dans le tableau suivant :

BV	Cours d'eau	Q10 [m3/s]	Q2 [m3/s]	Q5 [m3/s]	Q20 [m3/s]	Q50 [m3/s]	Q100 [m3/s]	Q500 [m3/s]
La Sélune sans affluents principaux (L'Isolant, Le Lair et l'Yvrande)								
	La Sélune au barrage de Vezins	88.8	50.4	77.7	106.4	140.7	173.7	263.7
L'Airon								
	L'Airon	39.8	19.8	34.2	49.4	69.7	91.0	153.2
La Sélune en amont de la confluence avec l'Airon								
	La Sélune à l'amont de la confluence avec l'Airon	55.9	33.4	49.6	66.7	89.7	113.9	185.1
Sous-bassins versants de la Sélune entre la confluence avec l'Airon et le barrage de Vezins								
1	Le Vaux Roux	3.2	1.1	2.7	4.3	7.2	11.0	27.2
2	Blutiere	0.5	0.0	0.3	0.7	1.1	1.5	2.9
3	Charbonniere	1.4	0.2	1.1	2.0	3.5	5.1	10.2
4	Cahudiere	0.4	0.0	0.3	0.6	0.9	1.3	2.5
5	Moulin_republique	2.0	0.5	1.5	2.7	4.6	6.9	15.3
6	Vallee	0.9	0.1	0.6	1.2	2.0	2.9	5.4
7	Ruette	1.1	0.1	0.8	1.6	2.6	3.8	7.5
8	Esnaudieres	1.7	0.3	1.3	2.4	4.0	6.0	12.6
9	Champ_reusson	1.5	0.2	1.1	2.1	3.5	5.2	10.8
10	Fi	0.3	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.4
11	leterie	0.4	0.0	0.3	0.5	0.9	1.2	2.2
12	Loriette	0.5	0.0	0.3	0.7	1.1	1.5	2.7
13	Guesnonniere	0.4	0.0	0.3	0.5	0.9	1.2	2.2
14	Rousseliere	0.3	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.5
15	Ponts_des_Biards	0.4	0.0	0.3	0.5	0.8	1.0	1.7
16	Guesnoniniere	0.2	0.0	0.1	0.3	0.5	0.7	1.2
17	L'Yvrande	4.6	1.6	3.8	6.1	9.9	14.6	31.7
18	Biards	1.4	0.3	1.1	2.0	3.3	4.9	10.2
19	Petites_Bruyeres	0.6	0.0	0.5	0.9	1.5	2.1	3.9
20	Rue_Gerault	0.4	0.0	0.3	0.6	0.9	1.3	2.4
21	Masure	0.4	0.0	0.3	0.5	0.8	1.2	2.1
22	Froidrieres	1.3	0.2	0.9	1.8	3.0	4.5	9.0
23	Ange_Suzanne	0.3	0.0	0.3	0.5	0.8	1.1	2.0
24	Poissoniere	0.9	0.1	0.7	1.3	2.1	3.0	5.8
25	Lonniere	0.4	0.0	0.3	0.5	0.8	1.1	2.0
26	Hautonniere	0.3	0.0	0.2	0.4	0.7	0.9	1.6
27	Rigottiere	0.4	0.0	0.3	0.6	1.0	1.3	2.3
28	Bourgaisiere_1	0.3	0.0	0.2	0.4	0.7	0.8	1.3
29	Pimoussiere	0.8	0.1	0.6	1.1	1.8	2.6	4.9
30	Le Lair	10.9	4.5	9.1	14.1	22.1	32.0	67.2
31	Le Gat	0.5	0.1	0.4	0.8	1.4	2.1	4.7
32	L'isolant	2.6	0.5	2.0	3.6	6.2	9.4	21.1
33	Geraudiere	0.9	0.1	0.7	1.3	2.2	3.2	6.3
34	Court_Champ	0.3	0.0	0.2	0.4	0.7	1.0	1.8
35	RD48	0.2	0.0	0.1	0.3	0.4	0.6	1.0
36	Rousseliere	0.1	0.0	0.1	0.2	0.2	0.3	0.5
37	Faruliere1	0.1	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.8
38	Faruliere2	0.2	0.0	0.2	0.3	0.5	0.7	1.3
39	Le Gat	0.2	0.0	0.1	0.2	0.4	0.5	0.8
40		0.2	0.0	0.2	0.3	0.5	0.7	1.3
41	Pimoussiere_2	0.2	0.0	0.3	0.3	0.6	0.8	1.4
42		0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3
43		0.1	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.6
44	Ville	0.1	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.8
45	Jariais	0.1	0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8
46	Ressources	0.2	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.5
47	Moulin_de_Virey	0.6	0.0	0.4	0.8	1.4	1.9	3.7
48	Cois	0.3	0.0	0.2	0.4	0.6	0.9	1.6
49	Maudouet	1.7	0.4	1.4	2.4	4.1	6.2	13.6
50		0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4

Tableau 5 - Débits de pointe retenus pour chaque bassin versant (Source : Antea Group)

3.2.2.5 Faibles débits

Afin de définir l'impact des ouvrages (pêcheries, moulins, etc.) situés dans le lit mineur de la Sélune et de ses affluents sur la franchissabilité par les espèces piscicoles, il est nécessaire de connaître les débits plus faibles que les débits de crue.

Trois débits ont été étudiés :

- Q_{MNa5} : Débit mensuel minimal ayant la probabilité 1/5 de ne pas être dépassé sur une année ;
- $Q_{c50\%}$: Débit de la Sélune non dépassé 50% du temps ;
- Module : Débit moyen interannuel.

3.2.2.5.1 Stations hydrométriques de référence

Sur la Sélune, 3 stations hydrométriques sont présentes entre Notre-Dame-de-Touchet pour la partie amont et Saint-Aubin-de-Terregatte pour la partie aval.

Afin d'identifier les débits au droit du site d'étude, une estimation des débits d'alimentation au prorata des bassins versants est réalisée.

Les débits caractéristiques de la Sélune au droit du barrage de Vezins (736 km²) sont extrapolés à partir des données hydrologiques des stations citées ci-dessus.

Code de la station	Libellé de la station	Débits Données disponibles	Superficie de bassin versant
I903 1010	La Sélune à Notre-Dame-du-Touchet	1991 - 2022	203 km ²
I923 3013	La Sélune à Ducey [Vézins]	Aucune	720 km ²
I9221020	La Sélune à Saint-Aubin-de-Terregatte [Signy]	1990 - 2022	777 km ²

Tableau 6 - Stations hydrométriques à proximité du site d'étude (source : hydro.eaufrance.fr)

3.2.2.5.2 Débits moyens mensuels

Le module, exprimé en m³/s, est le débit moyen interannuel calculé sur l'année hydrologique sur l'ensemble de la période d'observation de la station. Il donne une indication sur le volume annuel écoulé et donc sur la disponibilité globale de la ressource en eau.

Le débit moyen mensuel de la Sélune (module) au droit de l'ancien barrage de Vezins est estimé à 9,053 m³/s.

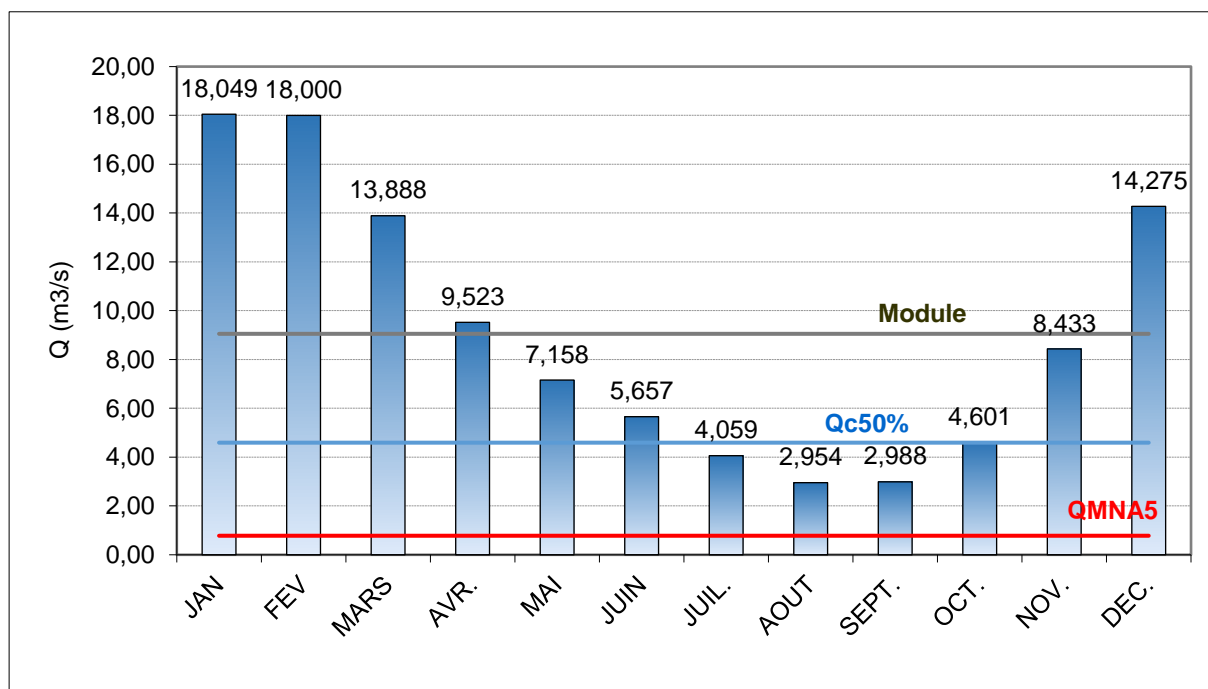


Figure 11 - Débits moyens mensuels de la Sélune estimés au barrage de Vezins (1990-2022)
(source : hydro.eaufrance.fr)

3.2.2.5.3 Débits classés

Les débits classés correspondent à l'ensemble des débits mesurés et classés selon un ordre décroissant. Il est ainsi possible de déterminer la fréquence de non-dépassement des débits de la rivière (ex : 90 % du temps, le débit de la Sélune ne dépasse pas 21,957 m³/s, ce qui signifie que ce débit est dépassé uniquement 10 % du temps).

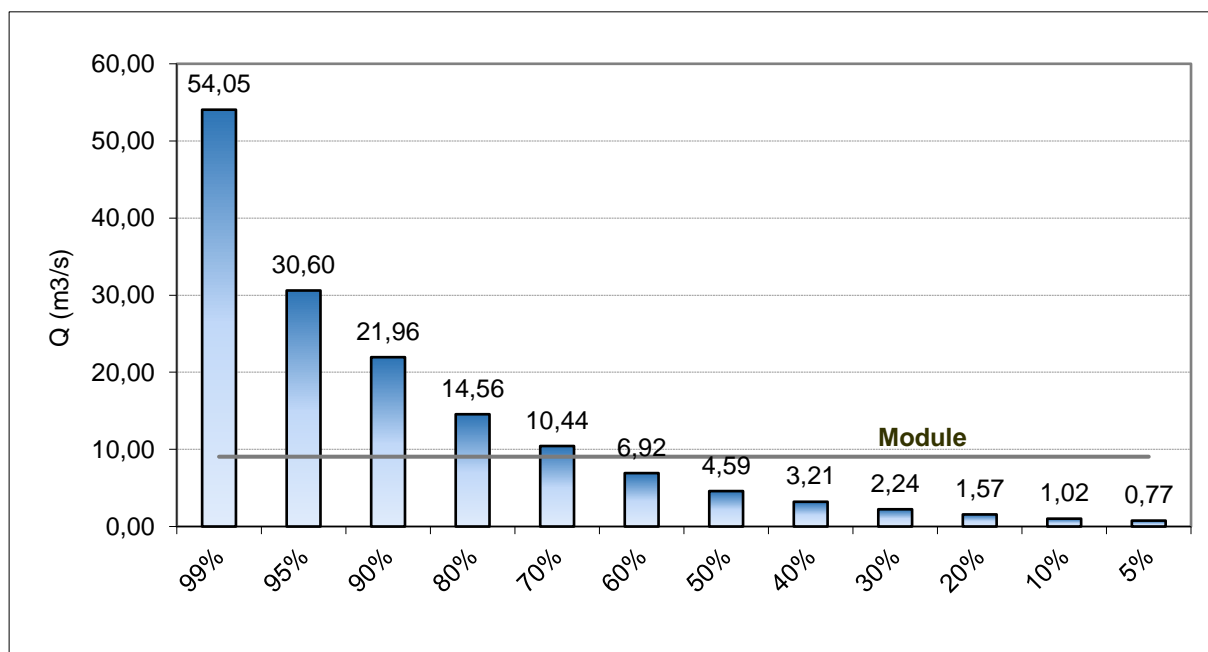


Figure 12 - Débits classés de la Sélune estimés au barrage de Vezins (1990-2022) (source : hydro.eaufrance.fr)

3.2.2.5.4 Débits d'étiage

Le débit d'étiage de référence QMNA – 5 ans, correspondant au débit moyen mensuel minimum de période de retour de 5 ans (quinquennale sèche), est donné à 0,780 m³/s.

Le débit d'étiage de référence QMNA – 2 ans, correspondant au débit moyen mensuel minimum de période de retour de 2 ans (biennale sèche), est donné à 1,155 m³/s.

3.2.2.5.5 Synthèse des débits retenus

Pour chacun des quatre bassins versants modélisés (Sélune, Yvrande, Lair et Isolant), nous avons estimé, au prorata des superficies des bassins versants, les trois débits caractéristiques décrits précédemment (QMNA5, Qc50% et Module).

Cours d'eau	QMNA5 [L/s]	Qc50% [L/s]	Module [L/s]
La Sélune au barrage de Vezins	780	4 594	9 053
La Sélune en amont du secteur d'étude	409	2 407	4 744
L'Isolant	7	41	82
Le Lair	64	379	748
L'Yvrande	21	124	245

Tableau 7 - Débits d'étiage, Qc50% et module pour la Sélune et ses affluents (Source : Antea Group)

3.2.3 Définition des hydrogrammes

Pour les débits de crue, nous proposons de retenir une forme d'hydrogramme double triangle, construite sur la base des débits de pointe retenus (cf. Tableau 5 ci-avant).

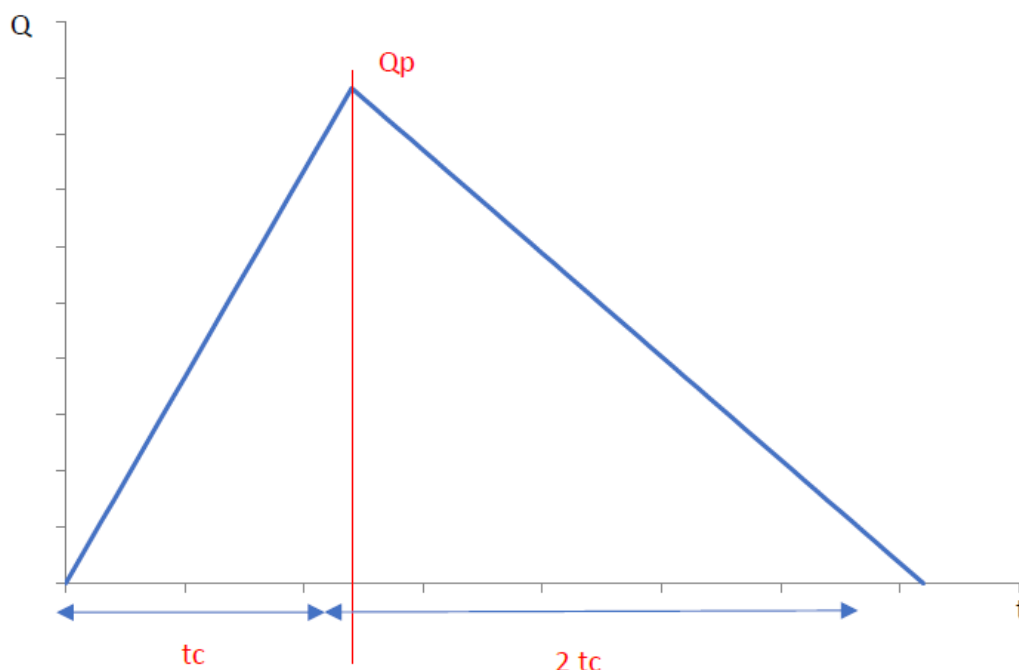


Figure 13 - Forme théorique des hydrogrammes de crue

Dans le cadre de la modélisation hydraulique, les apports des 4 bassins versants principaux seront modélisés : la Sélune au droit de l'ancienne retenue de Vezins, l'Yvrande, le Lair et l'Isolant.

La figure suivante présente les hydrogrammes de ces 4 bassins versants dans le cas, par exemple d'une crue de période de retour 500 ans.

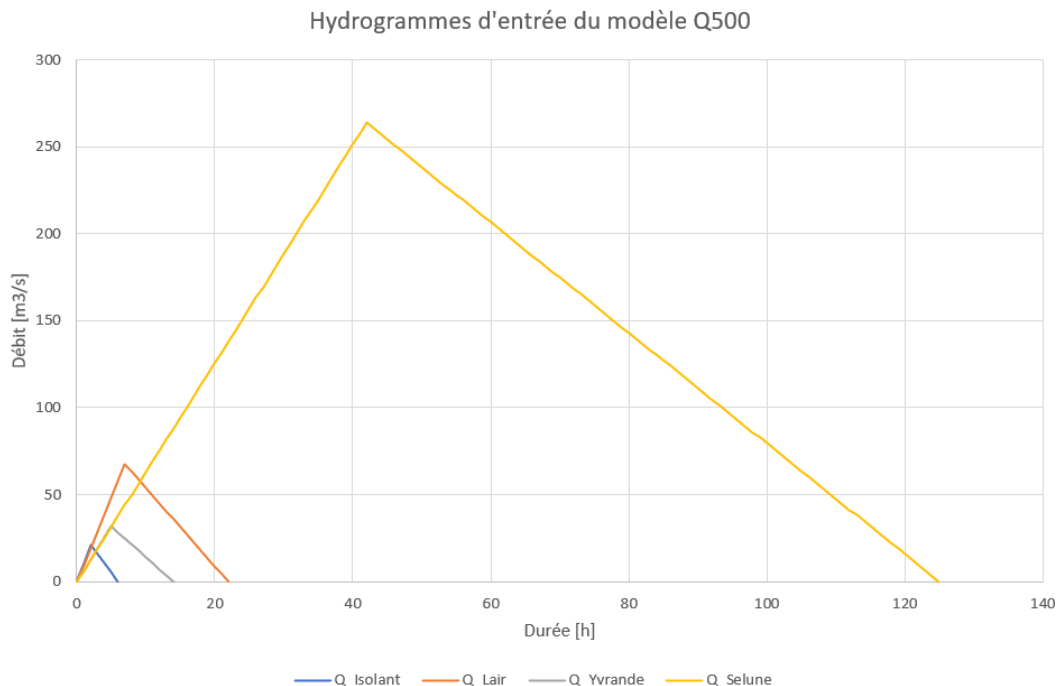


Figure 14 - Hydrogrammes d'entrée du modèle hydraulique – Exemple de la crue cinquantennale
(source : Antea Group, 2023)

Pour les faibles débits (Q_{MNa5} , $Q_{c50\%}$ et module), la modélisation a été réalisée sur la base d'un débit permanent.

3.3 Construction du modèle hydraulique

L'objectif de la modélisation hydraulique est de caractériser les écoulements de la Sélune pour des crues d'occurrence biennale, quinquennale, décennale, vicennale, cinquantennale, centennale et cinq-centennale. Par ailleurs, les débits d'étiage Q_{MNa5} et moyen (ou module) sont étudiés afin pour permettre l'analyse de l'impact des ouvrages présents dans le lit mineur de la Sélune sur la continuité écologique (cf. rapport MBS/MOER/DIAG/CE02A de février 2023).

Un modèle 2D a été réalisé. Il permet de définir le lit mineur comme le lit majeur par un maillage sur l'ensemble de la zone d'étude. A chaque maille est associée une cote, et pour chaque maille sont calculés les niveaux d'eau et les vitesses d'écoulement. Ce type de modélisation permet également, contrairement aux modèles 1D :

- De ne pas préjuger de la direction des écoulements,
- De permettre des écoulements perpendiculaires à l'axe principal du cours d'eau,
- De ne pas sous-estimer des volumes de lit majeur disponibles en extrados de méandre, ou les surestimer en intrados.
- De permettre les liens et écoulements avec le lit majeur au droit de chaque maille (notamment sur les secteurs endigués), et non pas seulement au droit des profils.

3.3.1 Présentation du logiciel de modélisation

Le logiciel de modélisation utilisé est le logiciel HEC RAS développé par l'US Army Corps of Engineers. Ce logiciel permet d'effectuer des calculs d'écoulements filaires à surface libre en régime permanent et transitoire. Les calculs de lignes d'eau permettent tant l'analyse de la capacité de cours d'eau (risques de débordement, inondations, ...) que l'étude de l'impact de modifications des conditions de bords (ponts, endiguements, ...).

Les calculs de lignes d'eau d'écoulements graduellement variés sont basés sur l'équation de Bernoulli. Les pertes de charge sont évaluées par l'équation de Manning-Strickler pour le terme de frottement et par des coefficients de contraction-expansion ainsi que des coefficients de perte de charges en entrée et sortie d'ouvrage pour les pertes de charges ponctuelles.

En écoulement brusquement varié, HEC-RAS utilise l'équation de quantité de mouvement. Celle-ci est appliquée aux ressauts, et dans certains cas, aux passages de ponts et aux confluences. La résolution de ces équations nécessite la connaissance de la géométrie du cours d'eau, de ses caractéristiques de rugosité et du débit d'écoulement.

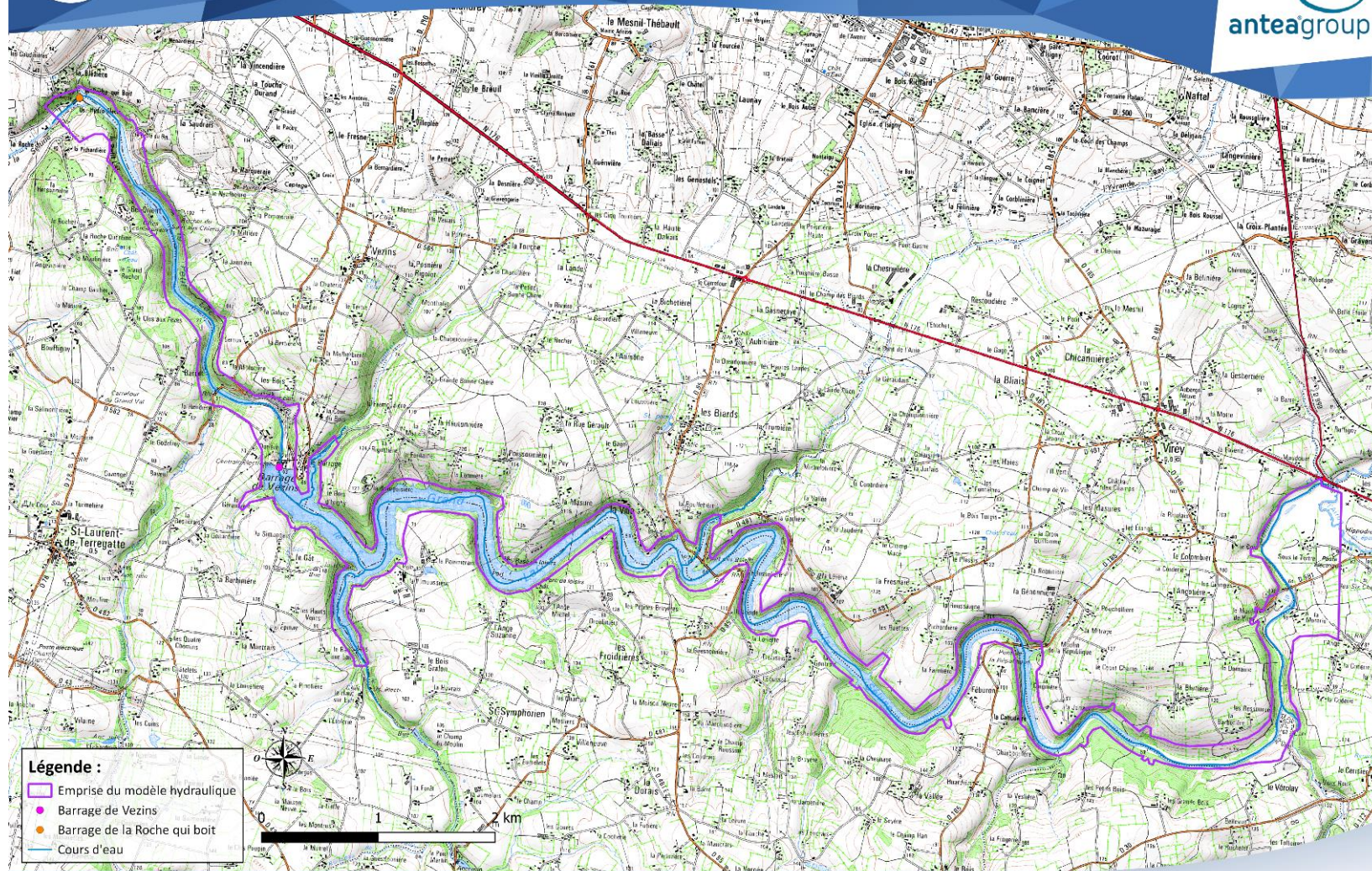
3.3.2 Hypothèses de modélisation

3.3.2.1 Emprise du modèle hydraulique

Le modèle s'étend depuis la confluence avec l'Airon en amont, jusqu'à l'ancien barrage de La Roche-qui-Boit en aval, soit un linéaire de la Sélune modélisé d'environ 19 km.

La figure suivante représente le secteur modélisé.

Emprise du modèle hydraulique



Sources : ANTEAGROUP, 2023

Figure 15 - Emprise du modèle hydraulique (Source : Antea Group)

3.3.2.2 Données topographiques

Les données topographiques de la Sélune sont de plusieurs ordres. La principale source de données récentes pour le lit mineur et les dimensions des ouvrages hydrauliques des cours d'eau correspond aux levés TOPDESS réalisés en 2023.

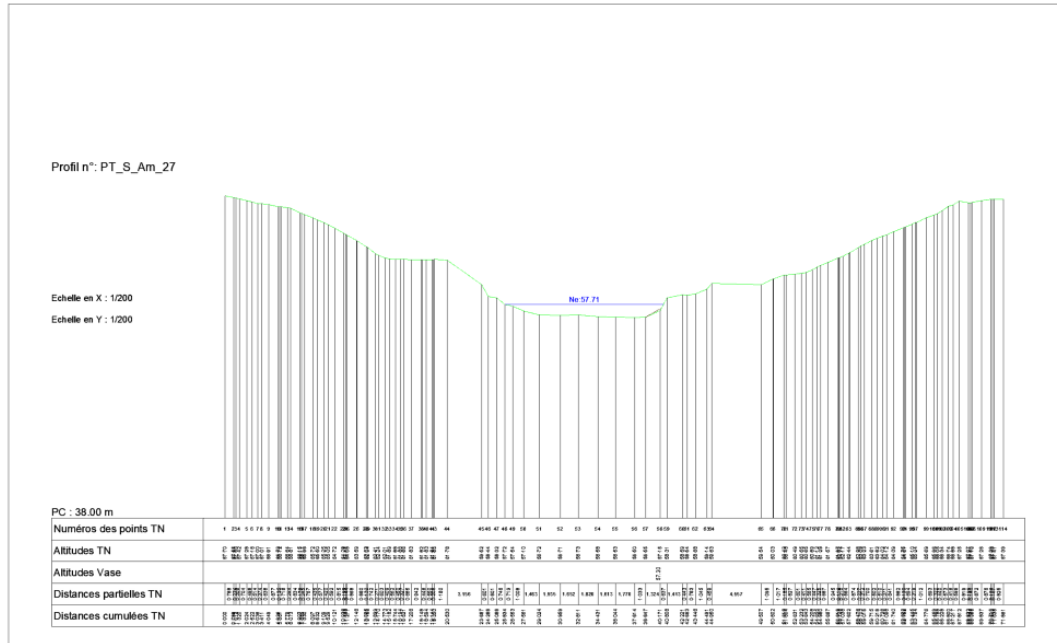


Figure 16 - Exemple de profil en travers du lit de la Sélune levé par un géomètre (Source : TOPDESS)

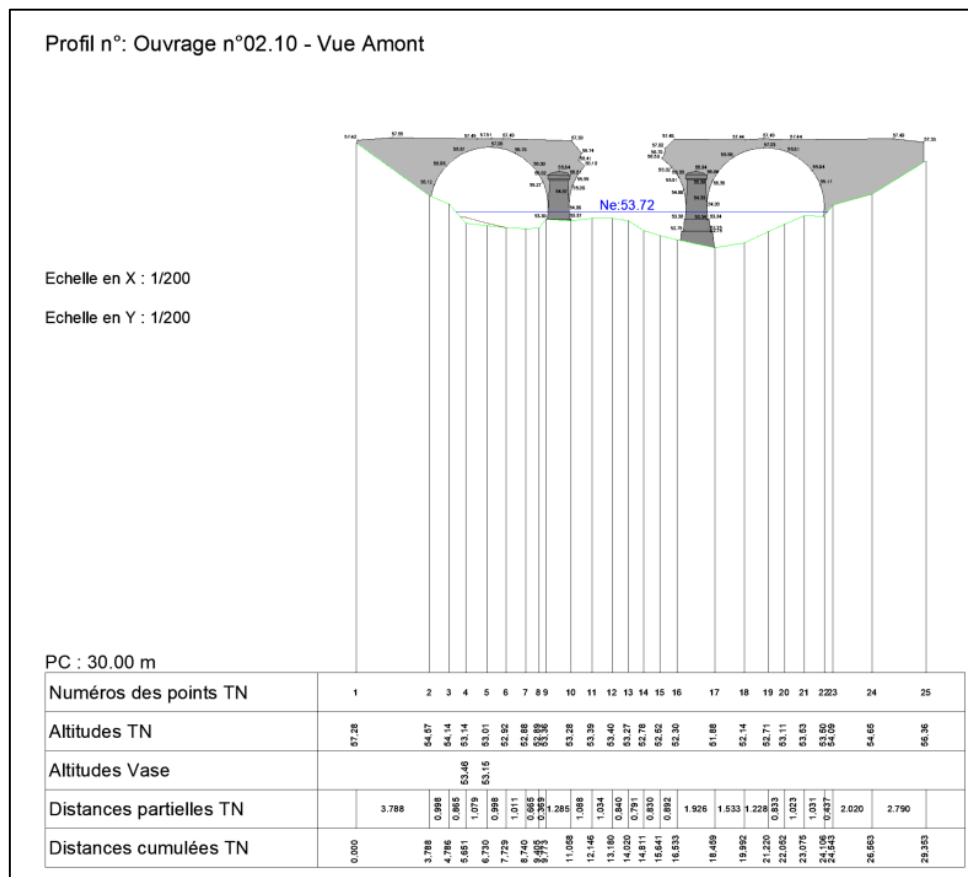


Figure 17 - Exemple d'ouvrage (ancien pont de la République) levé par un géomètre (Source : TOPDESS)

Le lit majeur est décrit par les données LIDAR existantes via la réalisation d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT).

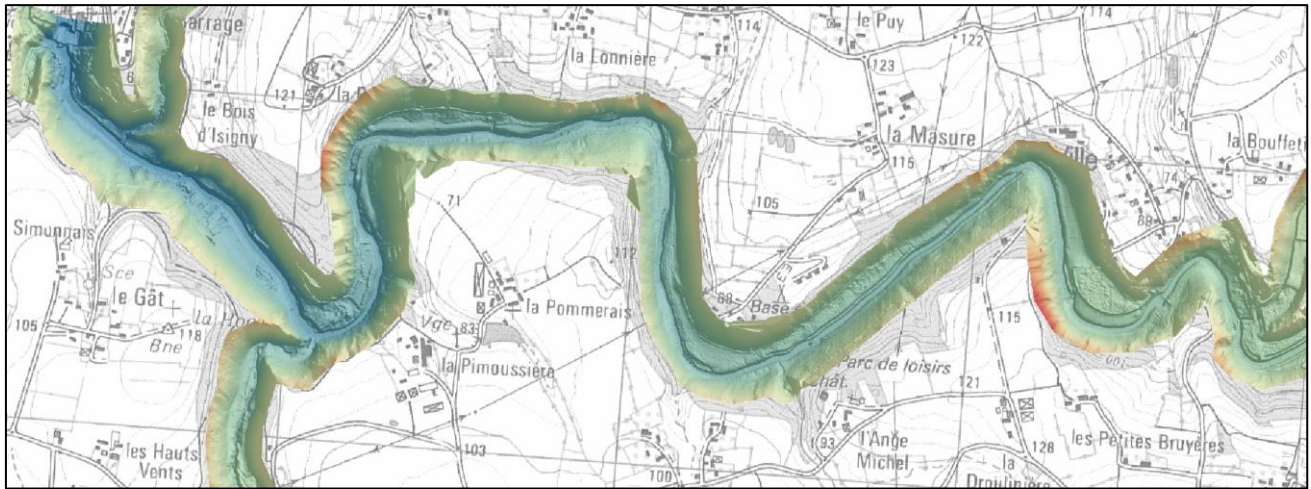


Figure 18 - Extrait des données LIDAR du lit majeur de la Sélune (Source : IGN)

3.3.2.3 Maillage du modèle

Un maillage à mailles carrées a été utilisé. La taille des mailles diffère selon les enjeux de la zone d'emprise :

- 25 x 25 m pour le lit majeur ;
- 2 x 2 m pour le lit mineur.

Le lit mineur des cours d'eau est représenté par des lignes de contrainte situées sur les talwegs. Les mailles au droit des lignes de contraintes sont assez fines pour représenter les berges. Les ouvrages hydrauliques sont également considérés dans le modèle comme des lignes de contrainte.

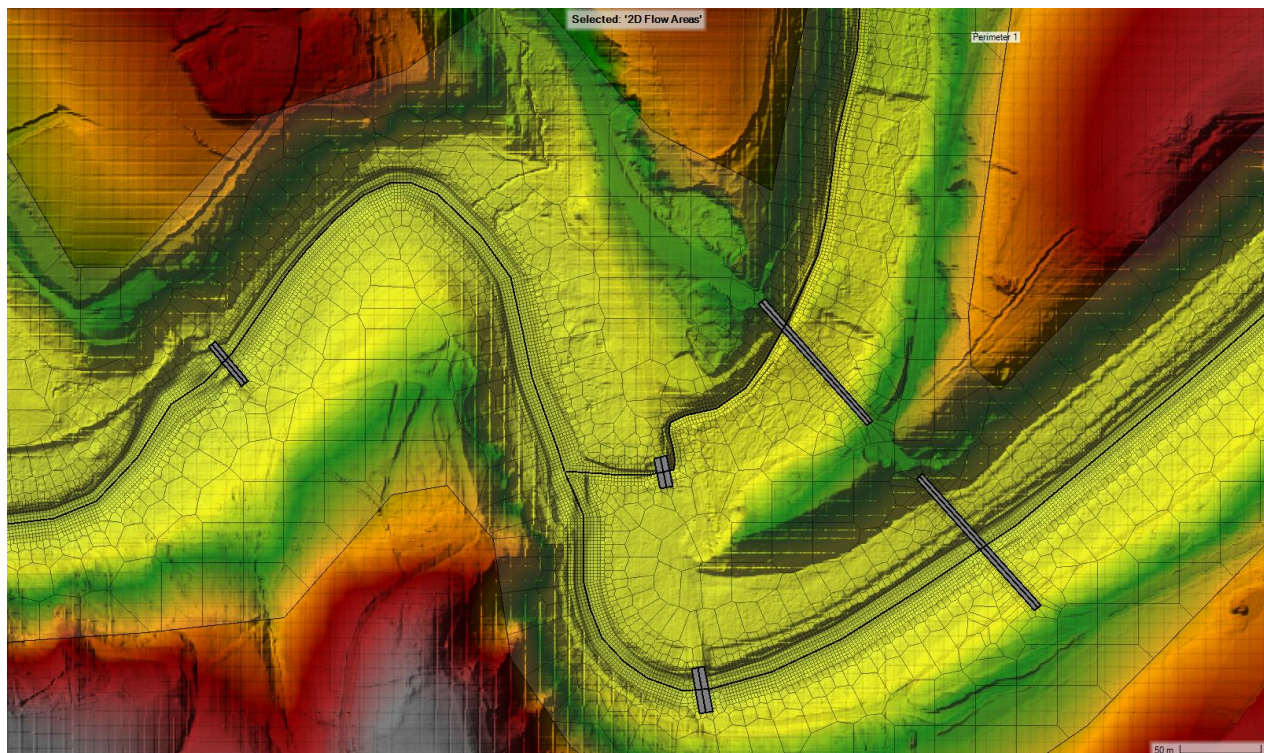


Figure 19 - Maillage au droit de la confluence entre la Sélune et l'Yvrande (source : Antea Group)

3.3.2.4 Ouvrages hydrauliques

Les ouvrages hydrauliques sont multiples sur l'emprise du modèle et se déclinent en ponts et seuils. Les ponts sont entrés dans le modèle comme l'ensemble d'un tablier et de piles.

L'axe des ouvrages est considéré comme une ligne de contrainte pour le maillage. Le dimensionnement des ouvrages sur le modèle provient des mesures du géomètre ainsi que des coupes des ouvrages.

3.3.2.5 Conditions aux limites

Les hydrogrammes de crue constituent la condition limite amont pour la Sélune (cf. paragraphe 3.2.3) et pour l'Yvrande, le Lair et l'Isolant.

En condition limite aval, une hauteur normale a été utilisée. Cette méthode de calcul utilise la formule de Manning-Strickler pour estimer un niveau d'eau pour chaque débit calculé. Elle nécessite d'entrer une pente de frottement. Cette pente a été reprise depuis le profil en long de l'étude d'ARTELIA en 2013 qui indique une pente de 0,1% après le barrage de la Roche qui boit.

3.3.3 Calage

Les barrages de Vezins et de la Roche qui boit avaient créé des plans d'eau sur la Sélune qui ont disparu lors de l'arasement de ces ouvrages. Les données de niveau d'eau ne sont alors pas exploitables pour un éventuel calage du modèle. Par ailleurs, depuis l'arasement des barrages, il n'y a pas eu de crues significatives ni de lever de laisses de crues.

Le calage du modèle a donc été réalisé en fonction de l'état général du lit de la Sélune, déterminé lors de la visite de site. Le calage se fait en adaptant les coefficients de Manning-Strickler qui rendent compte des frottements pouvant impacter les écoulements. Les coefficients de Manning-Strickler finalement retenus dans le modèle sont présentés dans le tableau suivant et décrivent trois zonages différents, la topographie de la Sélune présentant un fond de vallée très encaissé.

Secteur concerné	Strickler	Manning
Lit mineur (cours d'eau large et peu encombré)	35	0,029
Lit majeur (présence de végétation)	20	0,05
Versant du lit majeur (végétation plus importante)	10	0,1

Tableau 8 - Coefficients de Manning-Strickler retenus en fonction des secteurs (source : Antea Group)

3.4 Analyse des résultats de la modélisation hydraulique

Les profils en long suivants présentent les lignes d'eau pour les crues de période de retour 2 ans à 500 ans pour la Sélune, l'Yvrande et le Lair.

Par ailleurs, en **annexes I et II**, sont données les cartes des hauteurs d'eau pour les crues de période de retour 2 ans et 10 ans, crues les plus morphogènes.

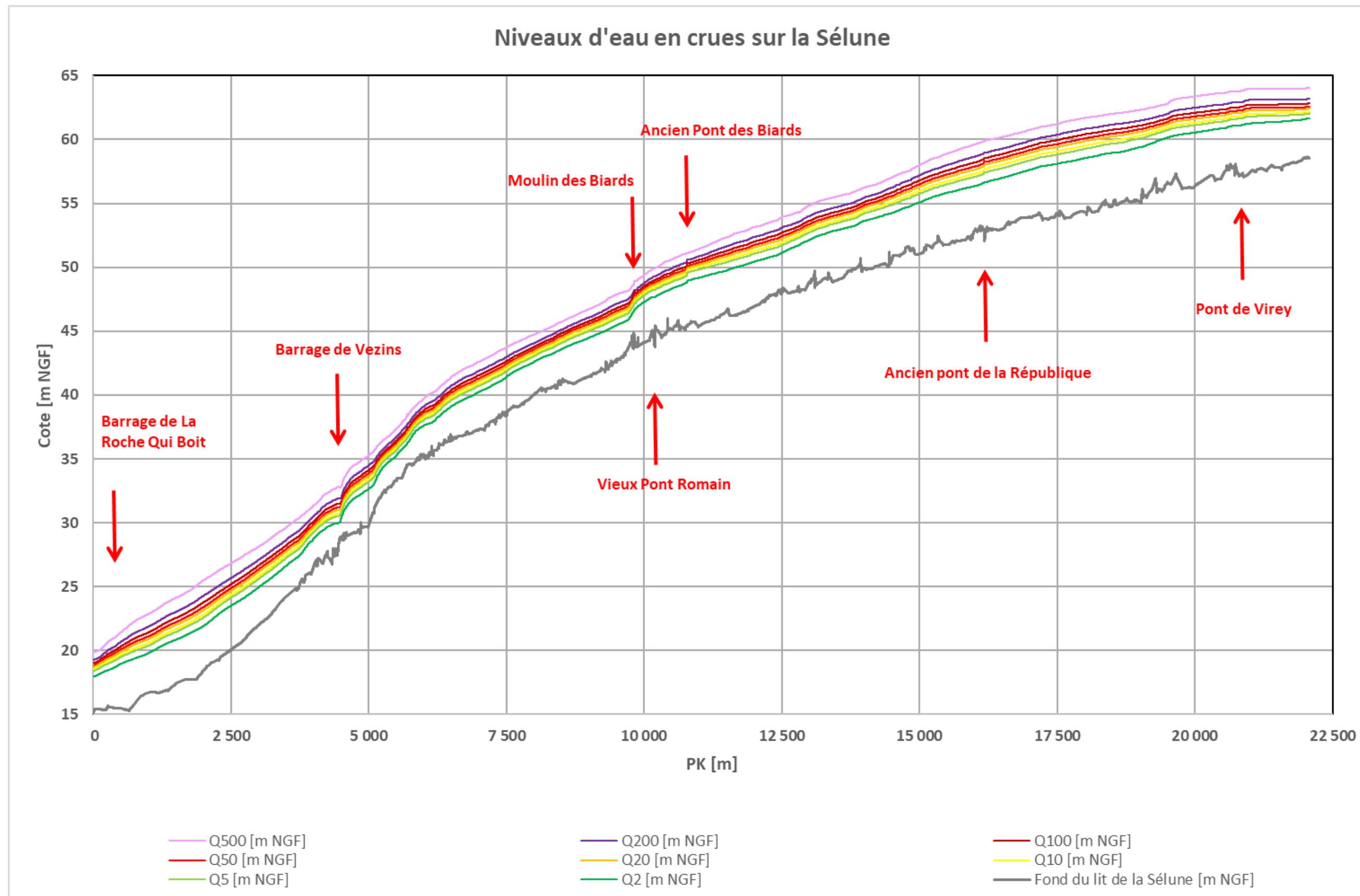


Figure 20 - Profils en long de la Sélune pour les différents débits étudiés (source : Antea Group, 2024)

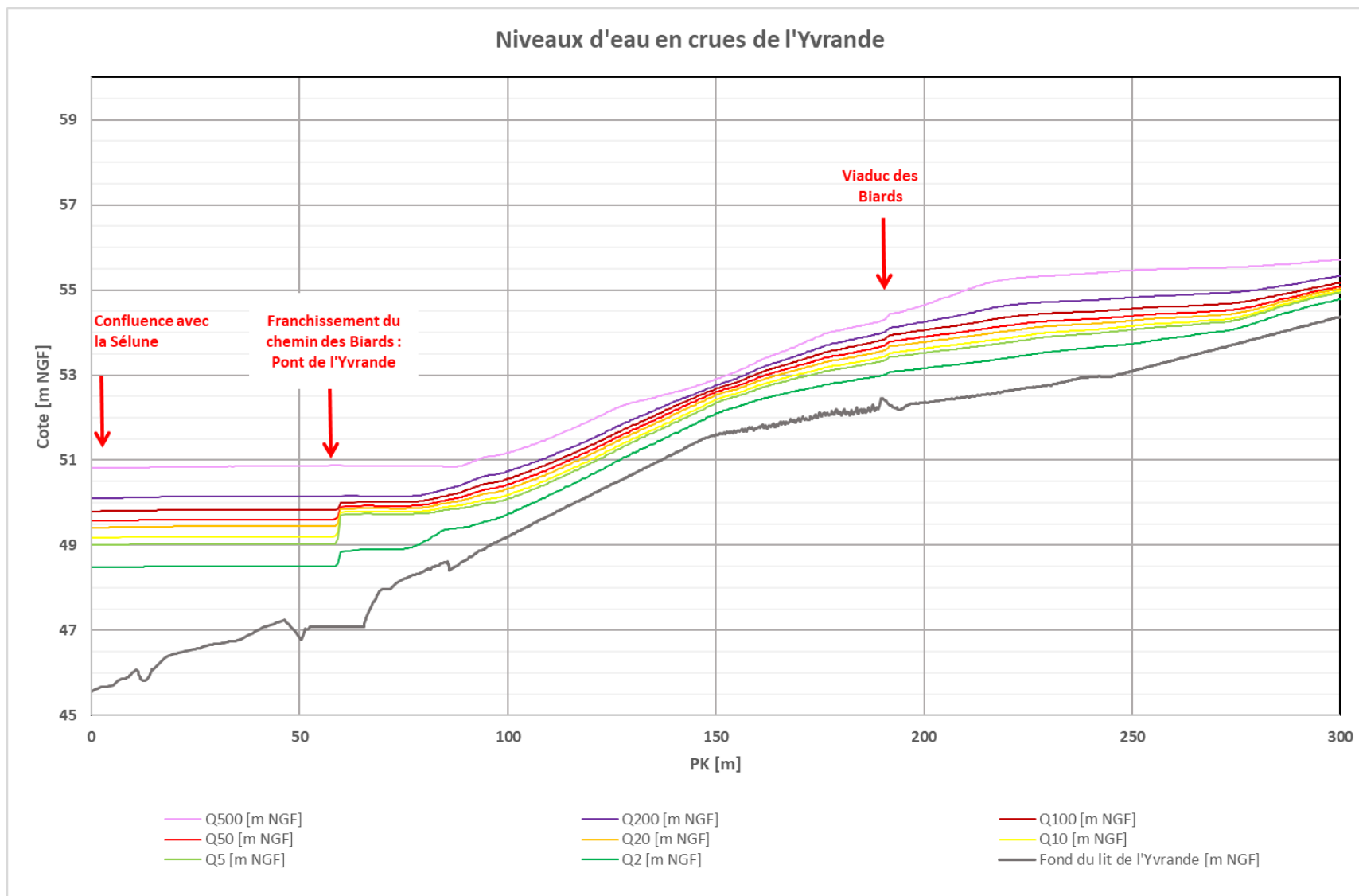


Figure 21 - Profils en long de l'Yvrande pour les différents débits étudiés (source : Antea Group, 2024)

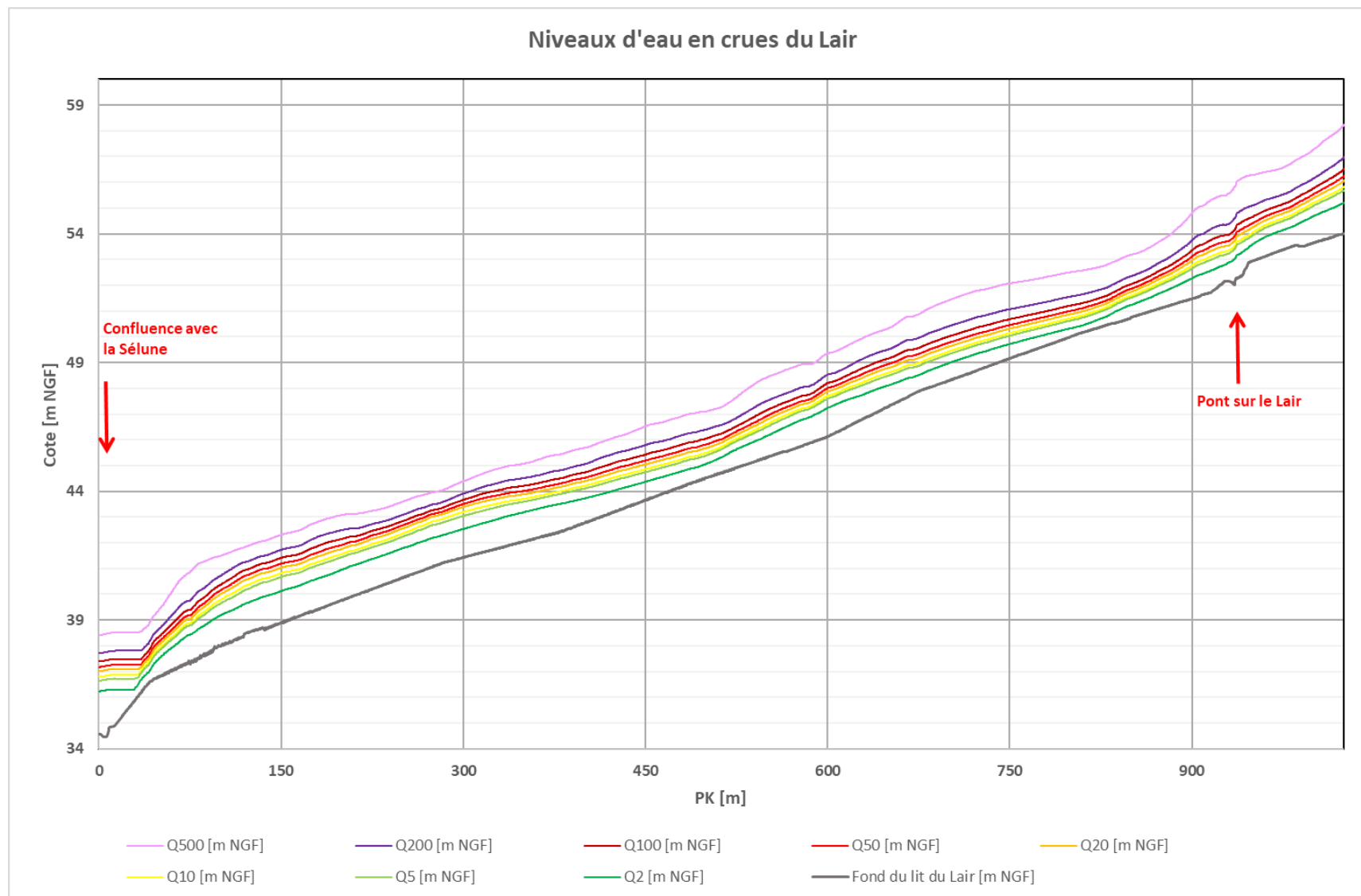


Figure 22 - Profils en long du Lair pour les différents débits étudiés (source : Antea Group, 2024)

Concernant la Sélune, on peut observer des pertes de charges (différences de hauteurs d'eau entre l'amont et l'aval) au droit de certains ouvrages restreignant le lit mineur.

C'est le cas en particulier pour le moulin des Biards et l'ancien pont des Biards.

Pour le moulin, les pertes de charges sont de 34 à 41 cm suivant les crues.

Au droit de l'ancien Pont des Biards, la perte de charge varie de 13 à 27 cm (Q10). Pour des crues importantes, elle tend à diminuer jusqu'à être quasi-nulle pour une crue de période de retour 500 ans. La cote du tablier du pont est à 50,13 m NGF. Le pont se trouve submergé un peu au-delà d'une crue de période de retour 50 ans (50,09 m NGF).

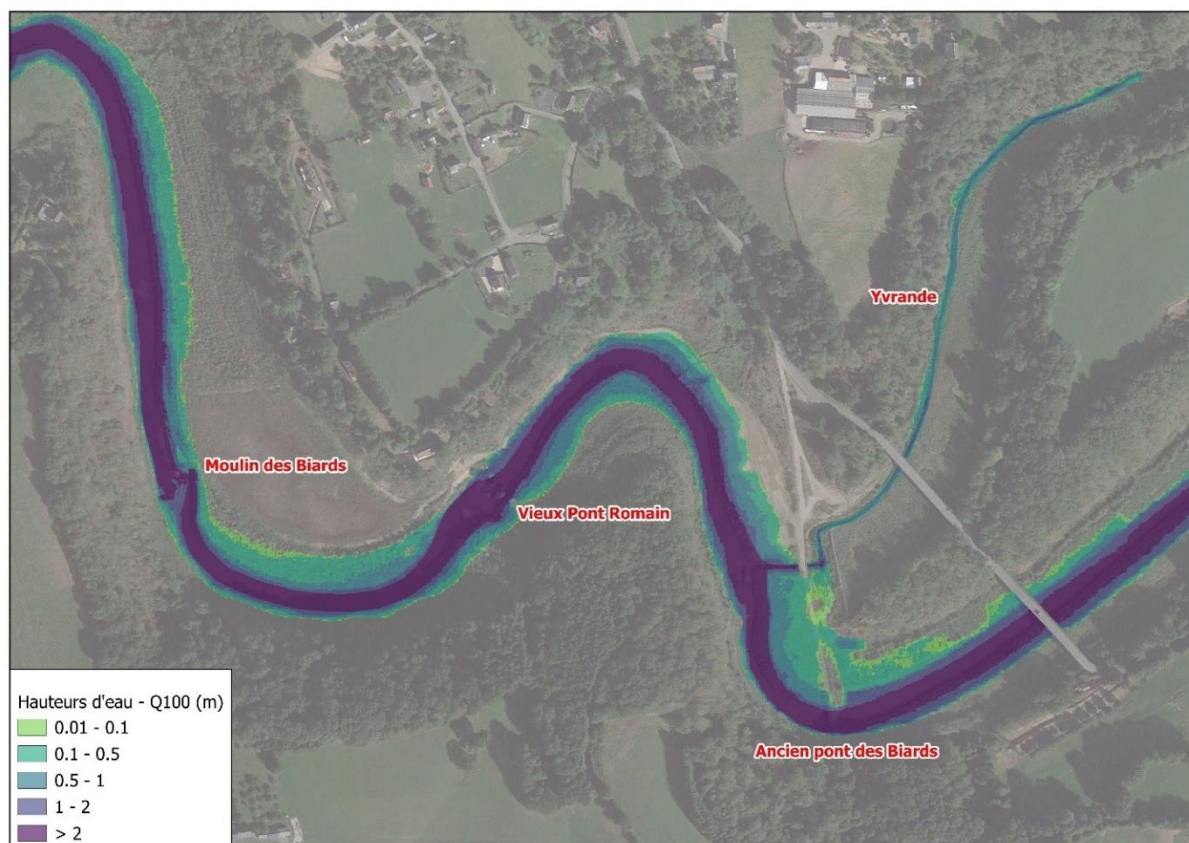


Figure 23 - Extrait de la carte des zones inondables pour Q100 sur le secteur des Biards
(Source : Antea Group, 2024)

Au niveau de l'ancien barrage de Vezins, le resserrement localisé de la vallée conduit à une perte de charge de l'ordre de 50 cm pour les différentes crues. Il est à noter que l'ancien sous-sol de bâtiment (alvéoles) n'est atteint par les eaux qu'à partir d'une crue de période de retour 500 ans. La plateforme voisine le long du bajoyer commence à être inondée dès une crue de période de retour 100 ans avec une hauteur d'eau maximale pour cette crue de 30 cm.



Figure 24 - Carte des hauteurs d'eau au droit de l'ancien barrage de Vezins pour une Q100
(Source : Antea Group, 2024)

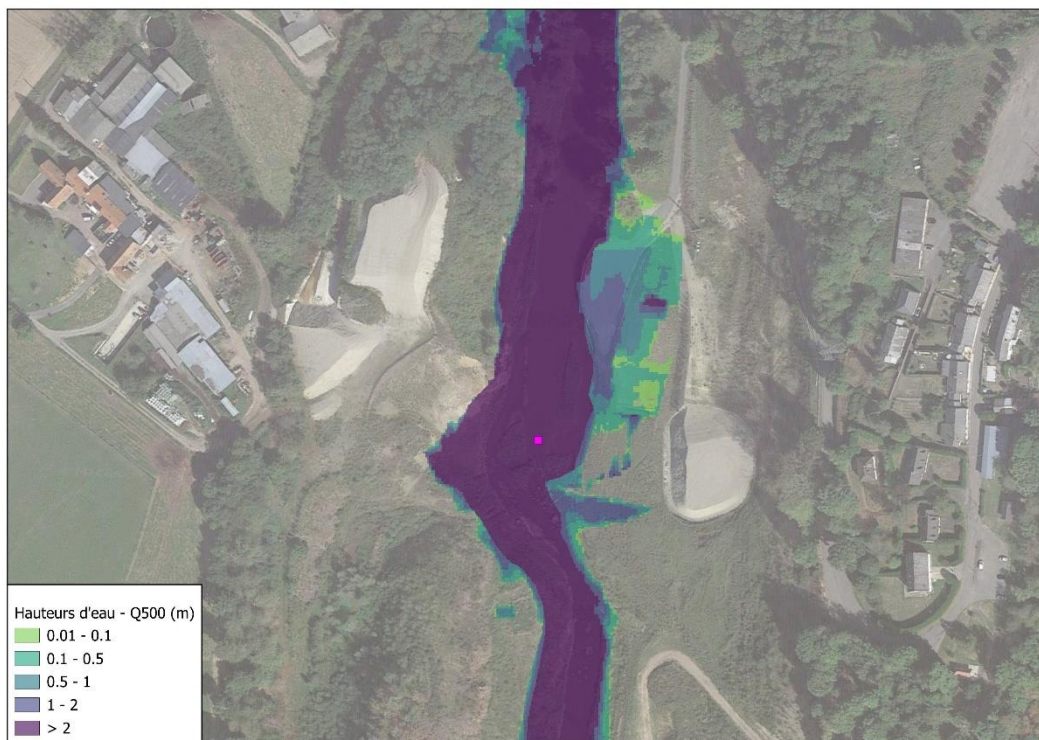


Figure 25 - Carte des hauteurs d'eau au droit de l'ancien barrage de Vezins pour une Q500
(Source : Antea Group, 2024)

Les zones inondées par les crues de la Sélune, sur le secteur d'étude, entre le pont de Virey et le barrage de Vezins, ne concernent aucun secteur à enjeux. Globalement, pour une crue de période de retour 2 ans, les écoulements sont contenus dans le lit mineur des cours d'eau. En amont du pont de Virey, en rive gauche, dans l'intrados du méandre de la Sélune on note une expansion des crues à la faveur d'une topographie basse du lit majeur. Pour une crue centennale, les débordements dans le lit majeur restent modérés du fait de la topographie assez haute, en particulier, au droit des secteurs rechargés en sédiments.

Concernant l'Yvrande, le lit de la rivière déplacé et le mur de gabions mis en place le long de sa rive gauche permettent de contenir les crues de l'affluent, jusqu'à des crues de période de retour 500 ans. Les premiers débordements se font en aval des casiers, au droit du franchissement du chemin des Biards, dès une crue de période de retour 5 ans.

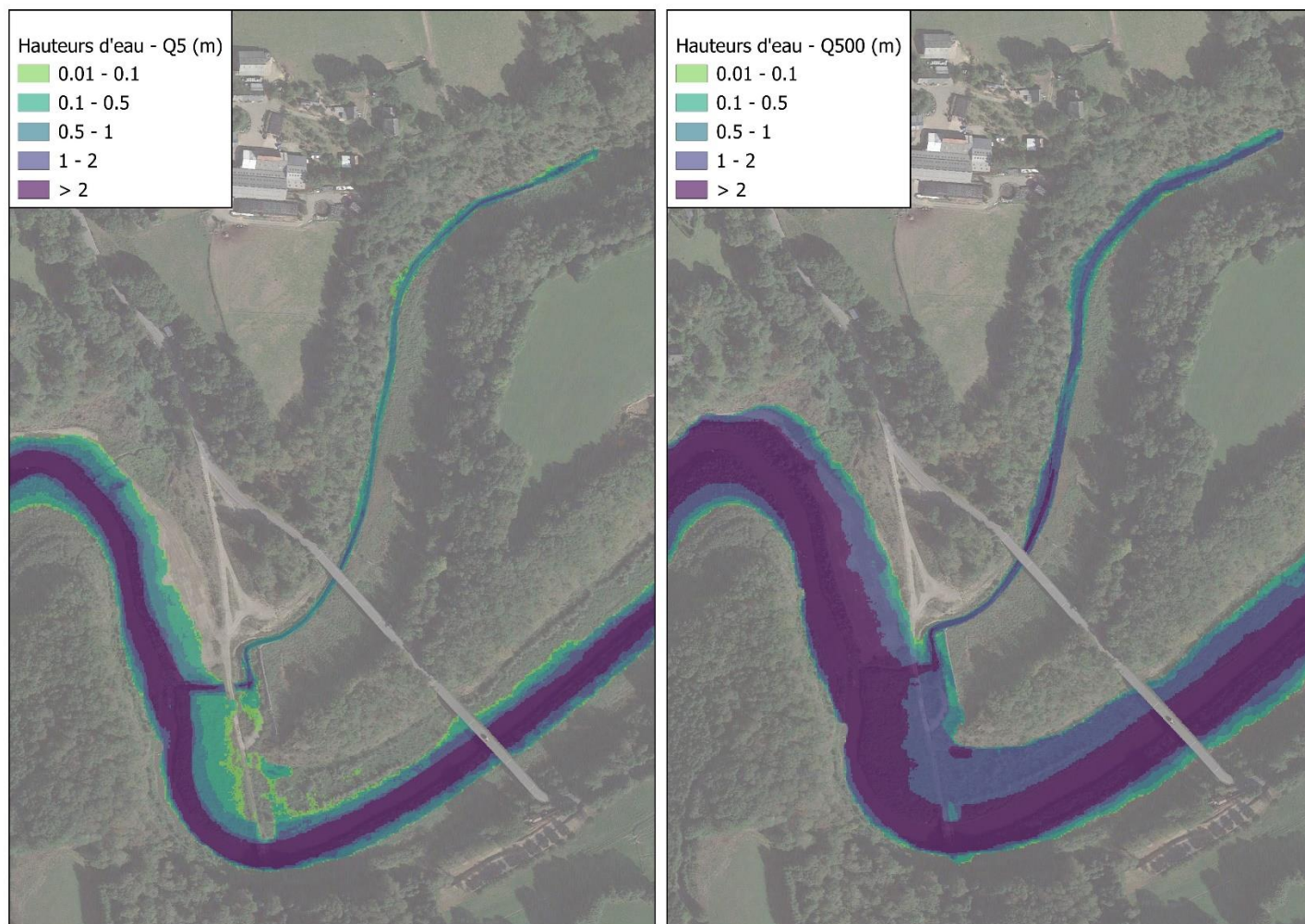


Figure 26 - Carte des hauteurs d'eau pour Q5 et Q500 sur l'Yvrande (Source : Antea Group)

Sur sa partie aval, l'écoulement de l'Yvrande est contraint par les niveaux de la Sélune.

L'ouvrage voûte existant permettant à l'Yvrande de franchir le chemin d'accès à l'ancien pont des Biards, se trouve submergé un peu avant une crue de période de retour 100 ans (cote du tablier à 49,8 m NGF pour un niveau centennal à 49,83 m NGF).

Enfin, concernant le Lair et l'Isolant, aucune problématique spécifique liée aux crues n'est à relever.

4 Analyse hydromorphologique

4.1 Typologie de la Sélune sur le secteur d'étude

La Sélune au niveau du site d'étude est une rivière de plaine de type méandriforme (pente de l'ordre de 0,195 % au droit du projet).

Pour les calculs présentés dans ce paragraphe, la zone d'étude est divisée en 6 secteurs :

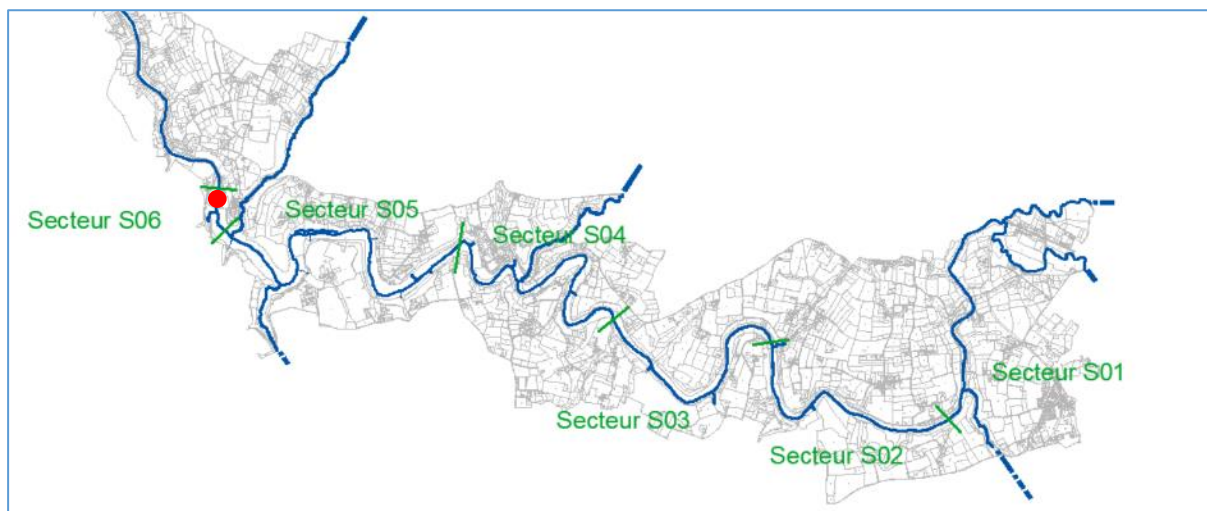


Figure 27 - Sectorisation de la zone d'étude (Source : Antea Group)

Le profil en long peut être décomposé en 5 tronçons de pentes distinctes :

			ΔH	Pente
Pente 1	-	58.43	4.40	0.088%
	5 000.00	54.02		
Pente 2	5 000.00	54.02	11.07	0.148%
	12 500.00	42.96		
Pente 3	12 500.00	42.96	7.65	0.212%
	16 100.00	35.31		
Pente 4	16 100.00	35.31	16.46	0.422%
	20 000.00	18.85		
Pente 5	20 000.00	18.85	3.52	0.169%
	22 087.28	15.33		
			43.10	0.195%

Figure 28 - Pentes du profil en long de la Sélune (Source : Antea Group)

La pente 1 est la plus faible : elle s'étend de l'amont de la zone d'étude jusqu'au moulin de la Charbonnière sur une longueur d'environ 5 km pour une hauteur de chute de 4,40 m (0,088%).

La pente 4 est la plus forte : elle s'étend sur environ 3,9 km du moulin de la Charbonnière jusqu'en aval du moulin de Vezins (0,422%).

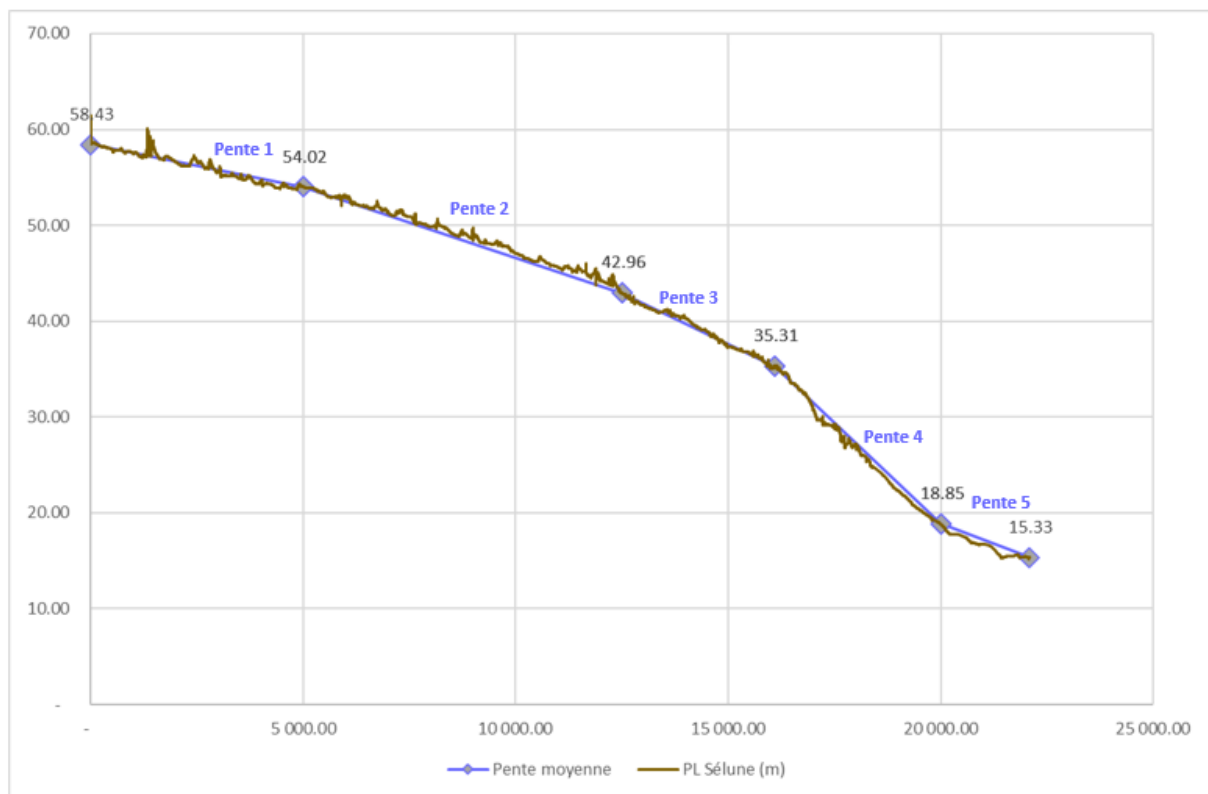


Figure 29 - Décomposition générale du profil en long de la Sélune (Source : Antea Group)

L'énergie potentielle spécifique EPS d'un cours d'eau est une variable clef de l'équilibre morphodynamique.

Schématiquement, elle caractérise les potentialités dynamiques de la rivière (énergie développée par la rivière) pour une crue de fréquence considérée (généralement biennale ou de plein bord) et une section donnée.

Cette énergie est déterminée par la formule suivante :

$$EPS = \frac{\rho \times g \times Q_{pb} \times S}{l}$$

Avec

ρ	la masse volumique de l'eau = 1000 kg/m ³
g	l'accélération de la pesanteur = 9,81 m/s ²
Q_{pb}	le débit de plein bord
S	la pente du lit du cours d'eau
l	la largeur du chenal

Il est généralement considéré qu'une rivière est active (réajustements morphologiques possibles) au-delà de 25 à 35 W/m² (cf. Figure ci-après).

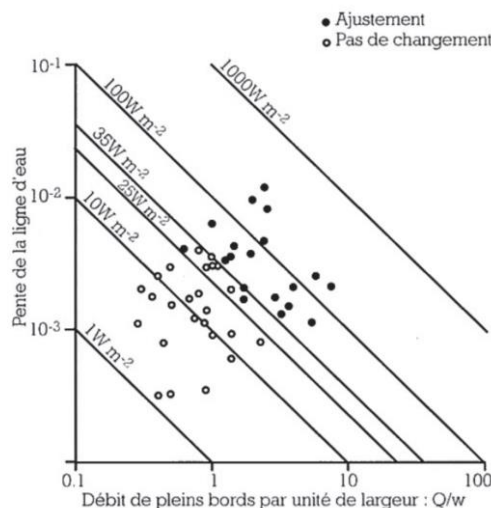


Figure 30 - Seuils de puissance spécifique (d'après Brookes, 1988 in Wasson et al., 1998).

Pour les besoins de cette étude, 199 profils en travers de la Sélune ont été relevés par TOPDESS en 2023. La Sélune présente de manière générale une largeur de l'ordre de 15-20 m pour une profondeur plein bord pouvant varier de 0,8 m à 2,5 m environ. Le tableau ci-dessous présente les EPS calculés pour différents profils sur les tronçons de la Sélune définis précédemment :

Pentes		N° Profil	Largeur	Profondeur	Débit plein bord	Energie potentielle spécifique	Activité du cours d'eau
Pente 1	0,088%	PT_S_Am_17	20 m	2,5 m	82,4 m³/s	35,6 W/m²	Rivière active
		PT_S_Am_42	14 m	1,6 m	27,7 m³/s	17,1 W/m²	Rivière assez faiblement active
Pente 2	0,148%	PT_S_Am_93	9 m	1,5 m	19,7 m³/s	31,7 W/m²	Rivière active
		PT_S_Am_116	20 m	2,5 m	106,9 m³/s	77,6 W/m²	Rivière active
Pente 3	0,212%	PT_S_Am_130	14 m	0,9 m	17,5 m³/s	25,9 W/m²	Rivière assez faiblement active
		PT_S_Am_154	17 m	1,2 m	34,0 m³/s	41,6 W/m²	Rivière active
Pente 4	0,422%	PT_S_Am_162	25 m	0,9 m	45,5 m³/s	75,4 W/m²	Rivière active
		PT_S_Am_172	17 m	1,3 m	54,4 m³/s	132,6 W/m²	Rivière fortement active
Pente 5	0,169%	PT_S_Av_3	20 m	0,8 m	18,9 m³/s	15,6 W/m²	Rivière assez faiblement active
		PT_S_Av_20	10 m	0,9 m	10,8 m³/s	17,9 W/m²	Rivière assez faiblement active

Tableau 9 - Energie potentielle de la Sélune par tronçon (source : Antea Group)

Pour l'Yvrande, pour une largeur moyenne de 6 m, une profondeur moyenne de 2 m et une pente moyenne de 2,1%, l'EPS est évaluée à 69,2 W/m². L'affluent est donc classé comme actif.

4.2 Evolution générale en plan

Les cartes suivantes rappellent le tracé de la Sélune à différentes époques :

- Dans le cadre de l'établissement de la carte d'Etat Major sur la période 1820-1866 ;
- En 1977, dans le cadre d'une campagne de photographies aériennes ;
- En 2023, sur les vues aériennes Google.

On peut constater que le tracé en plan du lit de la Sélune n'a pas évolué dans le temps à grande échelle, sur le périmètre de l'étude. La Sélune suit les méandres de la vallée mais avec des tronçons successifs relativement rectilignes.

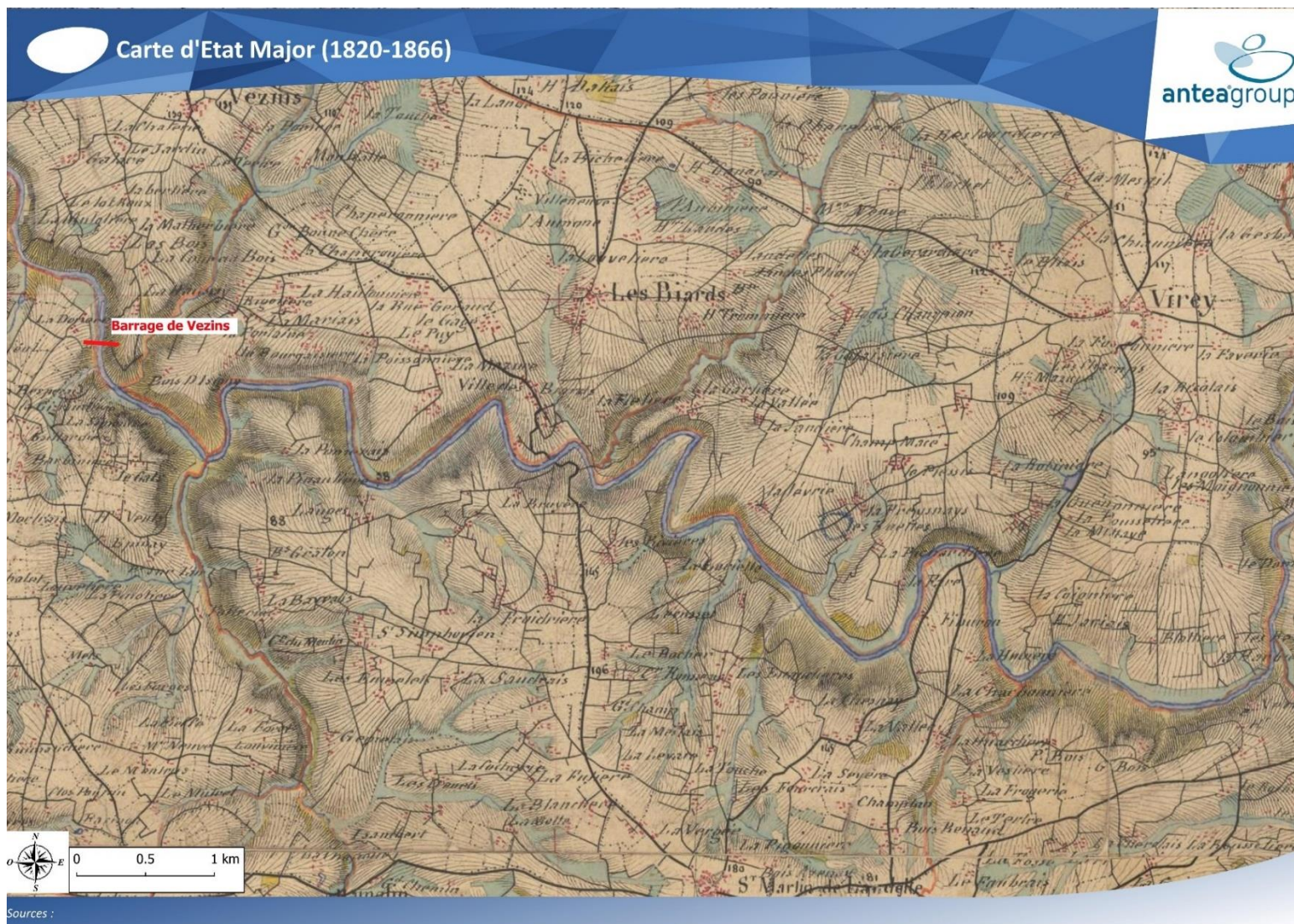


Figure 31 - Tracé de la Sélune et de ses affluents – Carte d'Etat Major 1820-1886 (Source : IGN)

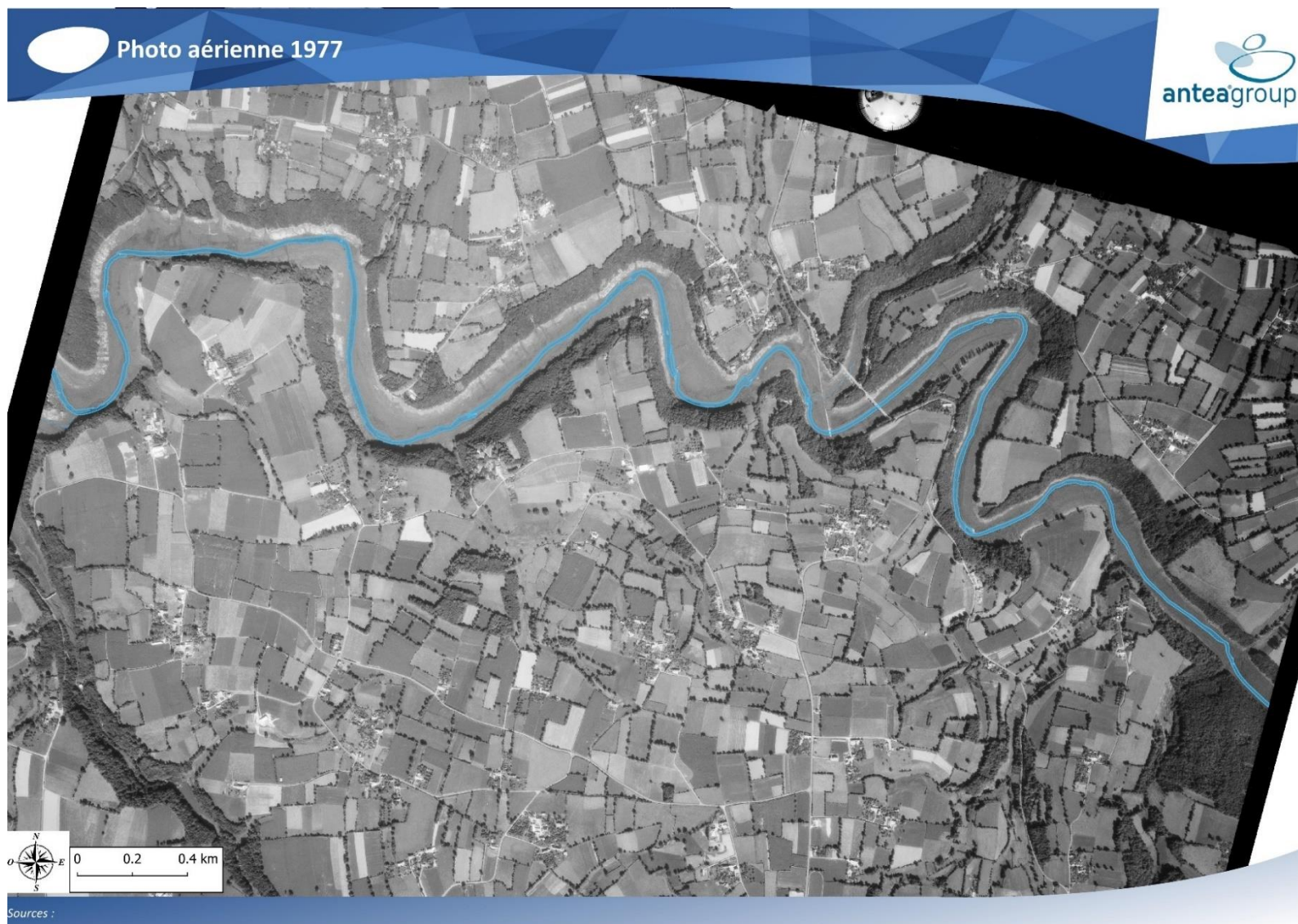


Figure 32 - Tracé de la Sélune et de ses affluents – Photo aérienne 1977 (Source : IGN)

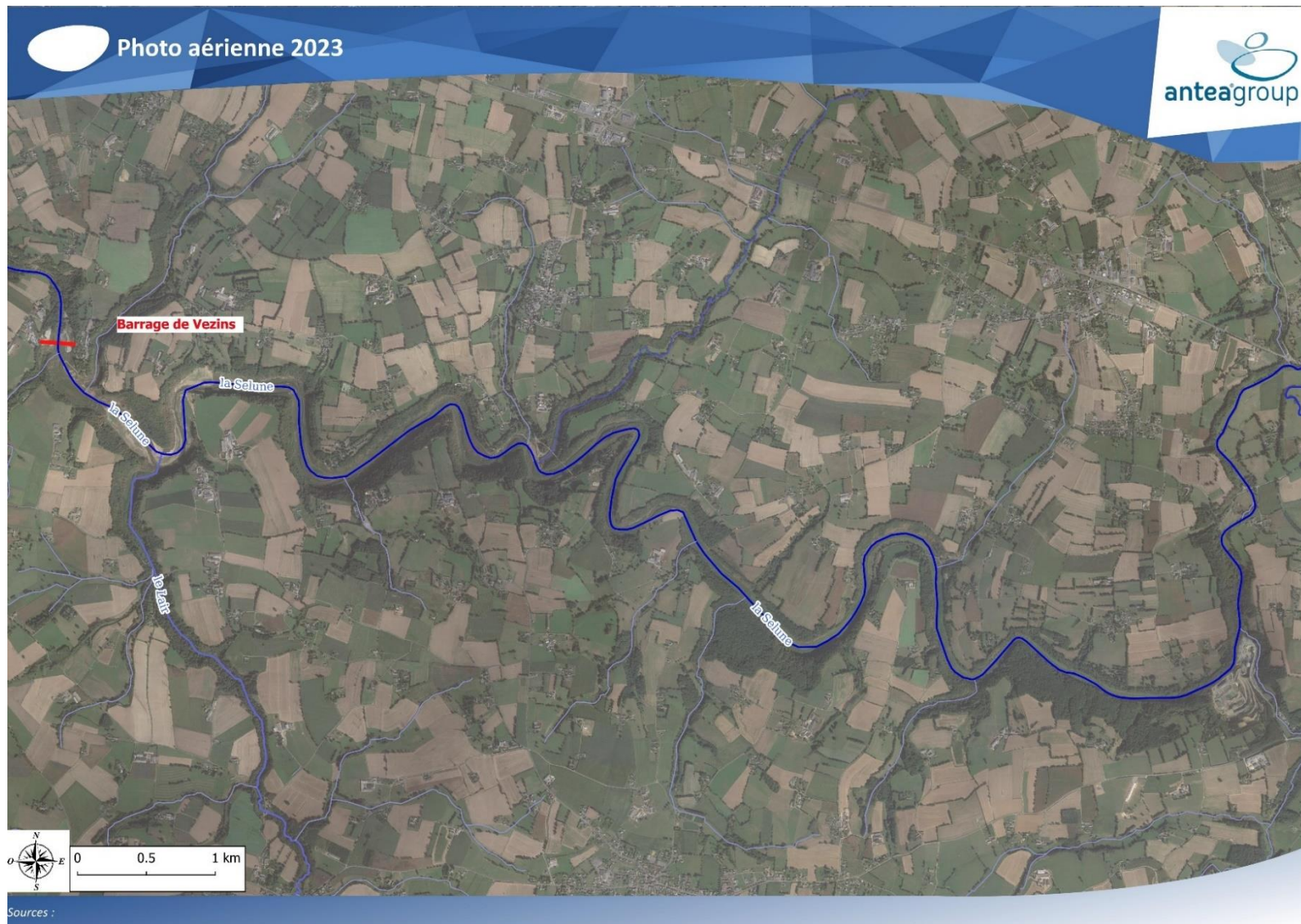


Figure 33 - Tracé de la Sélune et de ses affluents – Photo aérienne 2023 (Source : Google)

Concernant l'Yvrande, avant les travaux d'arasement du barrage de Vezins et la création des casiers de stockage de sédiments, le lit de l'affluent méandrait en amont de la confluence avec la Sélune.



Figure 34 - Vue aérienne de l'Yvrande en aval du pont des Biards (Source : IGN)

La carte suivante présente les tracés de l'Yvrande en 1977 et 2023. Suite à l'aménagement des casiers de stockage de sédiments et au déplacement latéral du cours d'eau, le lit de l'Yvrande est plus rectiligne, avec une contrainte plus importante à l'aval des casiers, en amont du chemin des Biards, où le lit du cours d'eau suit 2 courbes serrées successives (tracé en S).



Figure 35 - Comparaison des lits de l'Yvrande aval entre 1977 et 2023 (Source : IGN et Google)

4.3 Evolution du profil en long de la Sélune et de ses affluents

Un profil en long des lignes d'eau et du fond du lit de la Sélune a été établi par ARTELIA en décembre 2013. La figure 36 ci-après présente la superposition du profil en long établi dans le cadre de la campagne topographique TOPDESS en 2023, avec ces anciens profils.

On peut constater un abaissement local du fond du lit qui s'explique par la vidange de l'ancienne retenue et les travaux de gestion sédimentaire qui l'ont accompagnée, avec le recreusement du lit de la Sélune au fur et à mesure de la vidange.

La visite de terrain effectuée par nos soins fin 2022, avec un parcours du lit de la Sélune sur l'ensemble du linéaire d'étude, n'a pas mis en évidence de traces importantes d'incision du lit (érosion de berge, affouillements, etc.). Le lit de la Sélune semble donc relativement stable sur ce linéaire d'étude.

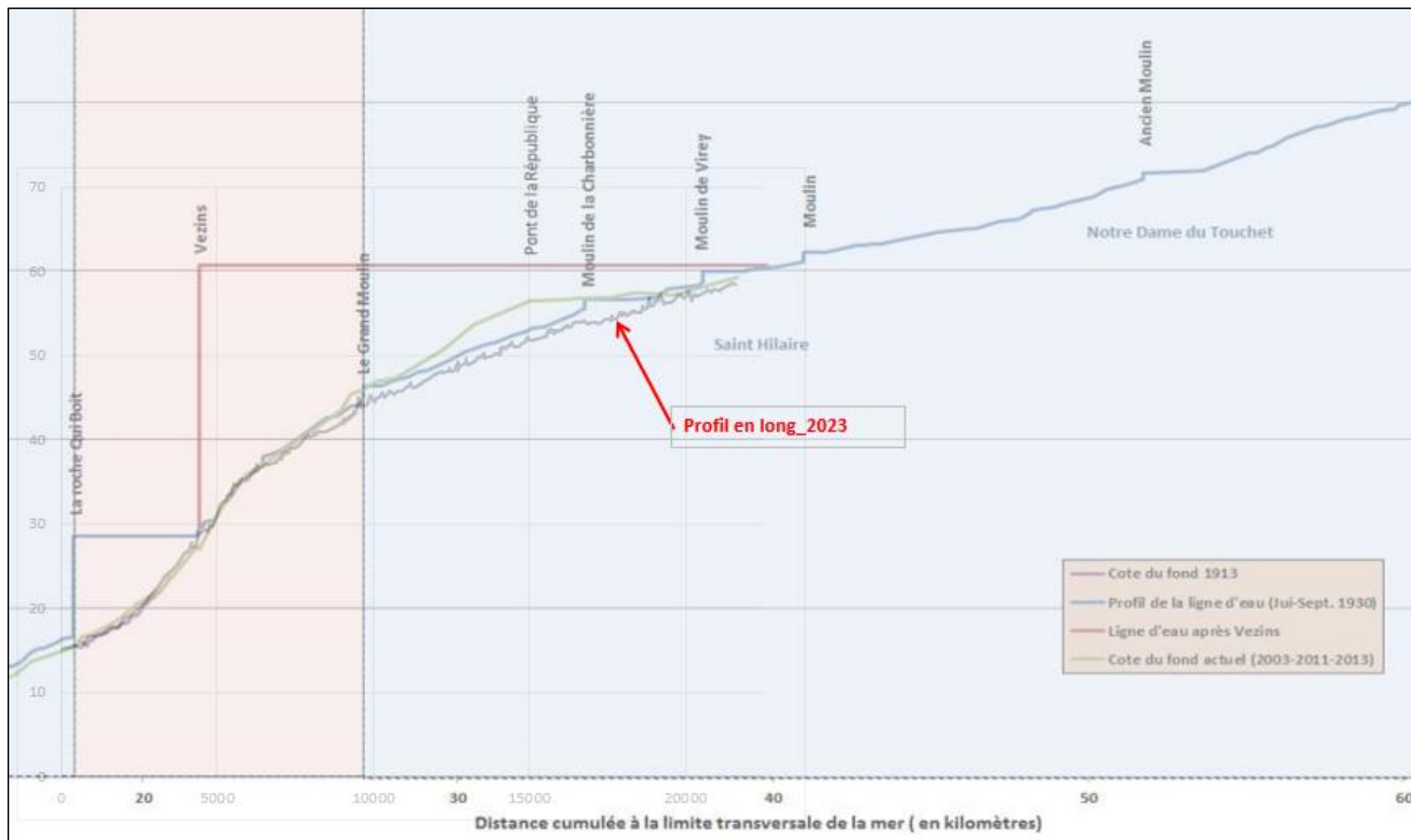


Figure 36 - Comparaison des profils en long de la Sélune (Source : ARTELIA 2013 et TOPDESS 2023)

Concernant l'Yvrande, la création des casiers de stockage de sédiments s'est accompagnée du déplacement latéral du lit de l'affluent, en rive droite. Ce lit déplacé est dorénavant rectiligne, avec des vitesses d'écoulement qui peuvent atteindre 1,8 m/s pour des crues faibles (crue biennale).

Le lit de l'affluent ne dispose donc plus de possibilité de mobilité latérale du fait de la présence des affleurements rocheux en rive droite et des digues en gabions des casiers en rive gauche. Ces digues en gabions reposent sur des matelas gabions qui descendent jusqu'au fond du lit de l'Yvrande. La figure ci-dessous rappelle ce principe d'aménagement de l'Yvrande.

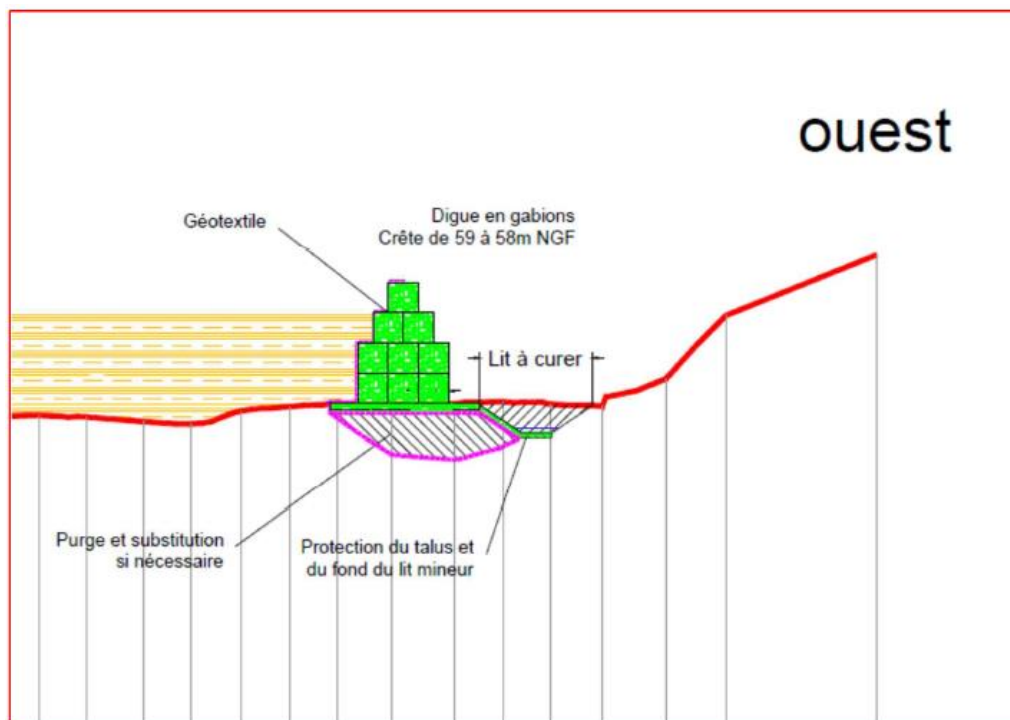


Figure 37 - Coupe type des gabions mis en place dans le lit de l'Yvrande (Source : VINCI Constructions 2017)

Dans ce contexte, compte tenu de la contrainte imposée sur le lit de l'Yvrande, il conviendra d'assurer un suivi régulier des ouvrages en gabions situés sur sa rive gauche, afin de détecter tout phénomène d'érosion qui viendrait déstabiliser l'assise des digues. Des résurgences sont également observées au pied de la digue aval des casiers, dans l'axe de l'ancien lit de la Sélune.

Enfin, sur l'Yvrande, on note divers désordres au droit de l'ouvrage de franchissement du chemin des Biards. En entrée de l'ouvrage, on peut observer une chute d'eau, et une fosse d'affouillement s'est formée à son exutoire sur une profondeur d'environ 45 cm. Les berges, en particulier celle en rive gauche, se trouvent aussi érodées. A terme, la stabilité de l'ouvrage et du chemin des Biards peut donc être affectée.

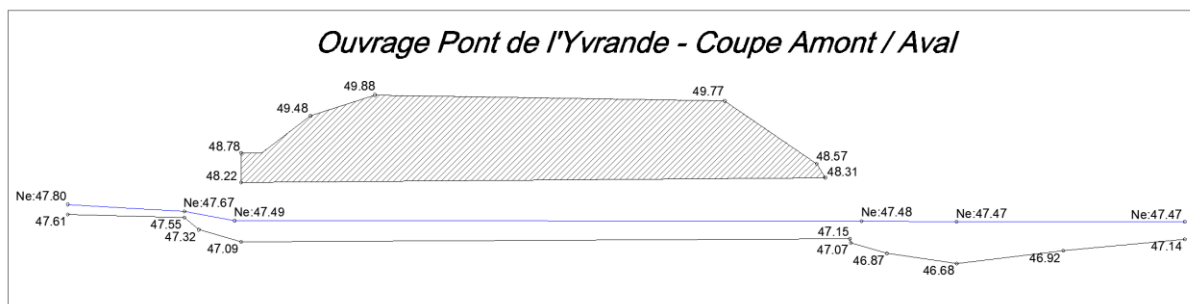


Figure 38 - Profil en long de l'ouvrage de franchissement du chemin des Biards par l'Yvrande (Source : TOPDESS, 2023)

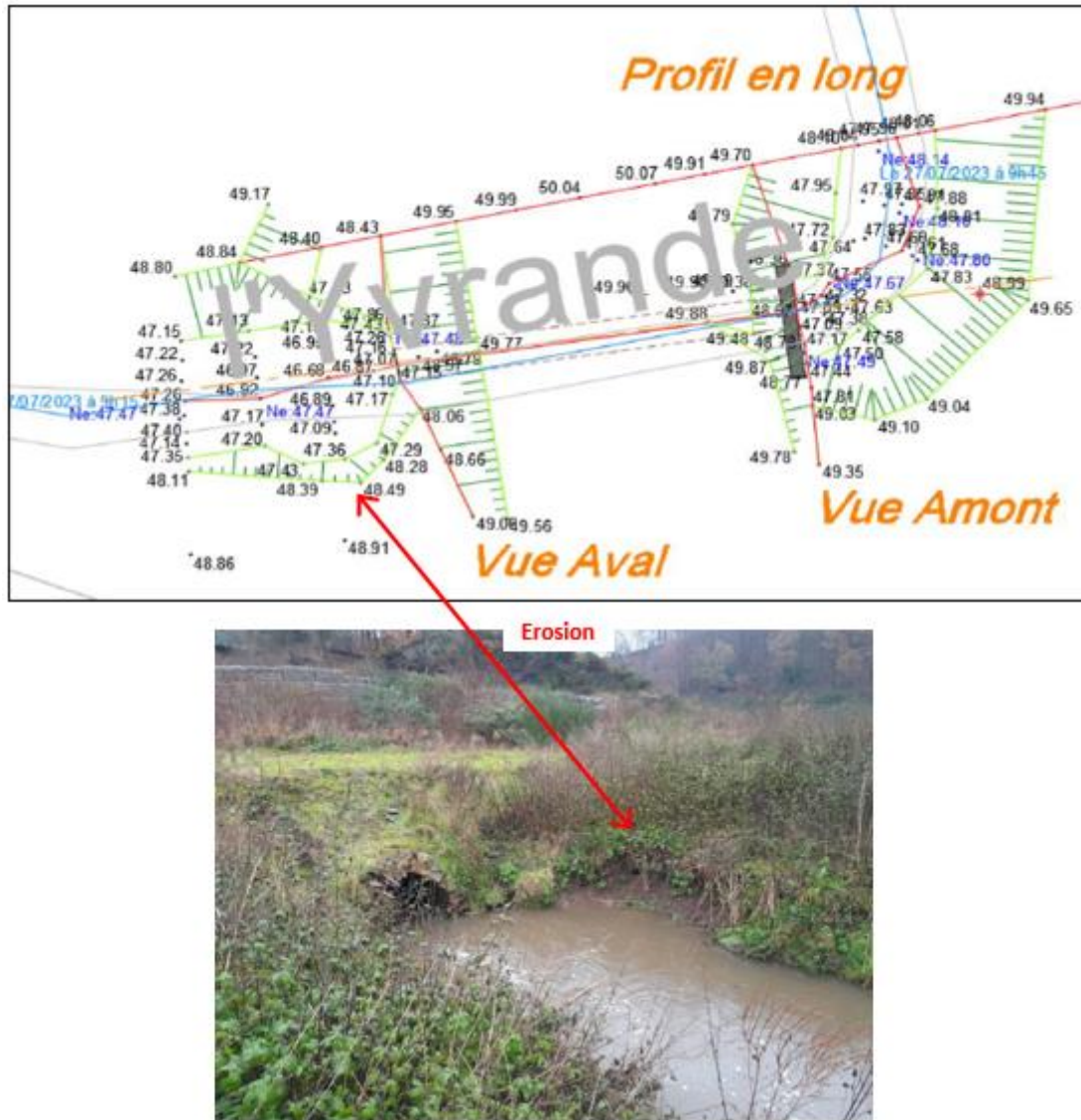


Figure 39 - Erosion de berge à l'exutoire de l'ancien pont de l'Yvrande (Source : TOPDESS et Antea Group)

4.4 Evolution sédimentaire de la Sélune

Dans le cadre de l'effacement du barrage de Vezins, les travaux de gestion sédimentaire et de creusement du lit de la Sélune réalisés en 2017-2019 au fur et à mesure de la vidange ont fait l'objet de levés de récolement par l'entreprise Vinci Construction Terrassement (VCT). Les profils en travers de récolement ont été réalisés à raison d'un profil tous les 25 m.

Les profils en travers réalisés par TOPDESS en 2023 ont été réalisés avec un espacement de 100 m et calés sur les profils en travers de récolement (1 sur 4).

Néanmoins, des difficultés ont été rencontrées pour arriver à superposer les profils en travers VCT et les profils en travers TOPDESS : de nombreux profils en travers VCT sont incomplets et/ou non géoréférencés et ne permettent pas d'effectuer un calage latéral fiable des profils.

Les superpositions et comparaisons les plus fiables qui ont pu être réalisées concernent le secteur amont et le secteur aval sont présentées en **annexe III**.

Sur le secteur amont (profils 39 à 62), on note que le lit n'a pas beaucoup évolué. Localement, un léger creusement du fond du lit, inférieur à une dizaine de centimètres, peut s'observer (profils 40, 46 et 58). De même, on ne note pas d'évolution latérale significative du lit à ce stade. Seul le profil 62, présente une légère évolution en rive gauche.

Sur le secteur aval (profils 137 à 154), l'évolution de la Sélune est plus marquée, en particulier à partir de profil 150. Le lit s'est creusé depuis 2019 avec des approfondissements de l'ordre de 50-80 cm. Les pentes de berges ont tendance à se raidir. Toutefois, à ce stade, il n'est pas observé d'évolution latérale de la Sélune et aucun enjeu particulier n'est relevé.

On peut ainsi constater que depuis la fin des travaux de gestion sédimentaire, soit environ 4 à 6 ans, les profils en travers de la Sélune n'ont pas évolué de manière notable sur les secteurs étudiés.

4.5 Conclusions

Sur la Sélune, le Lair et l'Isolant, il n'est pas relevé de dysfonctionnement hydromorphologique notable ou d'enjeu particulier. Aucune intervention particulière sur le lit de ces cours d'eau n'apparaît donc nécessaire vis-à-vis de cette thématique.

Sur le secteur de l'Yvrande, il apparaît nécessaire de prévoir :

- Une reprise du franchissement du chemin des Biards en aval des casiers, en reconstruisant un ouvrage réaligné sur le tracé du lit de l'Yvrande déplacé en rive droite, afin de supprimer les contraintes liées au tracé actuel en S sur cette zone. Compte tenu de la pente et des vitesses d'écoulement, des ouvrages d'entonnement amont et aval en enrochements seront à prévoir au niveau du nouvel ouvrage afin de limiter les érosions de berge.

Remarque : Le diagnostic réalisé sur la thématique « Continuité écologique » a aussi mis en évidence que le vieux pont existant constituait un obstacle au franchissement piscicole (cf. Rapport MBS/MOER/DIAG/CE02A).

- Une surveillance régulière des ouvrages en gabions situés sur la rive gauche de l'Yvrande, afin de détecter tout phénomène d'érosion qui viendrait déstabiliser l'assise des digues.

En cas de signes d'évolution préjudiciable, il pourra notamment être envisagé de mettre en place des petits seuils franchissables, autour d'une pente d'équilibre de la rivière, pour stabiliser son profil en long. Il s'agira par exemple de mettre en place des petits seuils en enrochements ayant une hauteur de chute inférieure à 20 cm, ancrés suffisamment pour limiter les phénomènes de contournement et avec une forme légèrement incurvée en leur centre pour permettre une lame d'eau suffisante lors des périodes d'étiage.

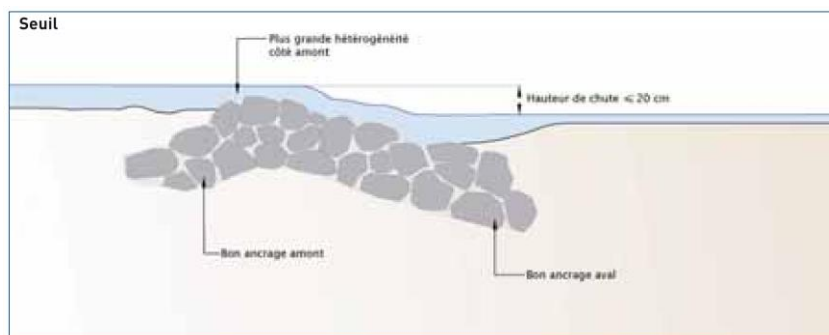
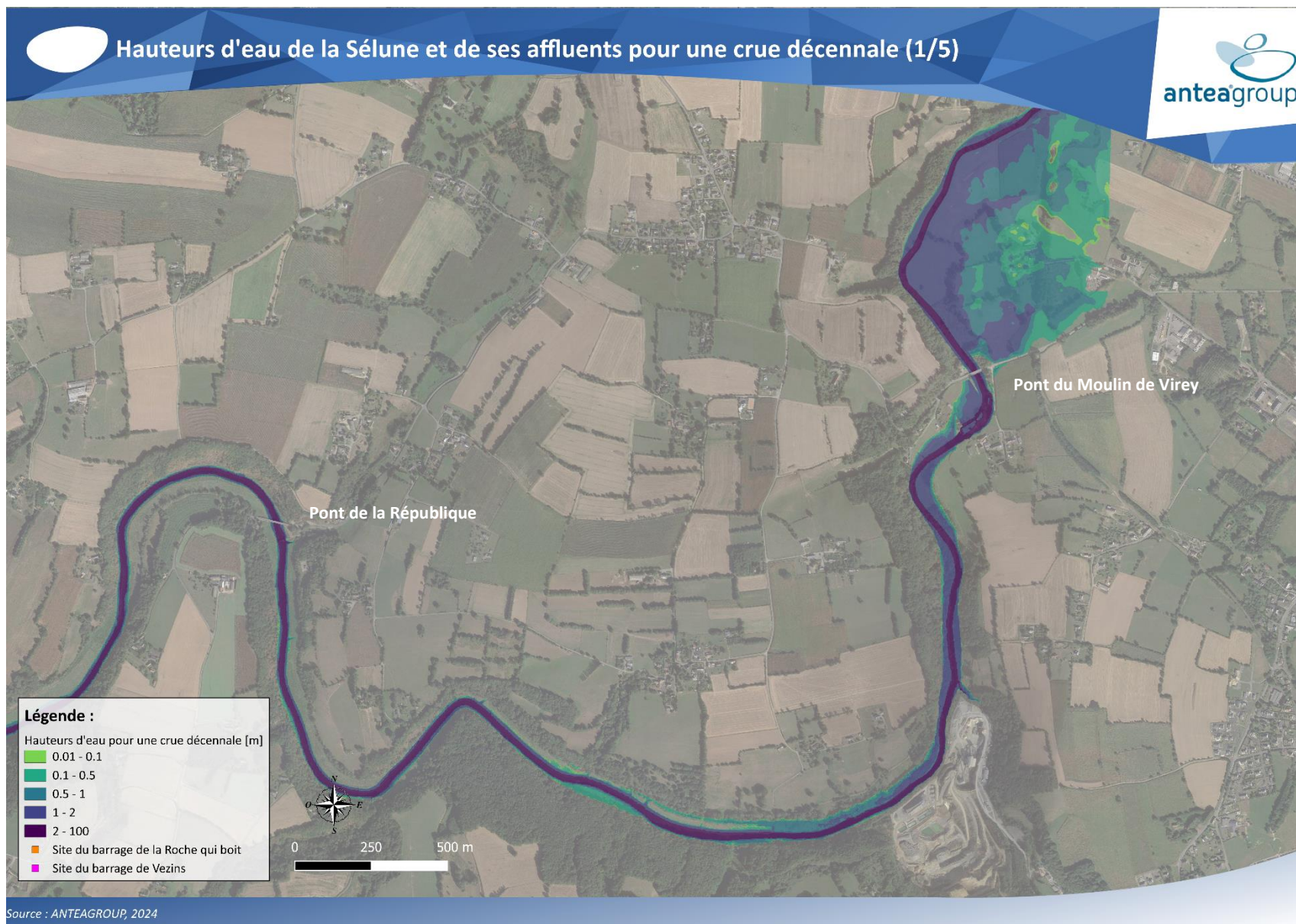
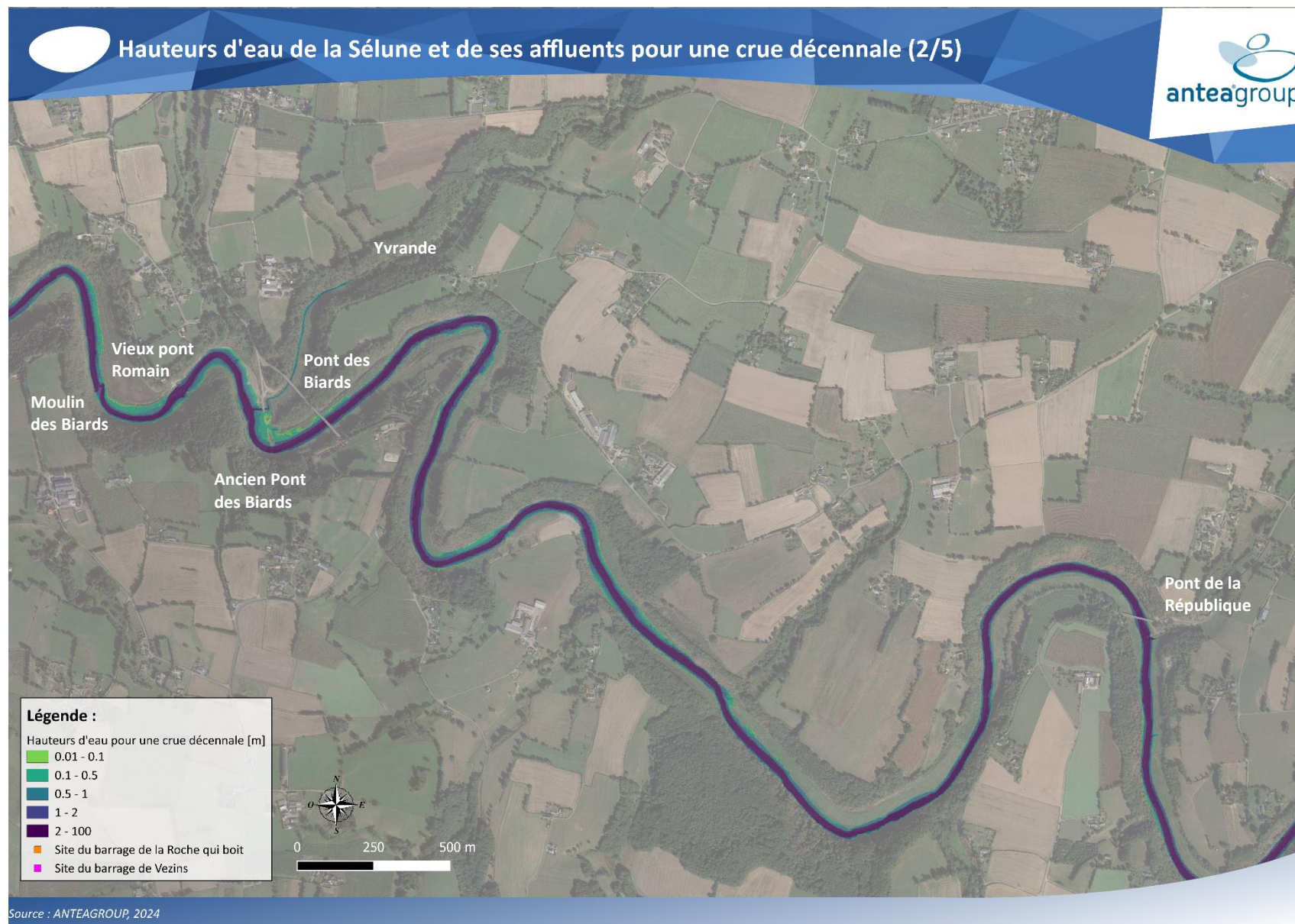


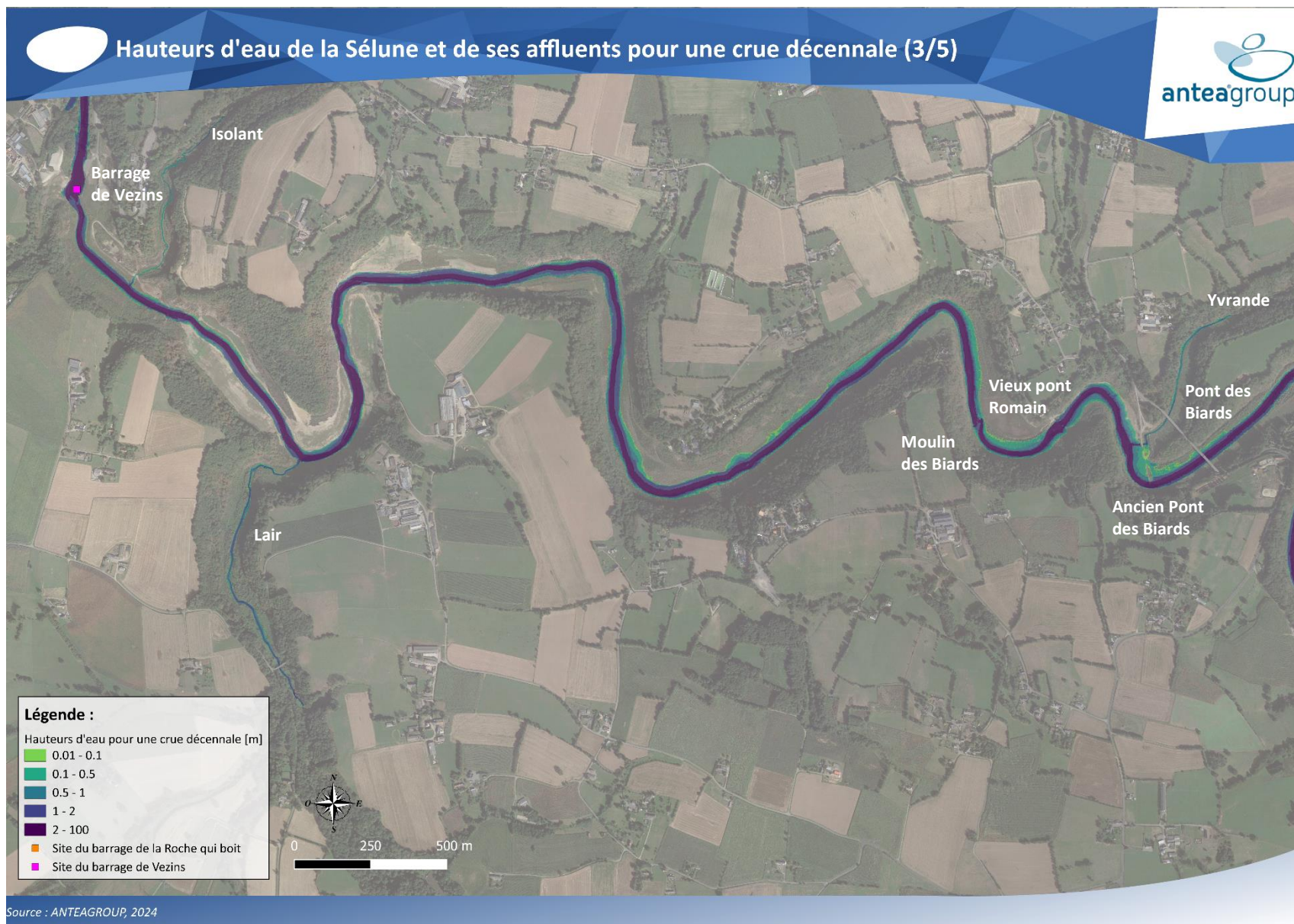
Figure 40 - Exemple de petit seuil en enrochements (Source : Manuel de restauration hydromorphologique de cours d'eau – Fiche 6)

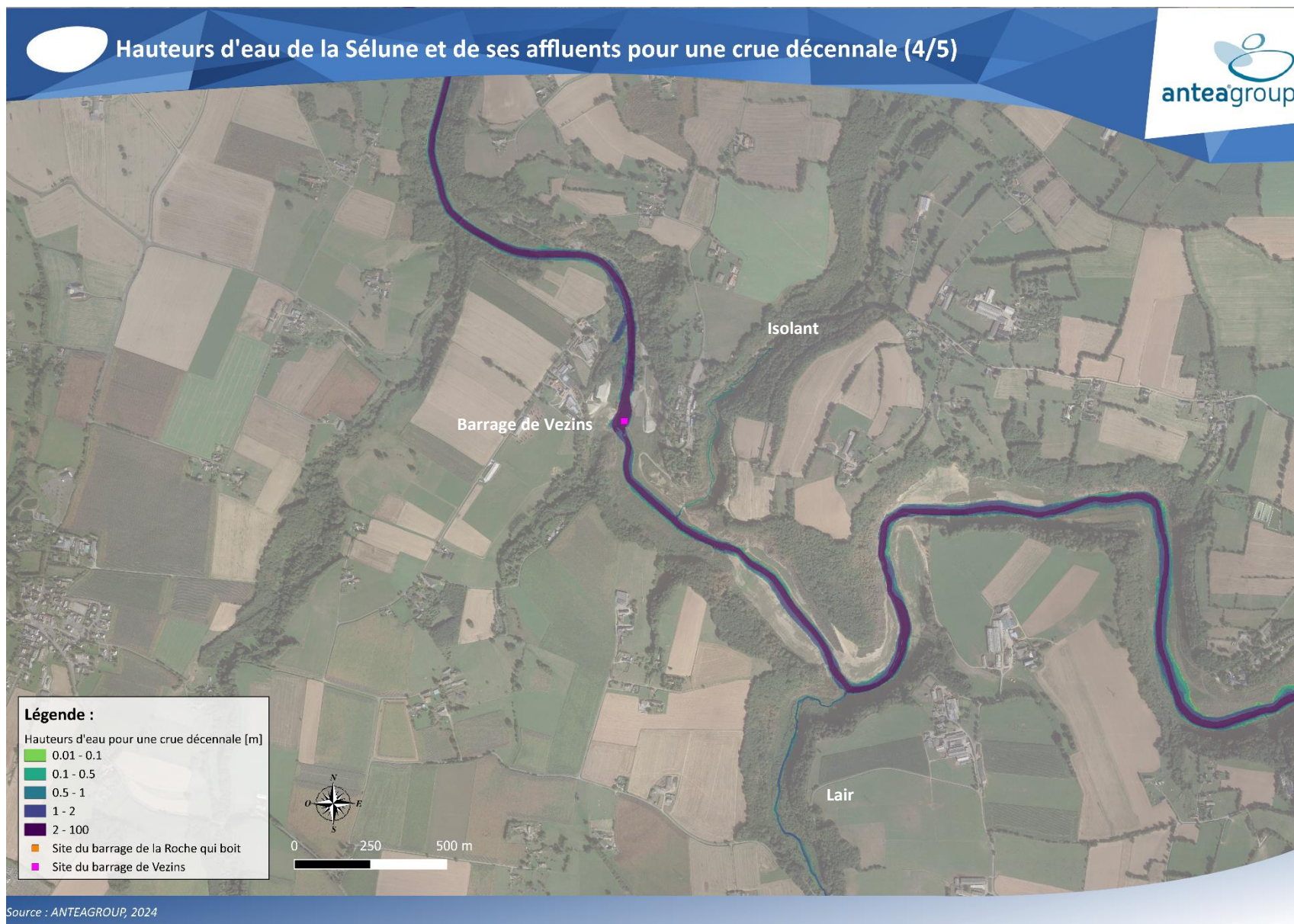
ANNEXES

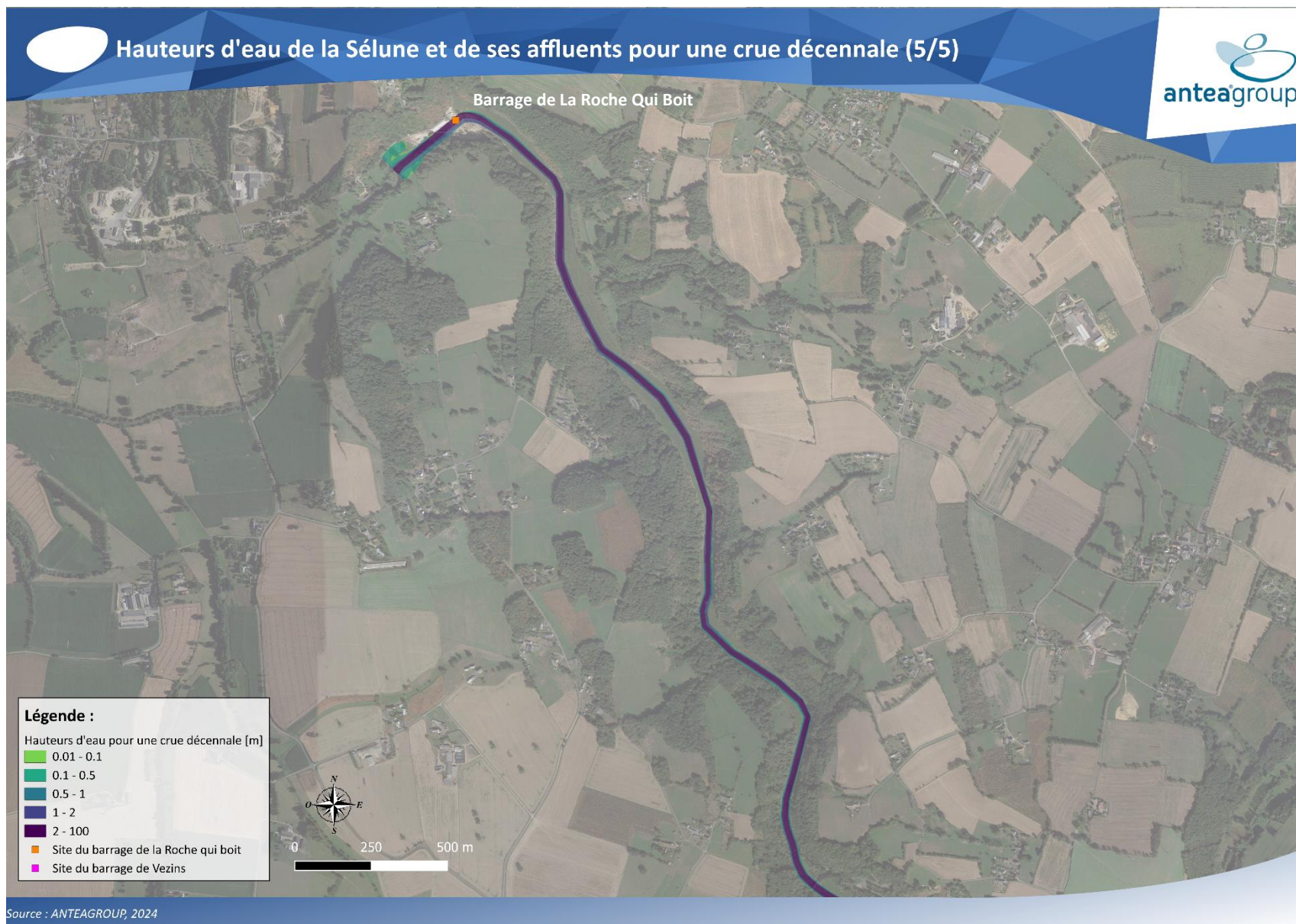
Annexe I : Cartographie des hauteurs d'eau de la Sélune et de ses affluents pour une crue décennale



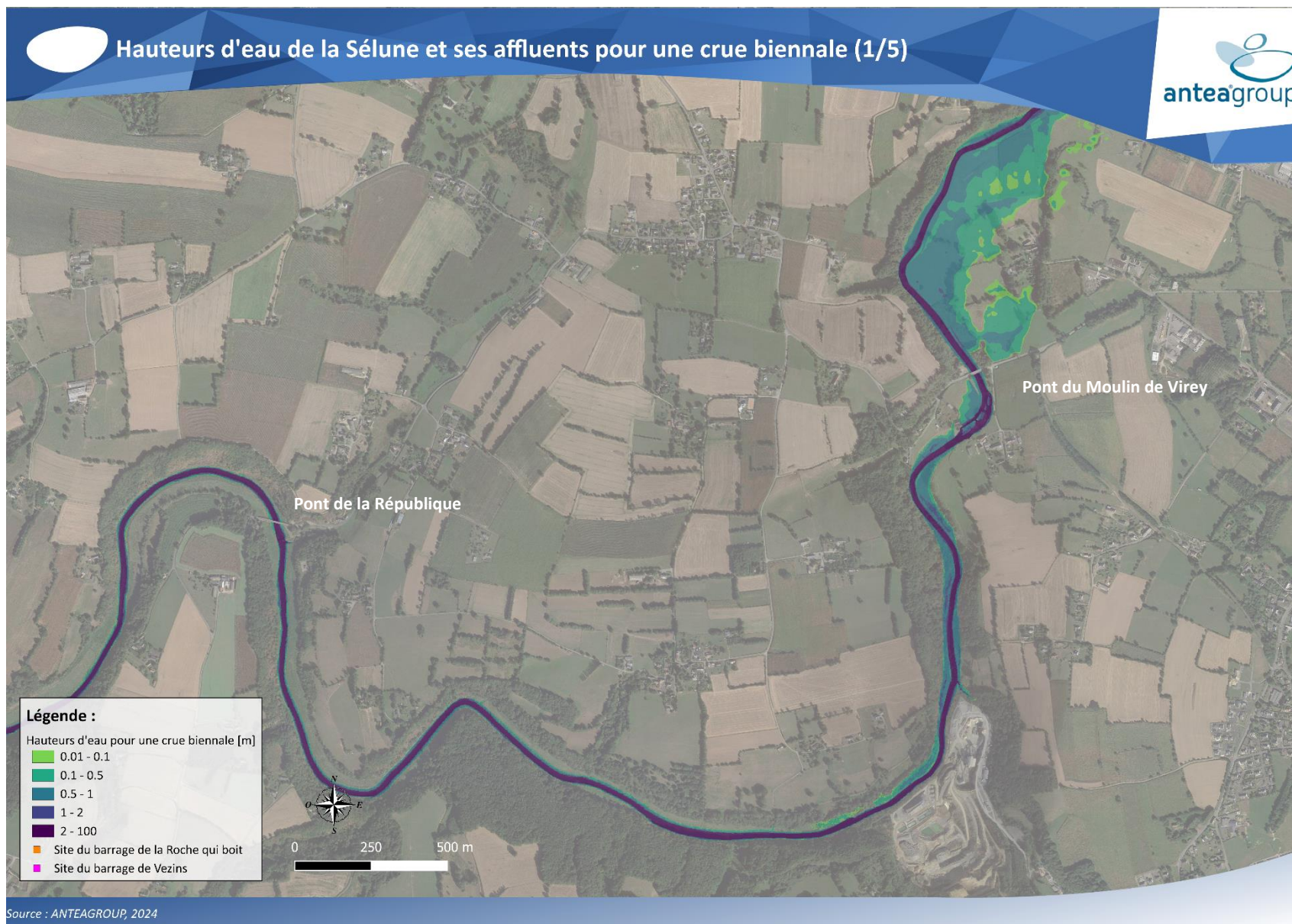


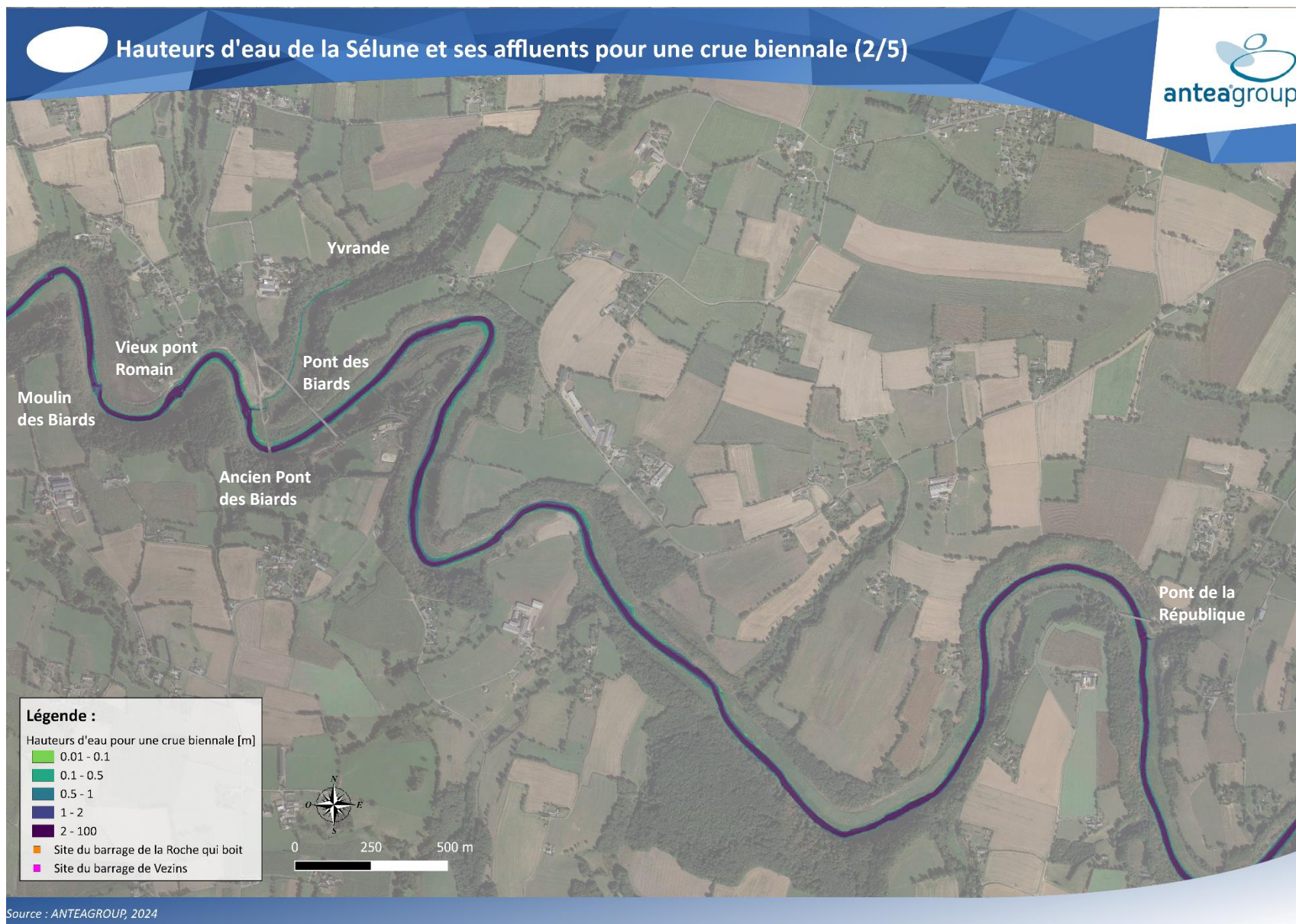


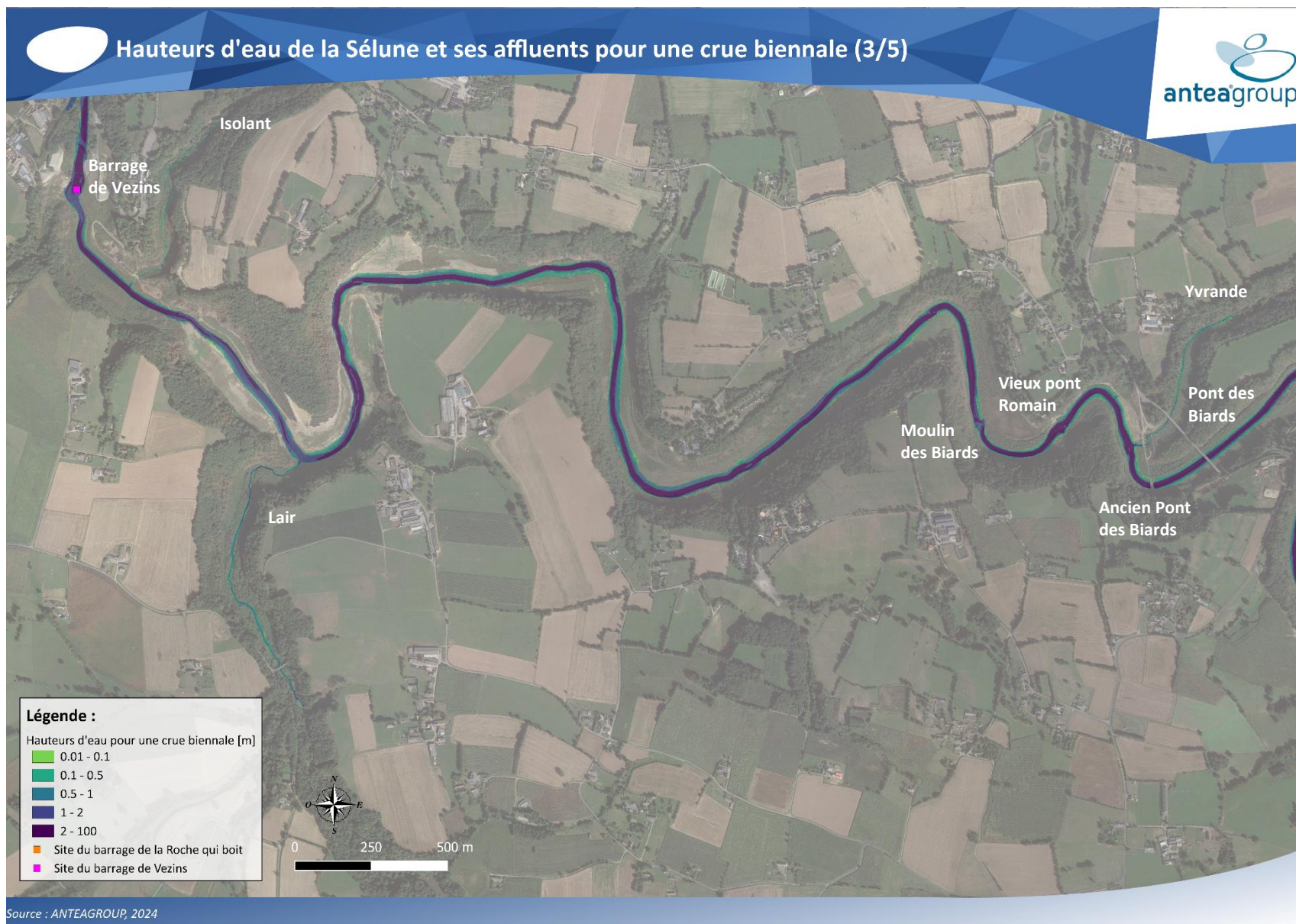


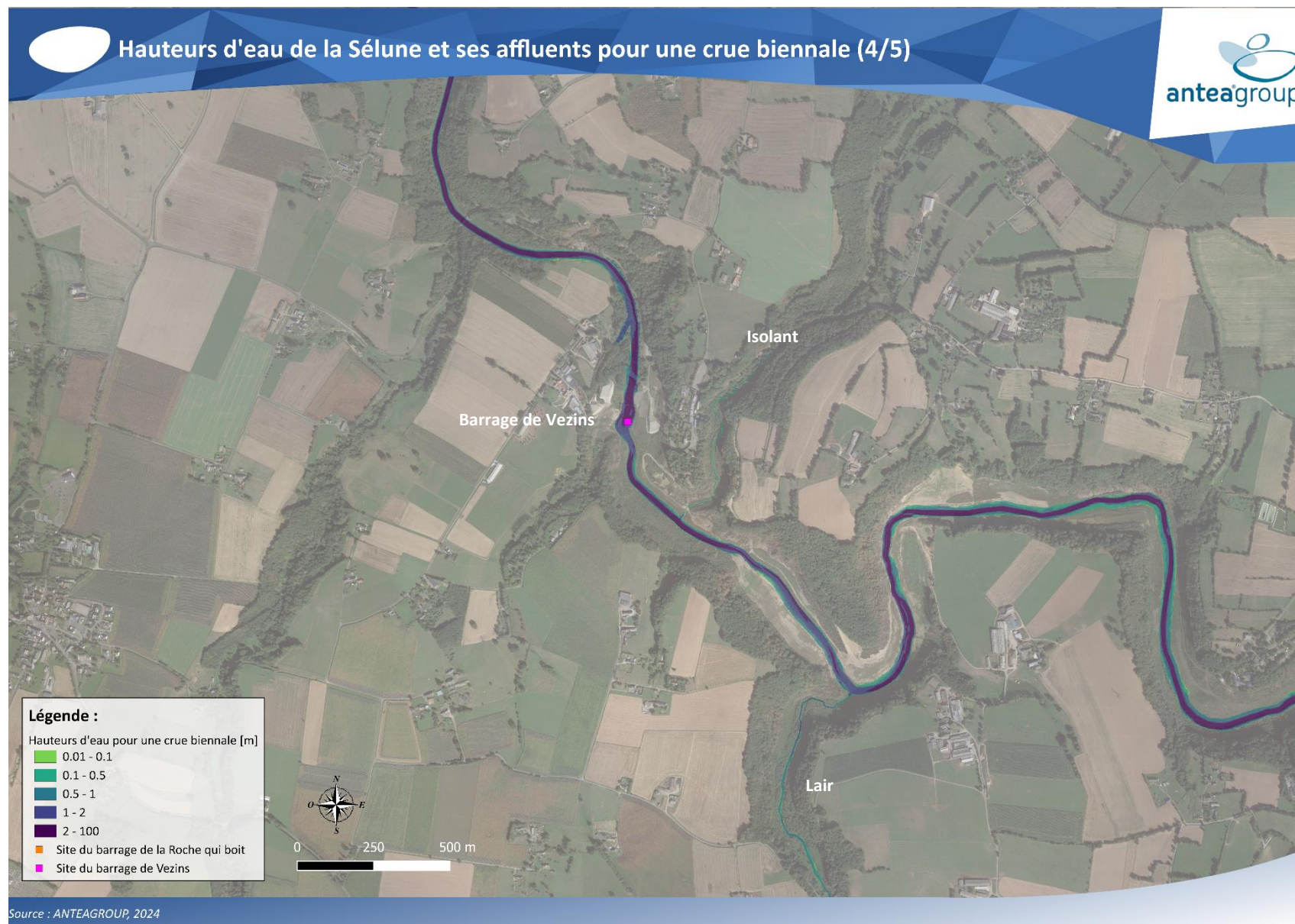


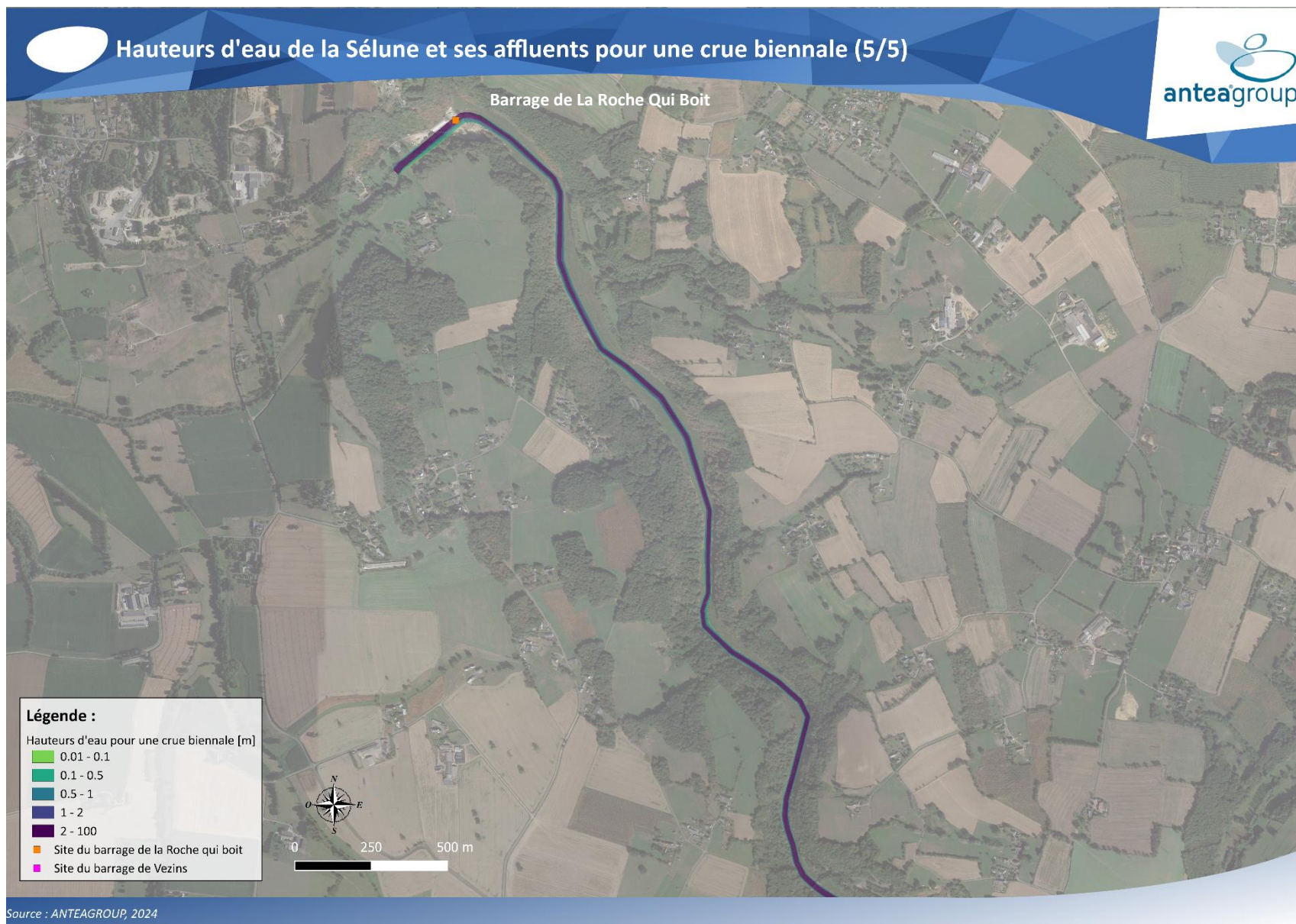
Annexe II : Cartographie des hauteurs d'eau de la Sélune et de ses affluents pour une crue biennale







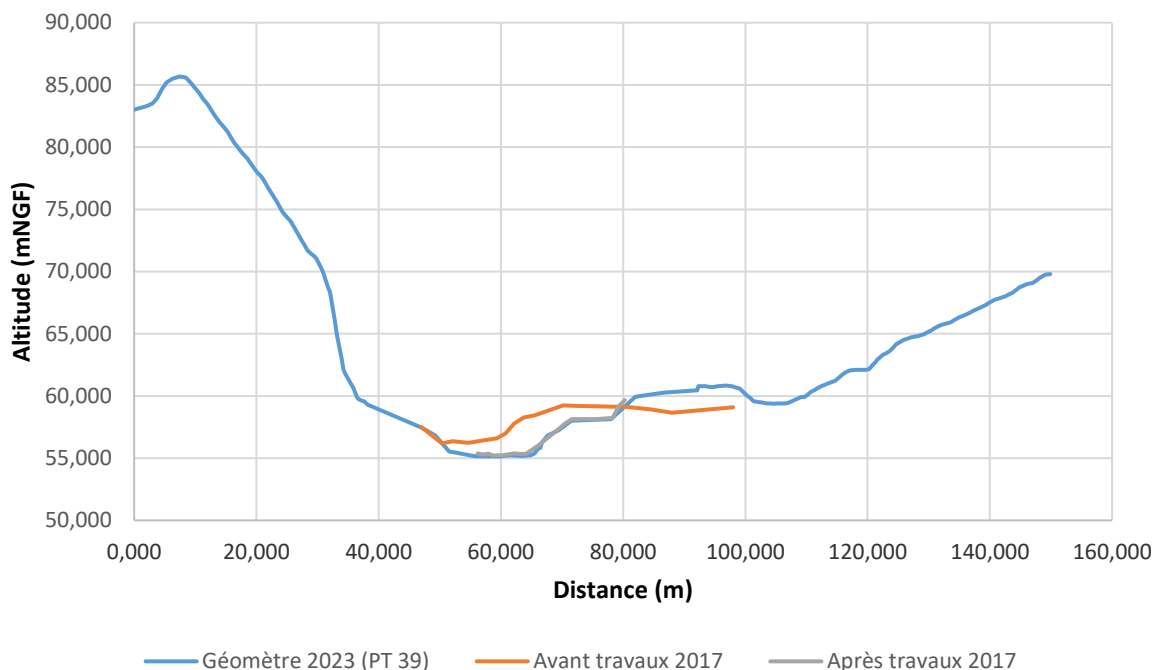




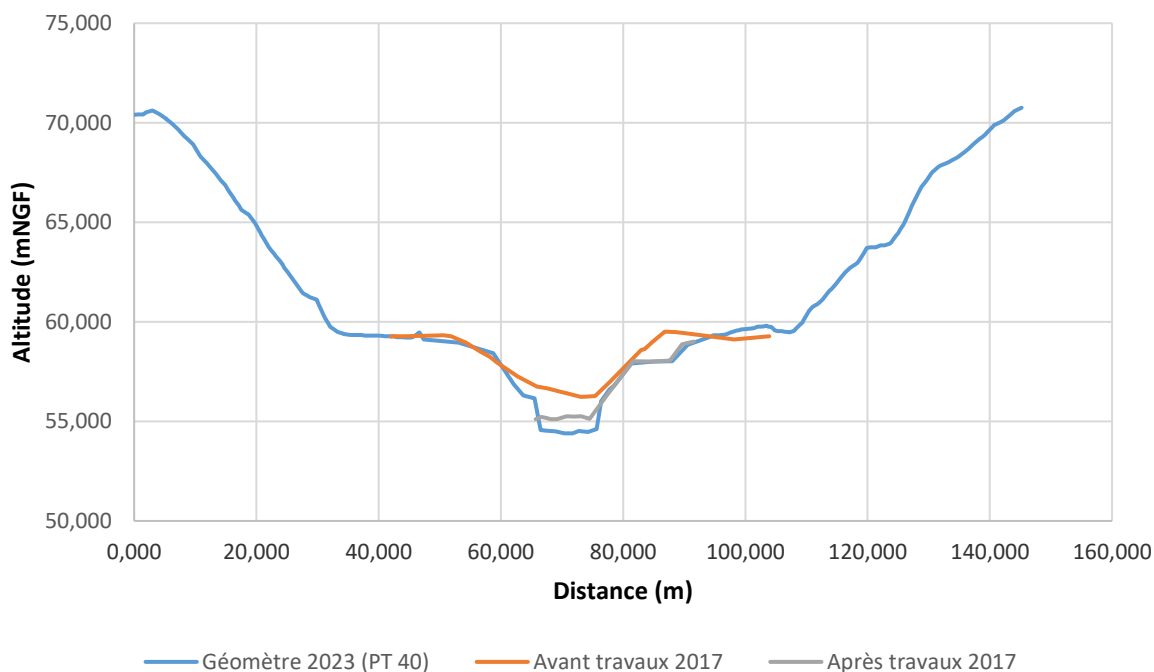
Annexe III : **Comparaison des profils en travers de récolement VCT (2017-2019) et des profils en travers TOPDESS (2023)**



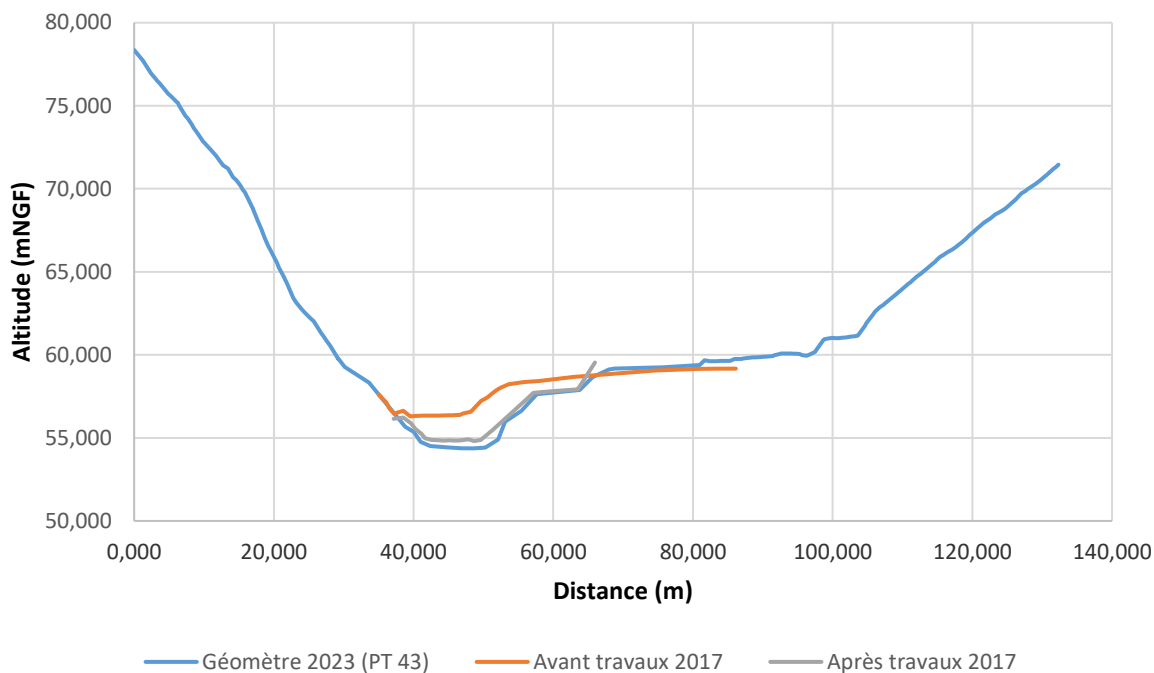
Profil 39



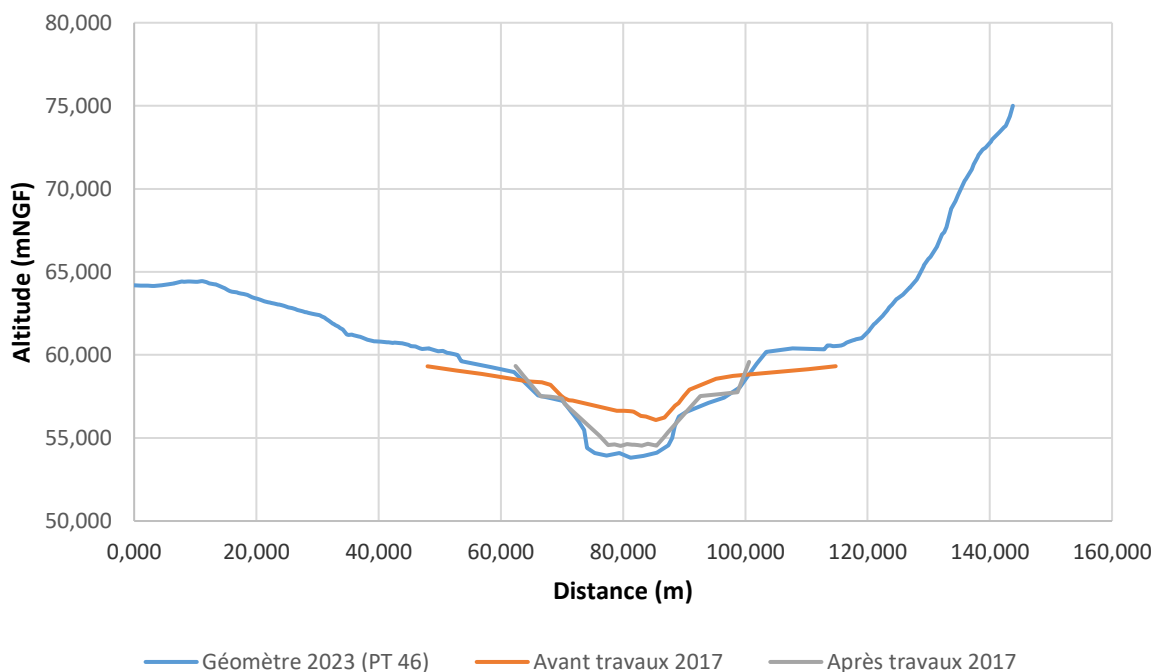
Profil 40



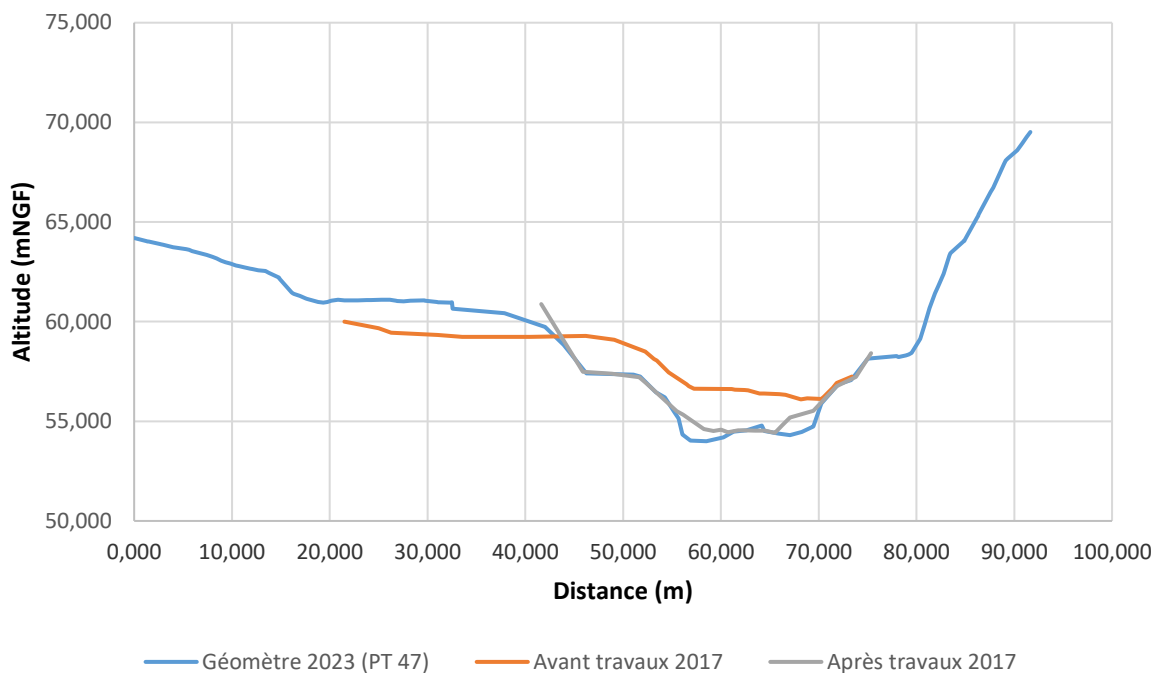
Profil 43



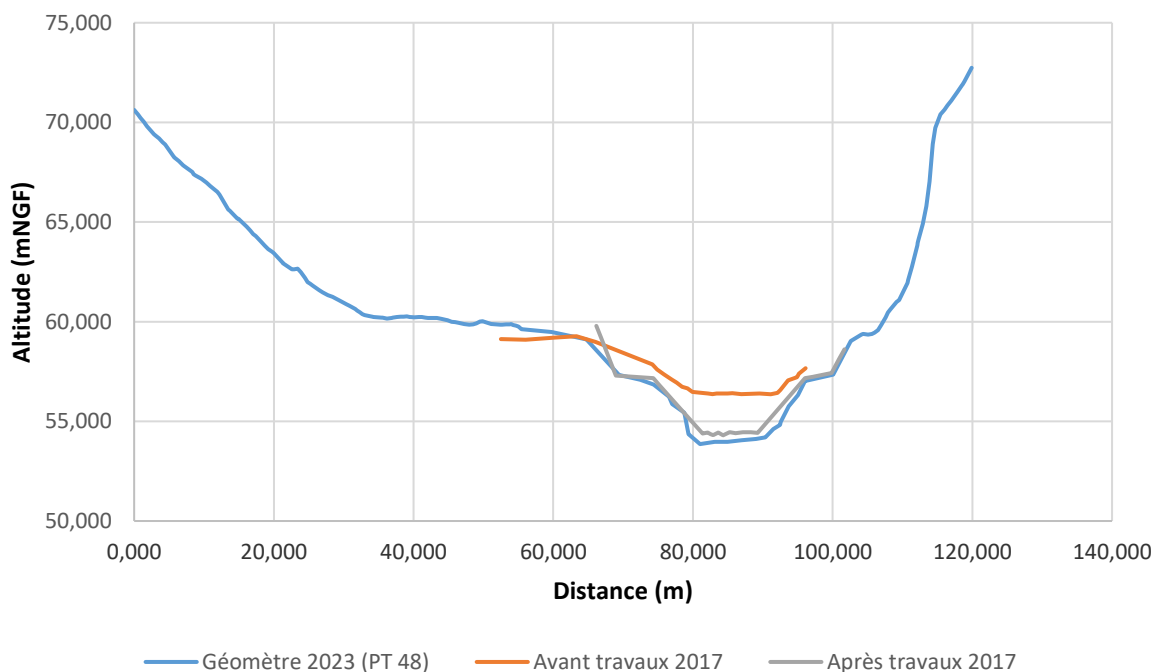
Profil 46



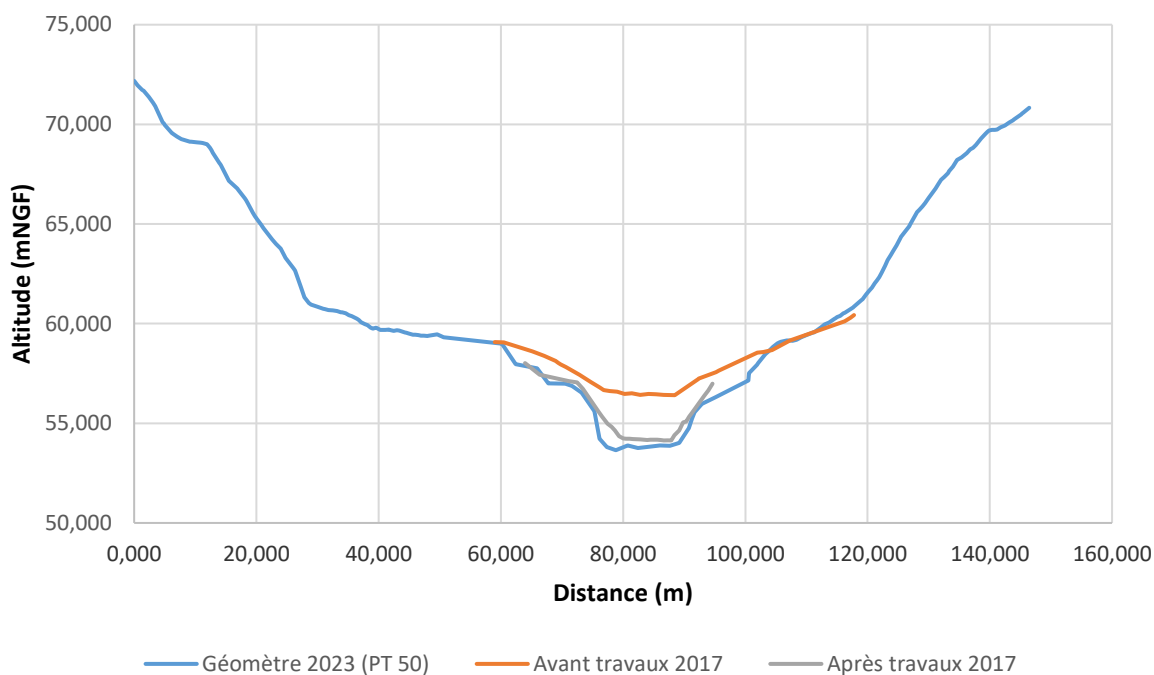
Profil 47



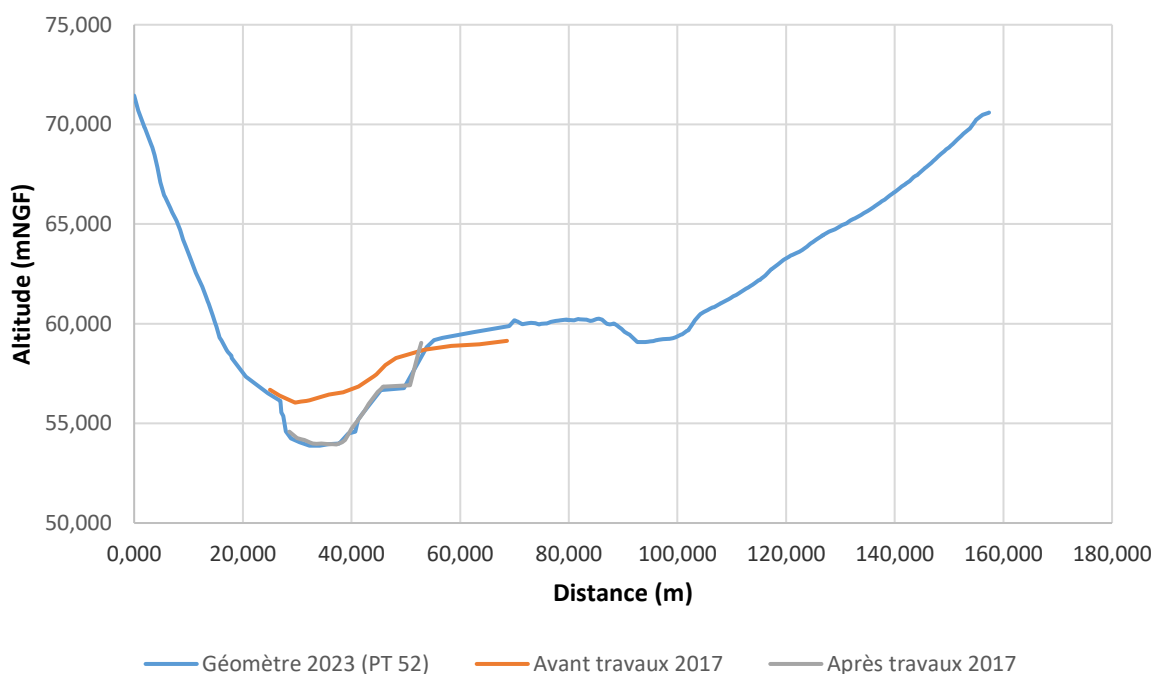
Profil 48



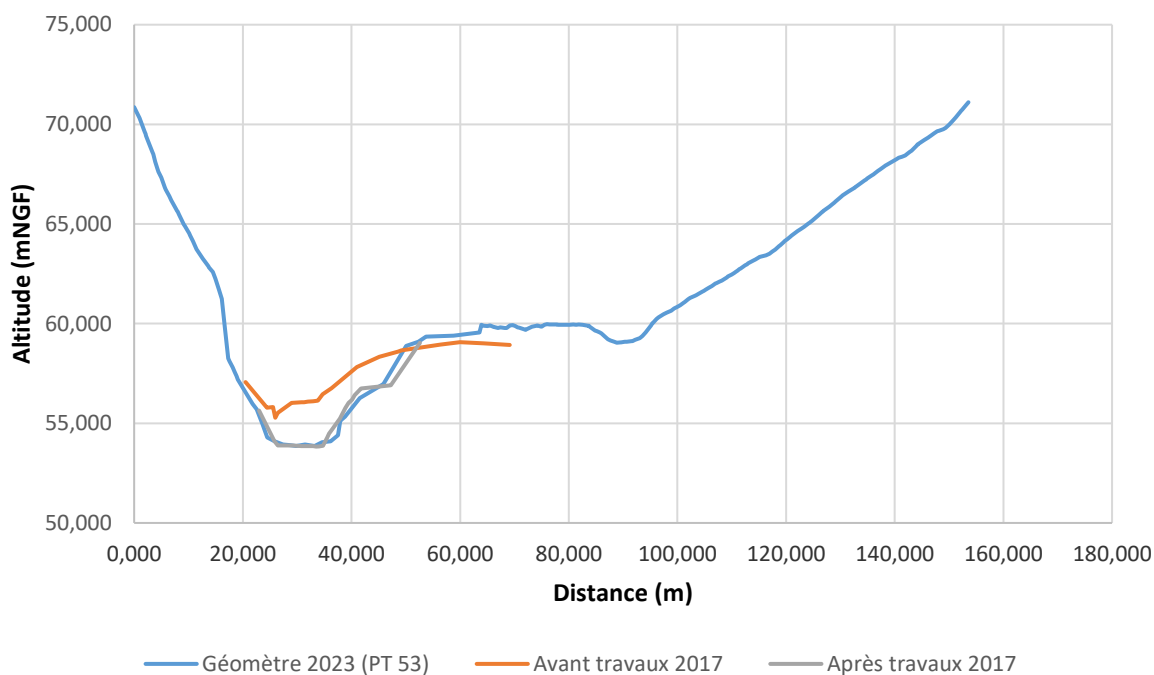
Profil 50



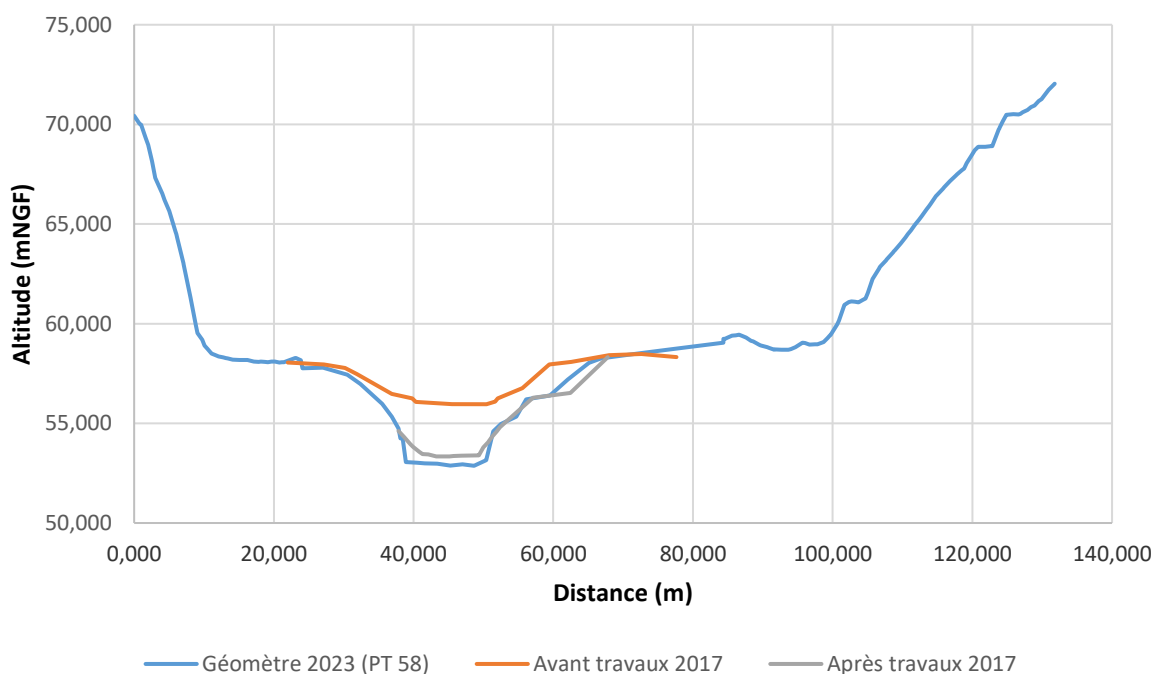
Profil 52



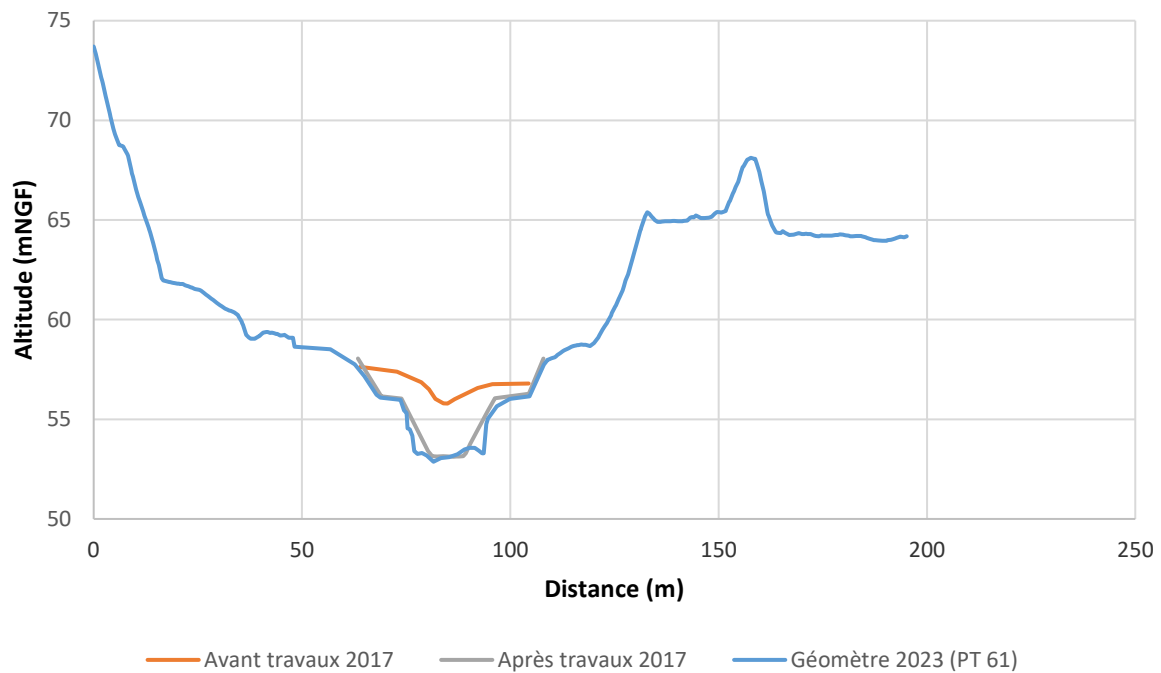
Profil 53



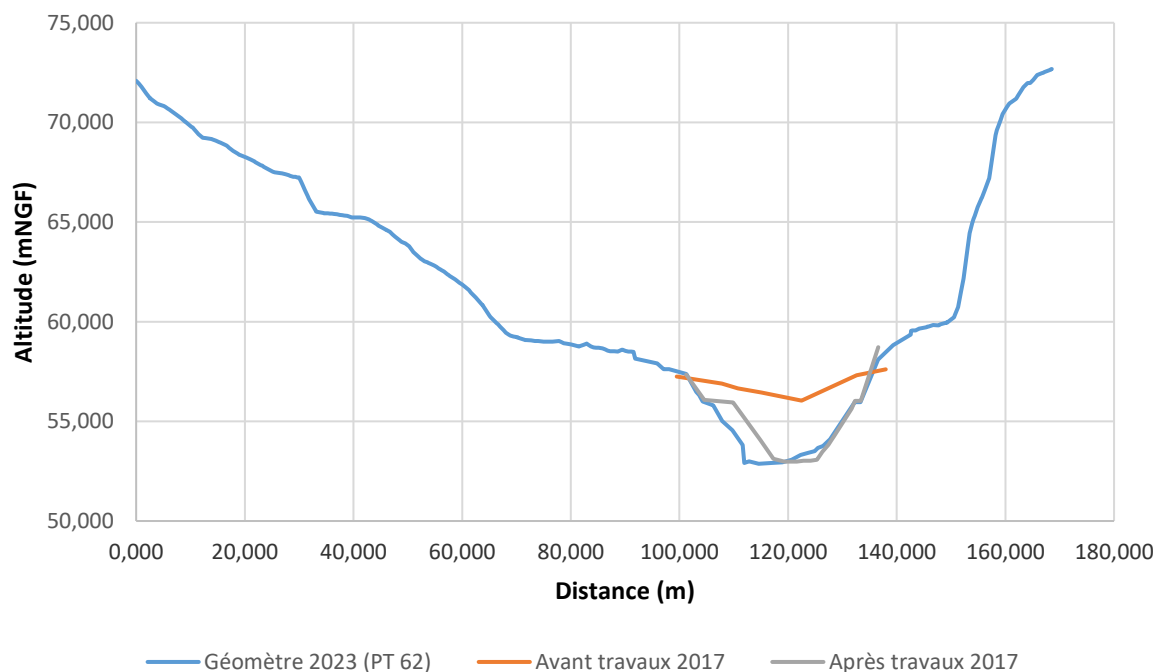
Profil 58



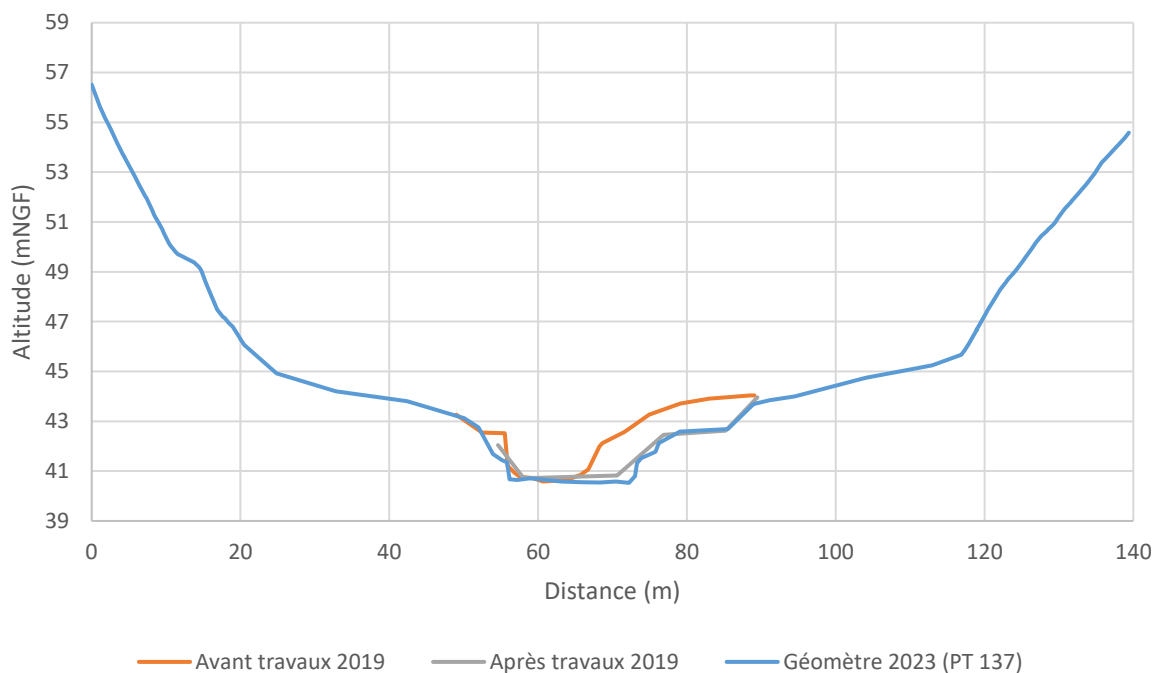
Profil 61



Profil 62



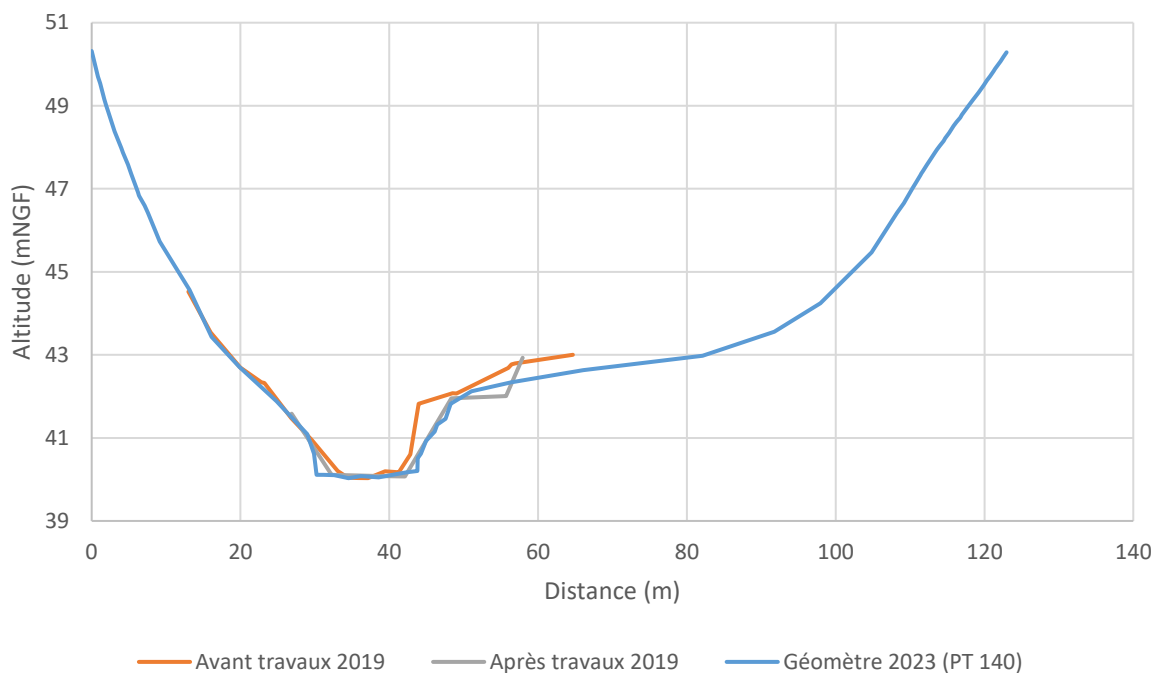
Profil 137



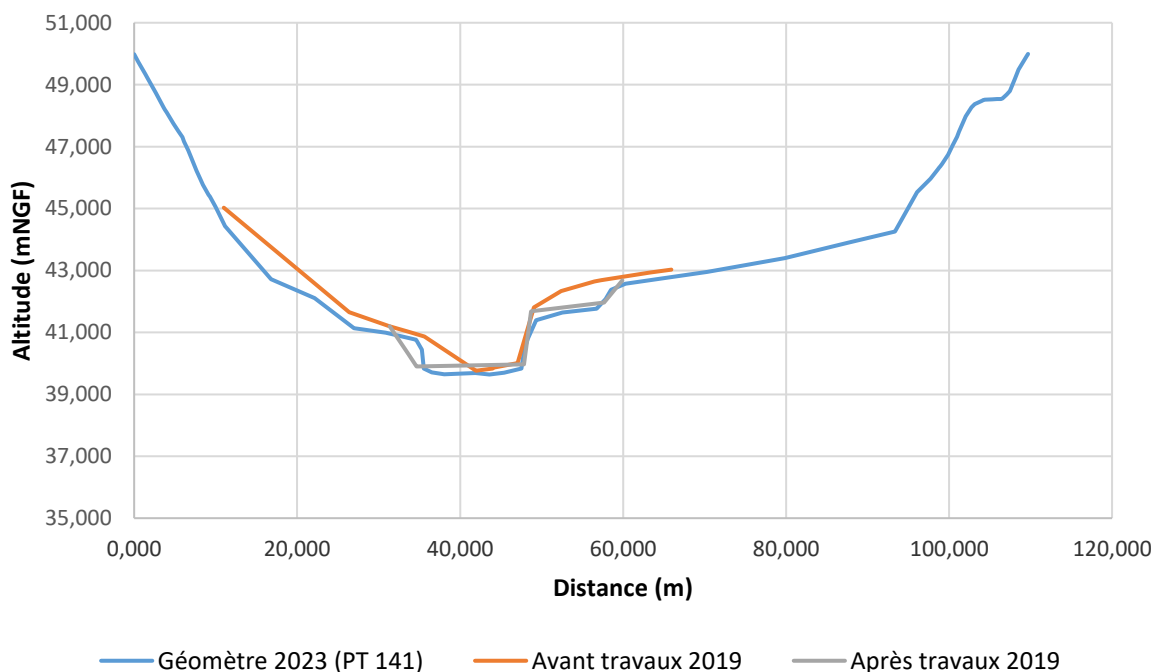
Profil 138



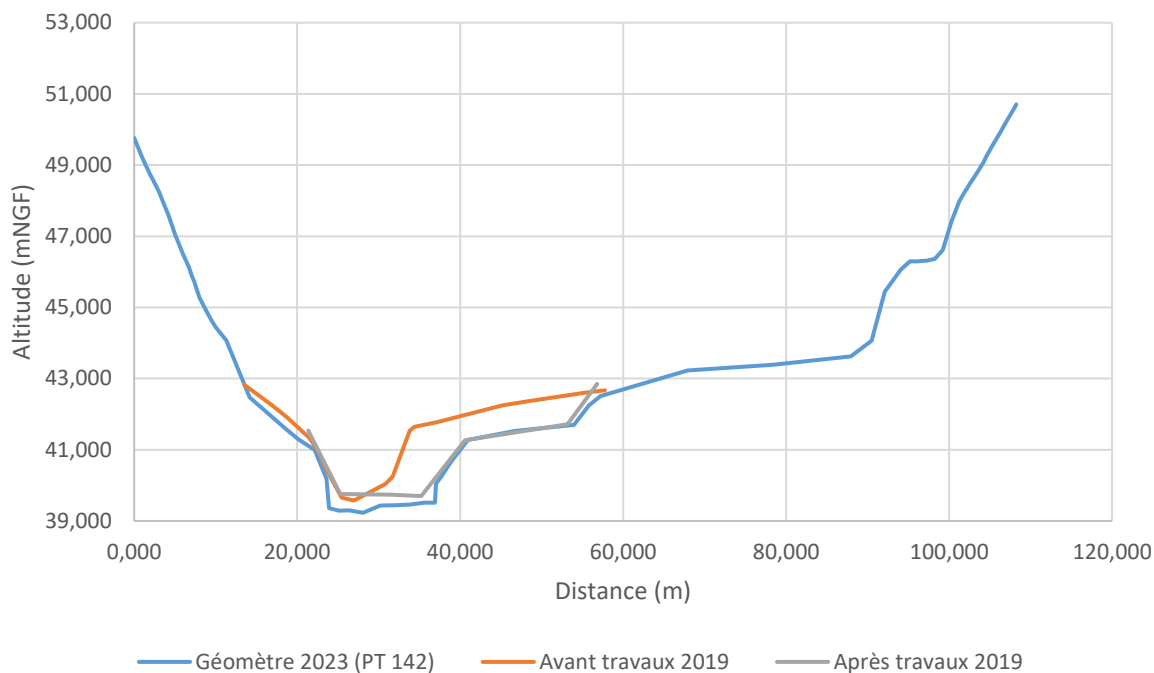
Profil 140



Profil 141



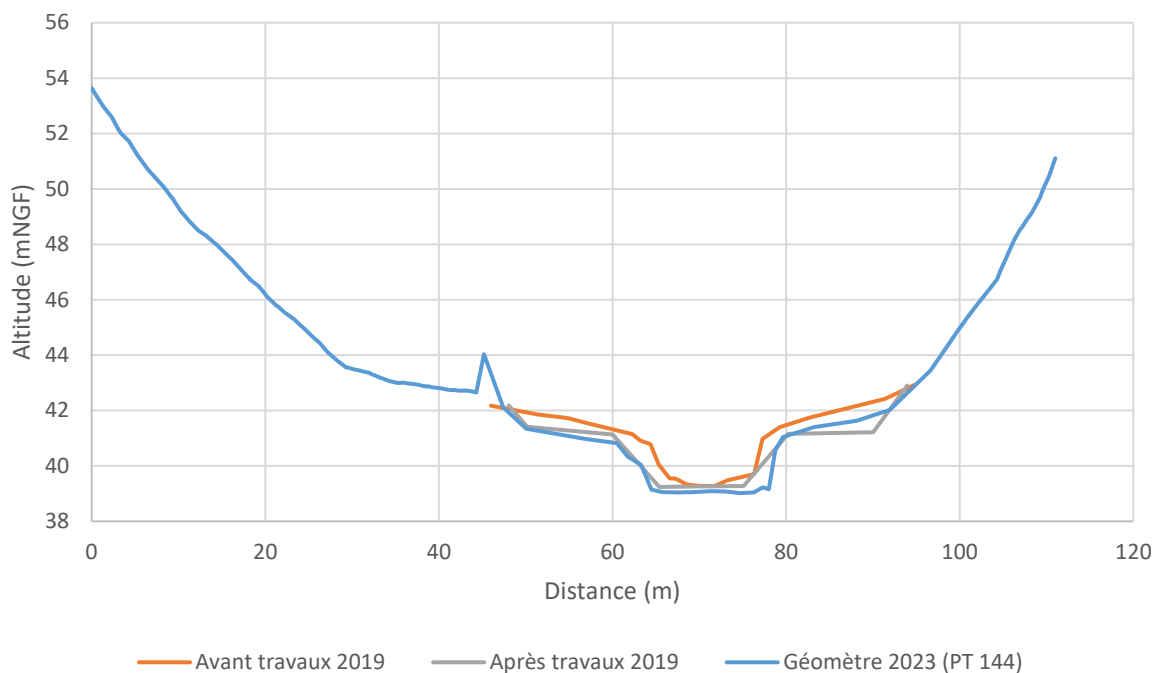
Profil 142



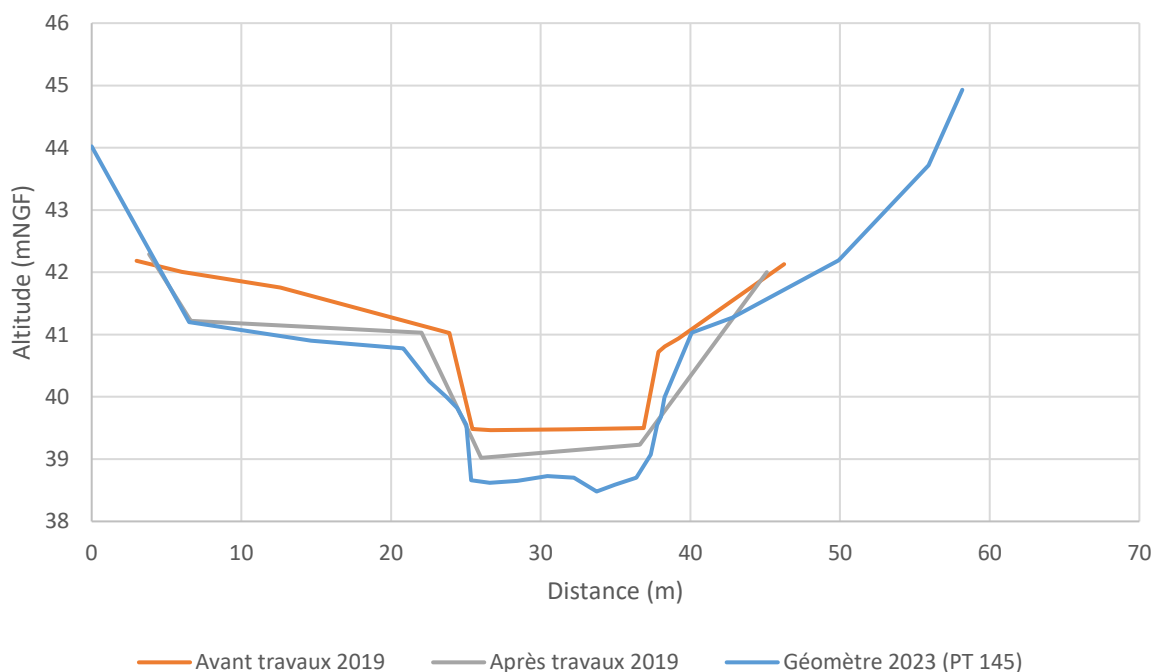
Profil 143



Profil 144



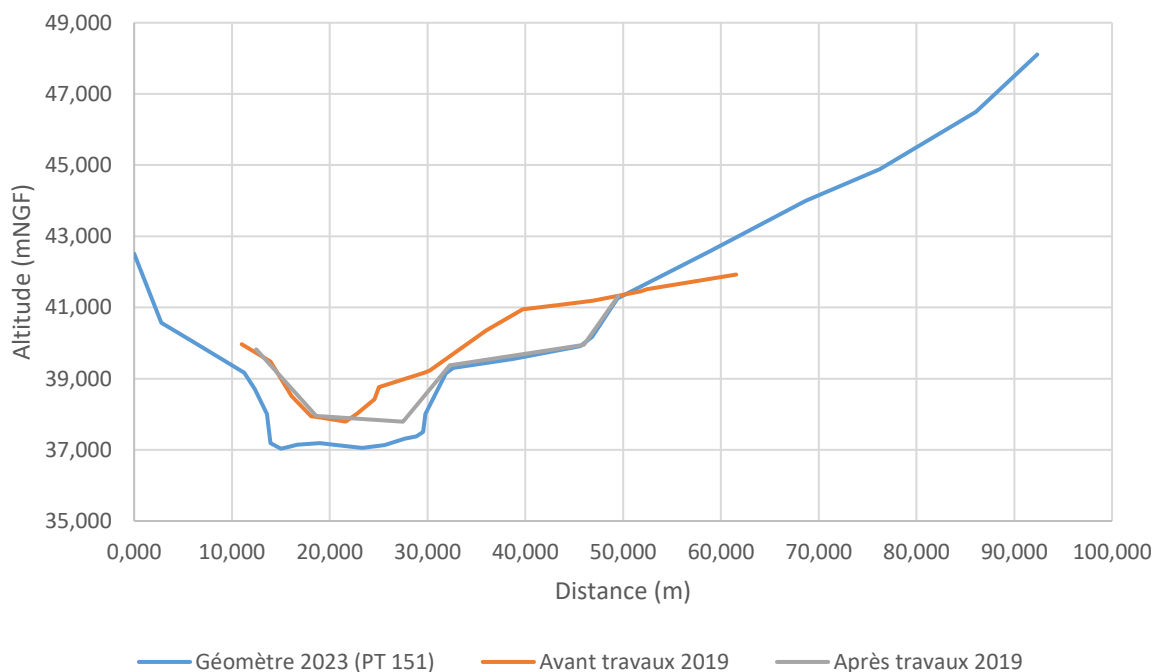
Profil 145



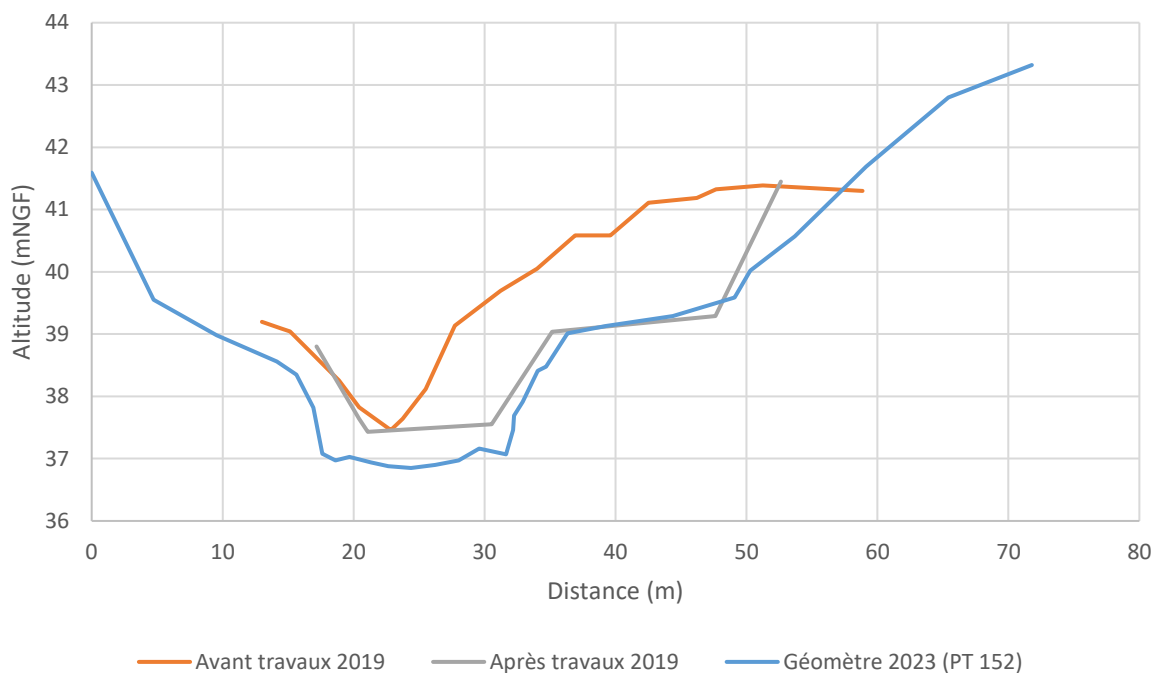
Profil 150



Profil 151

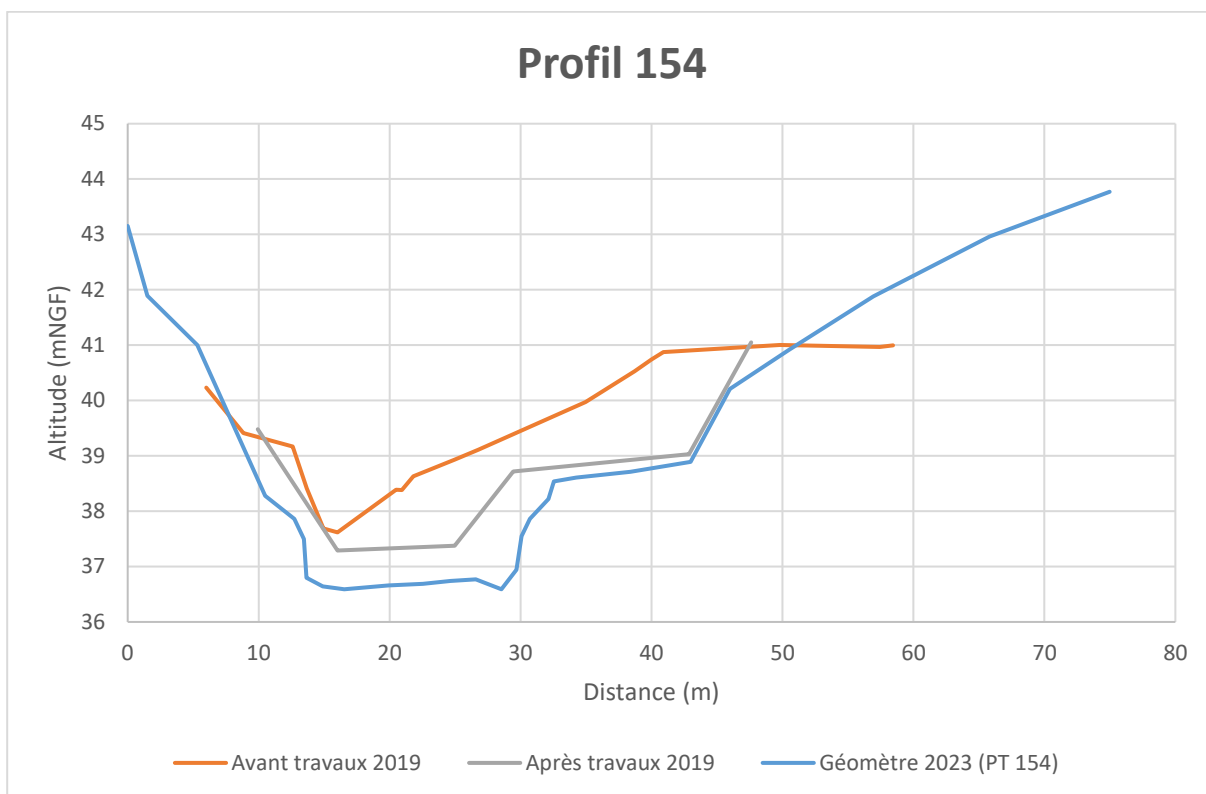


Profil 152



Profil 153







**PRÉFET
DE LA MANCHE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

OBJECTIF
Sélune
RESTAURER UNE VALLÉE VIVANTE

