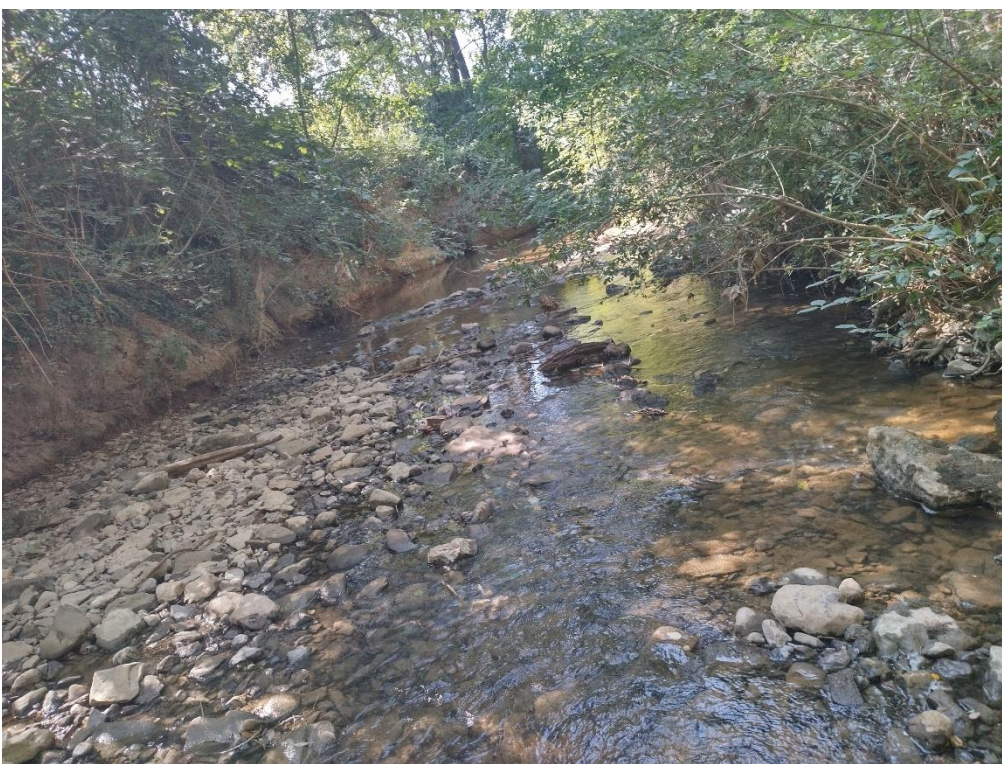




ETUDE HYDRAULIQUE du risque d'inondation



**Centre National de Primatologie sur le site de Rousset
Mission d'Assistance à Maîtrise d'Ouvrage sur le volet
environnemental**

11 mars 2025

LOGO
PARTENAIRE 1

LOGO
PARTENAIRE 2

LOGO
PARTENAIRE 3

Centre National de Primatologie sur le site de Rousset

Mission d'Assistance à Maîtrise d'Ouvrage sur le volet environnemental

Fiche d'identification	
Maitre d'ouvrage	CNRS
Projet	Centre National de Primatologie sur le site de Rousset
Etude	Mission d'Assistance à Maîtrise d'Ouvrage sur le volet environnemental
Date document du	11 mars 2025
Nom du fichier	CNRS_ETUDE_HYDRAU_VA.docx
Langue document du	Français

	Nom Prénom	Date	Modifications
Rédaction	ZADRI Nacer	24/02/2025	Version A
Vérification	BROCHART Florence	28/02/2025	
Engagement de la responsabilité de l'entité	VEILEX Ronan	25/03/2025	
Rédaction		JJ/MM/AA	
Vérification		JJ/MM/AA	
Engagement de la responsabilité de l'entité		JJ/MM/AA	
Rédaction		JJ/MM/AA	
Vérification		JJ/MM/AA	
Engagement de la responsabilité de l'entité		JJ/MM/AA	

Table des matières

1	ETAT DES LIEUX ET CONTEXTE	6
1.1.	CONTEXTE ET OBJECTIF DE L'ETUDE	7
1.2.	LOCALISATION	8
1.3.	CLIMATOLOGIE	9
1.4.	TOPOGRAPHIE	9
1.5.	GEOLOGIE ET GEOTECHNIQUE	10
1.6.	HYDROGEOLOGIE	12
1.7.	OCCUPATION DU SOL	14
1.8.	HYDROGRAPHIE	16
1.9.	CAMPAGNE DE TERRAIN	17
1.9.1.	JAUGEAGES DE DEBIT	17
1.9.1.1.	Jaugeage 1.....	18
1.9.1.2.	Jaugeage 2.....	18
1.9.2.	CAMPAGNE TOPOGRAPHIQUE.....	19
1.10.	CONTEXTE REGLEMENTAIRE	20
1.10.1.	OUTILS DE GESTION ET DE PLANIFICATION	20
1.10.1.1.	Directive Cadre sur l'Eau (DCE)	20
1.10.1.2.	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE)	20
1.10.1.3.	Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE).....	21
1.10.2.	PPRI.....	22
2	ETUDE HYDROLOGIQUE.....	23
2.1.1.	DEFINITIONS	24
2.1.1.1.	QMNA5	24
2.1.1.2.	Module.....	24
2.1.1.3.	QIX.....	24
2.1.1.4.	Fréquence ou période de retour.....	24
2.1.2.	DELIMITATION DU BASSIN VERSANT (BV).....	24
2.1.3.	ESTIMATION DES DEBITS DES CRUES	25
2.1.3.1.	Données hydrométriques.....	25
2.1.3.2.	Estimation des débits	26
3	ETUDE HYDRAULIQUE DE L'ETAT INITIAL.....	28
3.1.	MODELE HYDRAULIQUE.....	29
3.2.	CONSTRUCTION DU MODELE.....	29
3.2.1.	ÉTENDU DU MODELE	29
3.2.2.	GEOMETRIE DU MODELE.....	31

3.3.	CALAGE DU MODELE	34
3.3.1.	CALAGE DU LIT MINEUR.....	34
3.3.2.	CALAGE DU LIT MAJEUR	34
3.4.	HYPOTHESES DE MODELISATION	35
3.4.1.	CONDITIONS INITIALES	35
3.4.2.	CONDITIONS LIMITES.....	35
3.4.2.1.	Conditions limites amont :	35
3.4.2.2.	Conditions limites aval :	35
3.5.	RESULTATS DE LA MODELISATION DE L'ETAT INITIAL.....	36
3.5.1.	QMNA5 ET MODULE.....	37
3.5.2.	Q2 ET Q10	38
3.5.3.	Q50 ET Q100	42
4	ETUDE HYDRAULIQUE DE L'ETAT AMENAGE.....	46

Sommaire des illustrations

Figure 1 Carte de localisation de la zone d'étude sur un fond IGN	8
Figure 2 Image aérienne de la zone d'étude	9
Figure 3 : Températures et précipitations à Trets sur la période 1991-2020 (infoclimat.fr).....	9
Figure 4 : Topographie du secteur d'étude (Systra)	10
Figure 5 : Carte géologique de l'aire d'étude rapprochée (source : BRGM).....	11
Figure 6 : Tableau base de formations sur les différents sondages (source : FONDASOL)	12
Figure 7 : Tableau de perméabilité du sol sur les différents sondages (source : FONDASOL).....	12
Figure 8 : Masses d'eaux souterraines au niveau du site (infoterre)	13
Figure 9 : Photographie du plan d'implantation des sondages piézométriques (source : CNRS)	14
Figure 10 Cartes de l'occupation du sol sur la zone d'étude et son bassin versant	16
Figure 11 Carte du bassin versant à l'Arc à proximité de la zone d'étude	17
Figure 12 : Périmètre du SAGE.....	21
Figure 13 Carte de l'aléa de référence et de la crue exceptionnelle (source : DDTM des Bouches-du- Rhône)	22
Figure 14 Cartographie de la crue trentennale dans le PPRI de l'Arc (source : DDTM des Bouches-du- Rhône)	22
Figure 15 Carte du bassin versant de l'Arc et des stations hydrométriques présentes	25
Figure 16 Années de disponibilité des données de la station de l'Arc à Meyreuil	26
Figure 17 Étendu du modèle hydraulique de l'Arc.....	30
Figure 18 Exemple de profil en travers sur HEC-RAS.....	31
Figure 19 Carte de localisation des PT utilisés pour la construction du modèle hydraulique	32
Figure 20 Carte des PT, avec leur numérotation, sur le modèle hydraulique	32
Figure 21 Carte de localisation des profils en travers.....	36
Figure 22 Profil en long de l'Arc sur la zone d'étude avec un débit QMNA5 et Module.....	37
Figure 22 Profil en long de l'Arc sur la zone d'étude avec un débit Q2 et Q10	38
Figure 22 Profil en travers 24 avec un débit Q2 et Q10.....	39
Figure 22 Profil en travers 36 avec un débit Q2 et Q10.....	40
Figure 22 Profil en travers 43 avec un débit Q2 et Q10.....	41
Figure 22 Profil en long de l'Arc sur la zone d'étude avec un débit Q50 et Q100	42
Figure 22 Profil en travers 24 avec un débit Q50 et Q100	43
Figure 22 Profil en travers 36 avec un débit Q50 et Q100	44
Figure 22 Profil en travers 43 avec un débit Q50 et Q100	45

1 ETAT DES LIEUX ET CONTEXTE

1.1. CONTEXTE ET OBJECTIF DE L'ETUDE

Ce rapport présente l'étude hydraulique relative au risque d'inondation sur le site du Centre national de la recherche scientifique (CNRS) à Rousset (13). L'objectif de cette étude est de mener une analyse hydrologique et hydraulique afin d'évaluer les risques d'inondation sur la zone prévue pour le projet de création du Centre National de Primatologie (CNP). Cette étude s'inscrit dans le cadre de la Mission d'Assistance à Maîtrise d'Ouvrage (AMO) pour le volet environnemental. Cette AMO est organisée en 6 tranches fermes et 3 tranches optionnelles :

- Tranches Fermes :
 - Partie technique 1 : Cadrage réglementaire ;
 - Partie technique 2 : Etude d'impact ;
 - Partie technique 3 : Etude du risque incendie de forêt ;
 - **Partie technique 4 : Etude du risque inondation ;**
 - Partie technique 5 : Demande d'examen au cas par cas ;
 - Partie technique 6 : Demande d'autorisation environnementale pour le volet loi sur l'eau ;
- Tranche optionnelle 1 : Demande d'autorisation environnementale pour le volet ICPE ;
- Tranche optionnelle 2 : Demande d'autorisation environnementale pour le volet évaluation environnementale ;
- Tranche optionnelle 3 : Accompagnement à une audition du CODERST.

Le présent dossier répond à la TF n°4.

1.2. LOCALISATION

Le centre national de primatologie du CNRS se situe au sud-est de la commune de Rousset-sur-Arc (13790) dans le département des Bouches-du-Rhône.

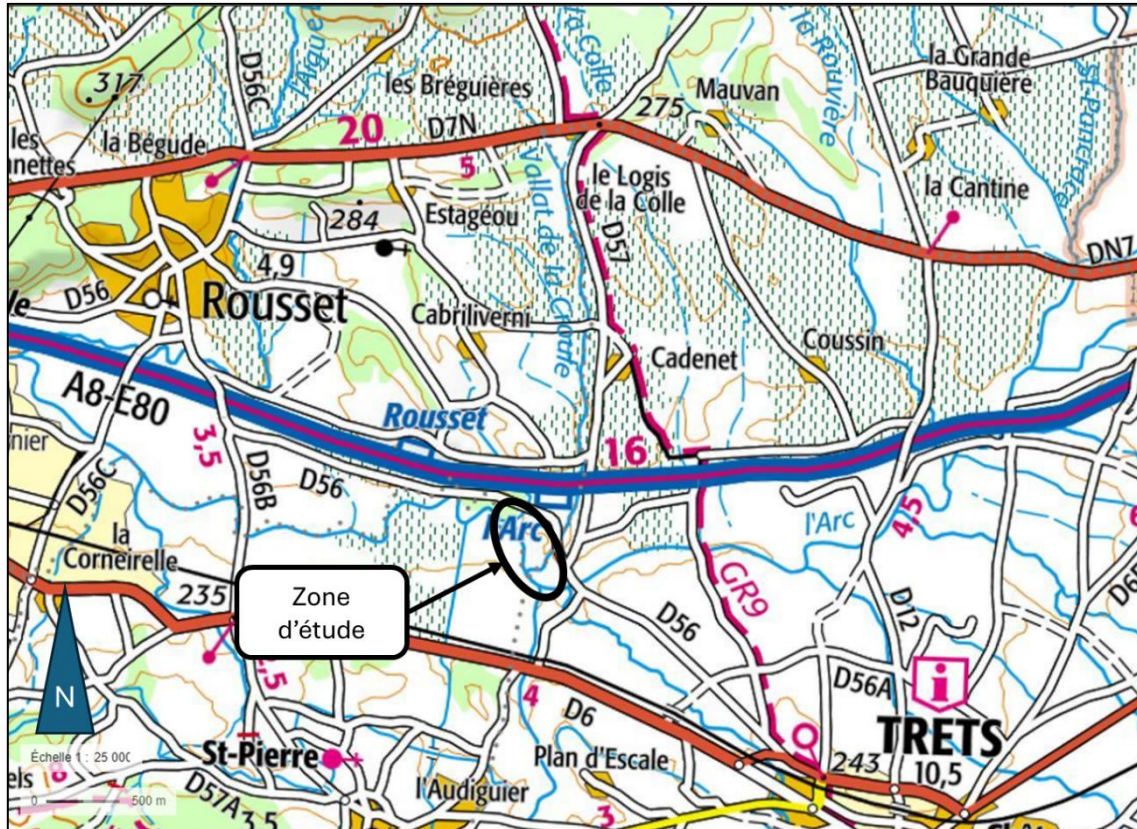


Figure 1 Carte de localisation de la zone d'étude sur un fond IGN



Figure 2 Image aérienne de la zone d'étude

1.3. CLIMATOLOGIE

Rousset présente un climat méditerranéen tempéré avec des étés chauds et arides (les 40 °C sont souvent atteints), et des hivers doux et secs. Les précipitations annuelles sont supérieures à 700 mm/an. La période de fortes pluies se situe entre septembre et mai, mais surtout en octobre et novembre.

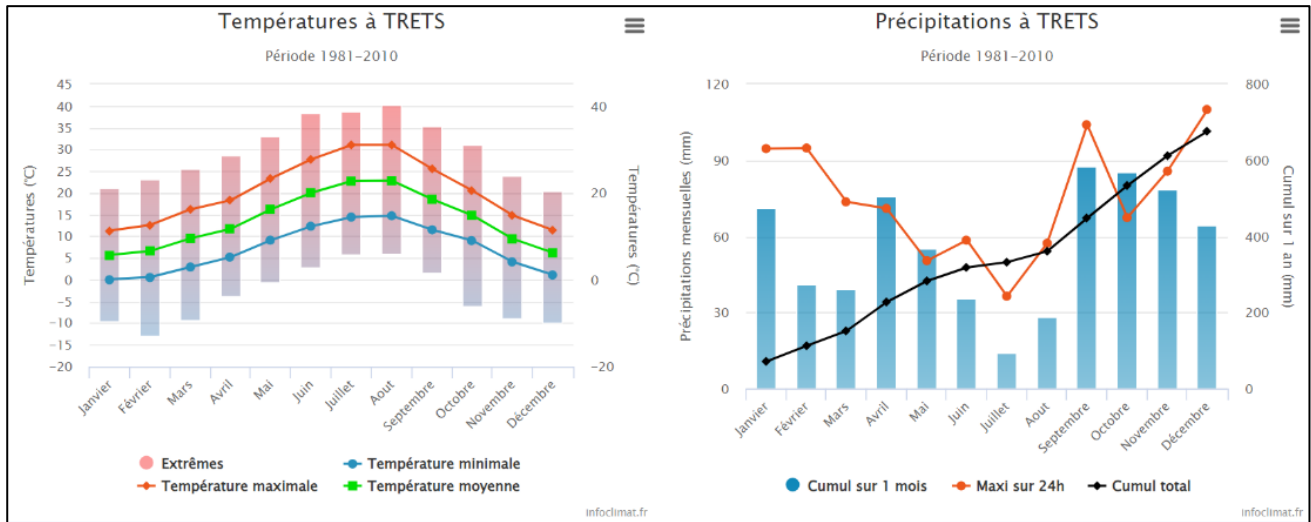


Figure 3 : Températures et précipitations à Trets sur la période 1991-2020 (infoclimat.fr)

1.4. TOPOGRAPHIE

La zone d'étude se situe dans la vallée de l'Arc sur sa rive droite entre ce cours d'eau et la route départementale D56. Le site présente donc un relief avec une pente vers l'Arc au Sud-Ouest et des altitudes du TN entre 208 et 230 mNGF¹.

¹ Source : Relevés topographiques réalisés en fin 2024



Figure 4 : Topographie du secteur d'étude (Sources : Systra, Data.gouv.fr)

1.5. GEOLOGIE ET GEOTECHNIQUE

La zone d'étude se situe sur le bassin de l'Arc et le sol est caractérisé par les formations géologiques suivantes :

- Fz : Alluvions récentes : graviers, sables, cailloutis (Quaternaire)
- Py : Epandages locaux, colluvions (Würm) : limons, cailloutis (Quaternaire)
- PFx : Epandages remaniés (Riss) : glaciés de l'Arc (Quaternaire)
- c8a : Argiles inférieures (Rognacien)-Création caisson



Figure 5 : Carte géologique de l'aire d'étude rapprochée (source : BRGM)

L'étude géotechnique réalisée par Fondasol (FONDASOL, Synthèse géotechnique des principaux ouvrages du projet, Mission G1+G2 AVP, janvier-février 2024) a permis de préciser le contexte géologique de l'aire d'étude.

Elle a porté uniquement dans le secteur nord-est du site, mais peut être appliquée à l'ensemble du périmètre de l'aire d'étude immédiate. Les résultats suivants sont issus de cette étude.

Les données de sondages ont permis de définir la succession lithologique suivante (de haut en bas) :

- Des argiles sableuses à marneuses (Formation 1)
- Des limons sableux (Formation 2)
- Des sables limoneux (Formation 3)
- Des argiles marneuses à marnes sableuses (Formation 4)

		SD1	SD2	SD3	SD4	SD5
N°	Nature de la formation	Prof	Prof	Prof	Prof	Prof
1	Argiles sableuses	4,8 m	-	-	-	-
2	Limons sableux	-	0,7 m	0,5 m	0,3 m	-
3	Sables limoneux	-	-	-	-	4,5 m
4	Argiles marneuses et marnes	> 6,0 m	> 6,0 m	> 6,0 m	> 6,0 m	> 6,0 m

Figure 6 : Tableau base de formations sur les différents sondages (source : FONDASOL)

Ainsi, l'aire d'étude immédiate s'insère en grande majorité sur des espaces peu perméables, comme en atteste l'analyse des sondages géotechniques : les sols du site sont sensibles à l'eau et leur compacité peut rapidement chuter pour de faibles variations de leur teneur en eau.

Le bureau d'études spécialisé a effectué 5 essais de perméabilité par infiltration de type PORCHET.

Sondage	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5
Profondeur de l'essai (m)	0,6 à 1,0 m	0,6 à 0,8 m	0,6 à 0,8 m	0,6 à 0,8 m	0,6 à 0,8 m
Perméabilité k (m/s)	$4,7 \cdot 10^{-6}$	$3,0 \cdot 10^{-6}$	$< 5 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$< 5 \cdot 10^{-7}$
Perméabilité k (mm/h)	17	11	Limite de l'essai	4	Limite de l'essai
Nature du sol testé	Argiles sablo-graveleuses	Argiles sablo-graveleuses	Argiles sableuses	Argiles sableuses	Argiles sableuses

Figure 7 : Tableau de perméabilité du sol sur les différents sondages (source : FONDASOL)

Les résultats obtenus sont en accord avec la nature argileuse des formations observés sur le site.

1.6. HYDROGEOLOGIE

(Source : Agence de l'eau, eau France Rhône méditerranée BD Lisa, Gest'eau, maregionsud, BRGM réf. géochimique des eaux souterraines ; Etude historique et documentaire, étude de vulnérabilité CNRS Rousset, 03/06/2024, Envisol)

Dans le cadre de la DCE, les eaux souterraines ont été classées en « masses d'eau souterraines ».

Une masse d'eau représente un ensemble de systèmes aquifères (pouvant être constitués d'un ou plusieurs aquifères).

La région de l'Arc provençal est caractérisée par deux aquifères principaux : l'aquifère profond d'Aix-Gardanne et l'aquifère superficiel de Berre. L'Arc provençal est une rivière côtière qui se jette dans l'étang de Berre. Elle compte de nombreux affluents, les principaux étant situés dans la région d'Aix.

Au niveau de l'aire d'étude, le site est concerné par deux masses d'eaux souterraines. La première sur la partie nord du site qui correspond aux formations variées et calcaires fuvéliens et jurassiques du bassin de l'Arc - FRDG210 et au niveau de la partie sud, il s'agit des alluvions de l'Arc de Berre - FRDG370.

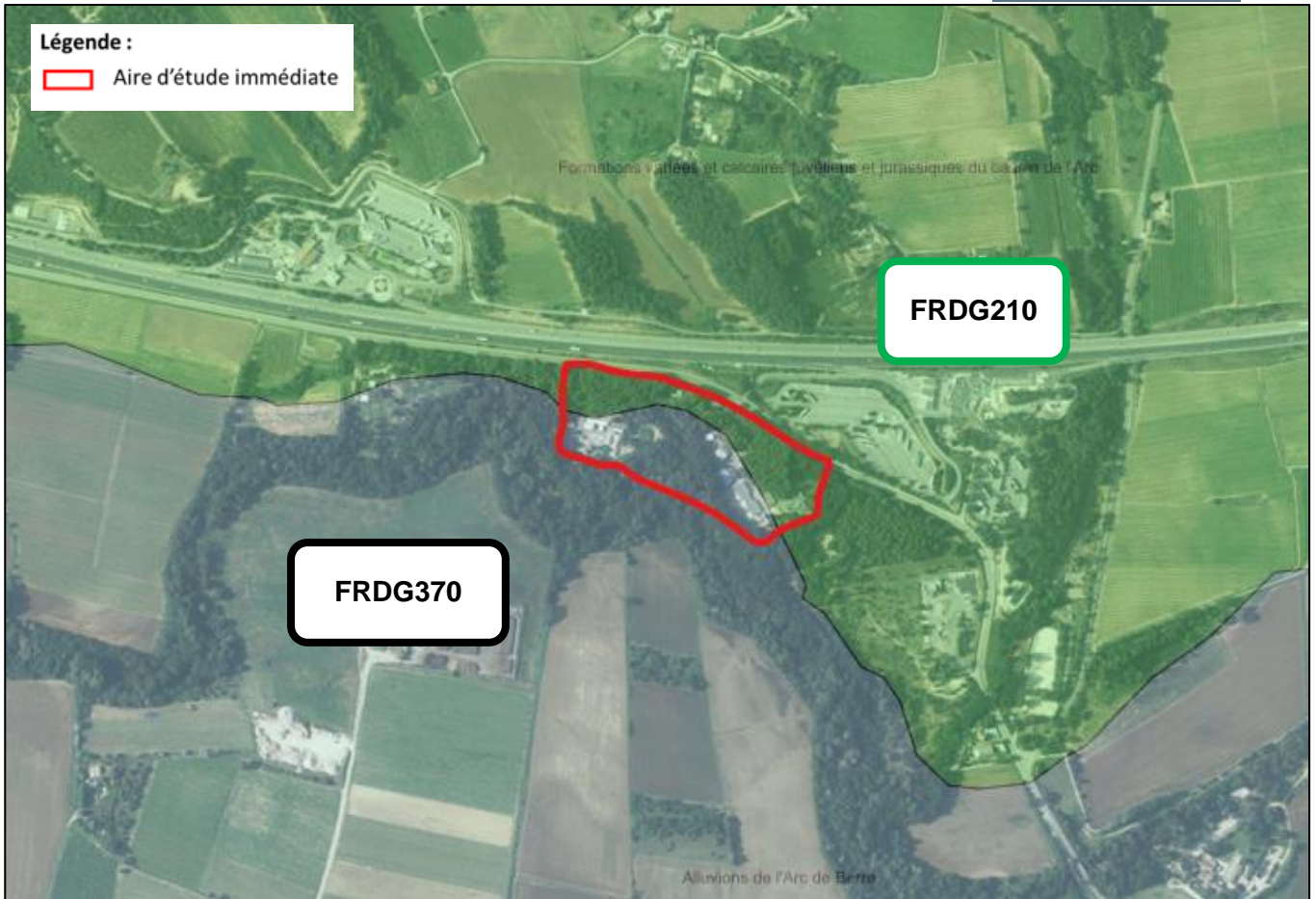


Figure 8 : Masses d'eaux souterraines au niveau du site (infoterre)

La masse d'eau FRDG210 est présente à l'affleurement et en profondeur. Les eaux de l'Arc sont caractérisées par leur contexte géologique, qui comprend une variété de formations telles que des roches précambriennes, des sables bruns et blancs (dépôts tertiaires), des sédiments dunaires (dépôts quaternaires) et des dépôts alluviaux. Les limites hydrogéologiques de l'Arc sont définies par ces formations, le socle (roche précambrienne) étant la couche la plus profonde et la plus imperméable, tandis que les dépôts alluviaux sont les plus perméables et les moins profonds (milieux poreux).

La masse d'eau FRDG210 au nord présente un bon état qualitatif et quantitatif. La masse d'eau FRDG370 est quant à elle dans un état médiocre.

La composition minérale des eaux souterraines de l'Arc provençal est influencée par les différents aquifères constitutifs de la région. Les eaux souterraines de l'Arc provençal présentent une diversité de solutés, provenant de mécanismes d'acquisition variés. Les analyses chimiques des eaux souterraines révèlent la présence de différents éléments en traces et métaux lourds, bien que la connaissance de ces occurrences reste encore incomplète. Les eaux souterraines de l'Arc provençal peuvent être chlorurées sodiques, sulfatées, douces, ou dures en fonction de leur composition chimique.

Une campagne de sondage piézométriques a été réalisée entre le 26/02/2024 et le 27/05/2024. Quatre relevés piézométriques ont été effectués sur cinq sondages du site. Cette campagne révèle une nappe comprise entre 2 m et 5 m de profondeur par rapport au terrain naturel.

Tableau 1 : Campagne de relevés piézométriques (source : CNRS)

	SD1		SD2		SD3		SD4		SD5	
	m/TN	Cote (°)	m/TN	Cote (°)	m/TN	Cote (°)	m/TN	Cote (°)	m/TN	Cote (°)
26/02/2024	3.92	219.29	Sec	Sec	2.46	222.53	Sec	Sec	Sec	Sec
25/03/2024	3.57	219.64	Sec	Sec	2.33	222.66	Sec	Sec	4.68	211.60
22/04/2024	3.54	219.67	Sec	Sec	2.46	222.53	Sec	Sec	4.82	211.46
27/05/2024	3.85	219.36	Sec	Sec	2.65	222.34	Sec	Sec	Sec	Sec

(*) Cotes déterminées à partir du plan topographique d'avril 2024

A noter également que lorsque SD5 n'est pas noté « Sec », il s'agit plutôt d'un remplissage boueux en fond de piézomètre que de la nappe.



Figure 9 : Photographie du plan d'implantation des sondages piézométriques (source : CNRS)

L'aire d'étude rapprochée est concernée par deux masses d'eaux souterraines affleurantes (FRDG370 au sud et FRDG201 au nord). Des relevés piézométriques ont montré que la nappe est présente à faible profondeur au droit de l'aire d'étude rapprochée et immédiate avec un sens d'écoulement vers le sud-ouest.

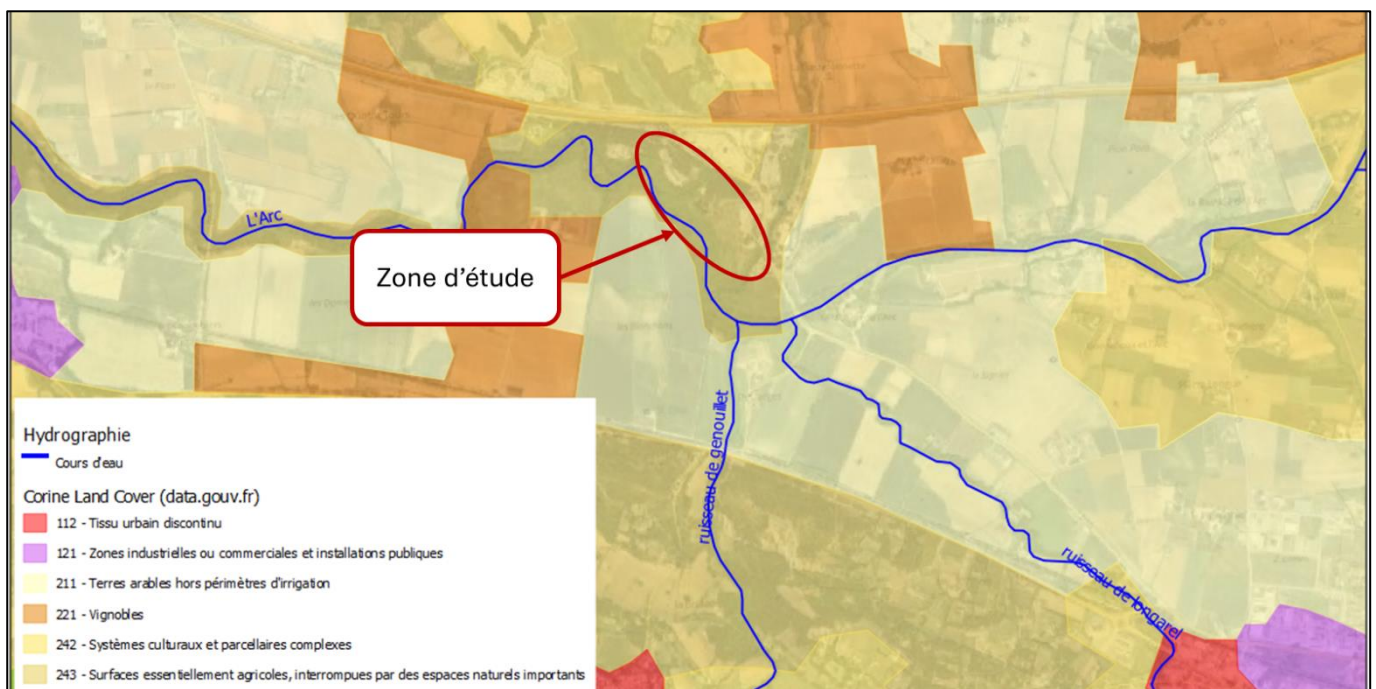
1.7. OCCUPATION DU SOL

L'occupation du sol sur la zone d'étude est classée par la cartographie Corine Land Cover comme *Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants*.

Sur le bassin versant, le sol est principalement occupé par des vignobles qui présentent plus que 27% de la surface totale. Ci-dessous la répartition de l'occupation du sol sur le bassin versant :

Tableau 2 Occupation du sol sur le bassin versant à l'amont de la zone d'étude

Occupation du sol sur le bassin versant		Surface (km ²)	Pourcentage
Tissu urbain discontinu		6.06	3.8%
Zones industrielles ou commerciales et installations publiques		0.26	0.2%
Terres arables hors périmètres d'irrigation		12.66	8.0%
Vignobles		43.33	27.4%
Prairies et autres surfaces toujours en herbe à usage agricole		0.50	0.3%
Systèmes culturaux et parcellaires complexes		14.75	9.3%
Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants		10.34	6.5%
Forêts de feuillus		26.33	16.7%
Forêts de conifères		2.61	1.7%
Forêts mélangées		15.21	9.6%
Pelouses et pâturages naturels		0.05	0.0%
Végétation sclérophylle		16.27	10.3%
Forêt et végétation arbustive en mutation		5.87	3.7%
Roches nues		3.59	2.3%



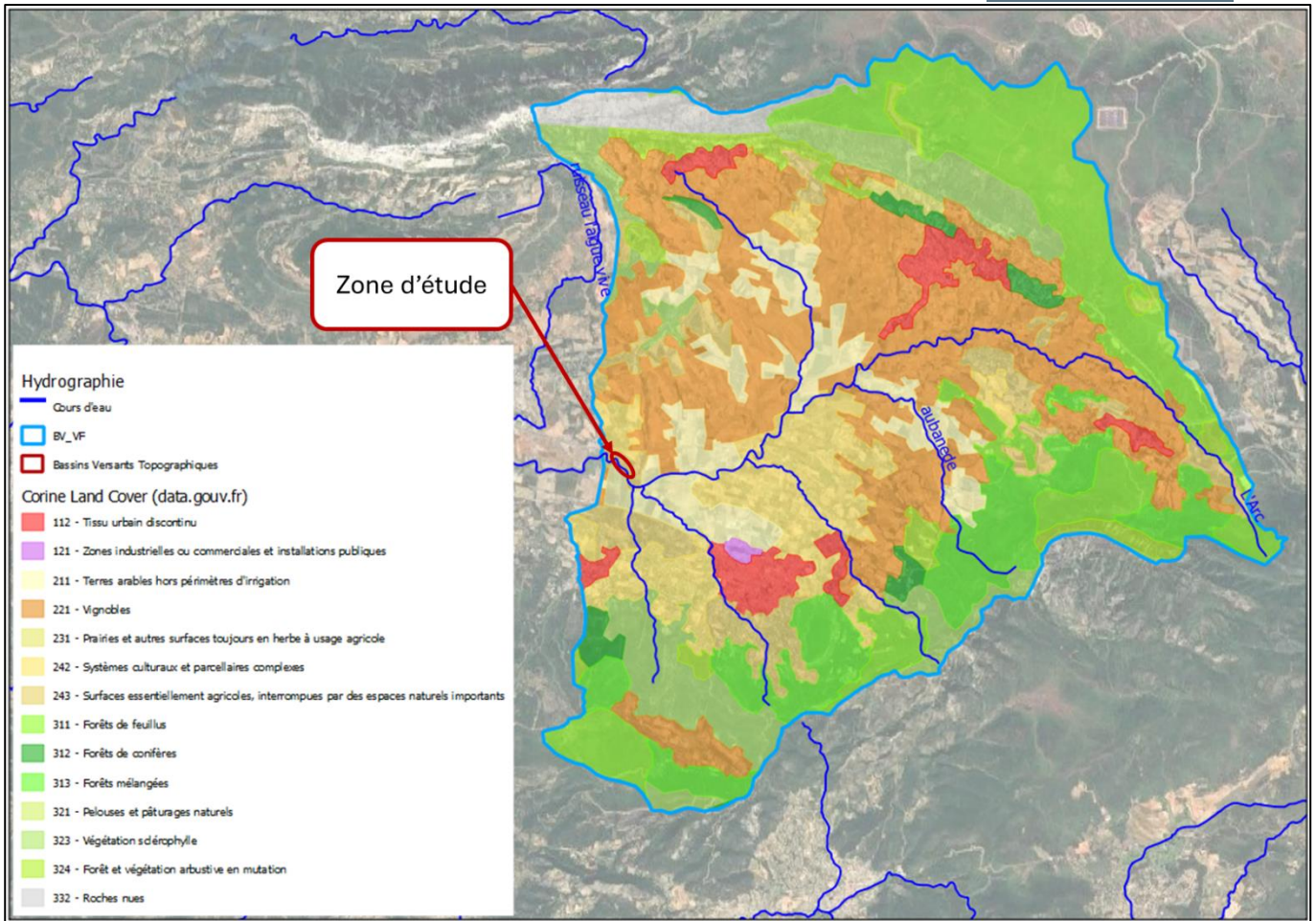


Figure 10 Cartes de l'occupation du sol sur la zone d'étude et son bassin versant

1.8. HYDROGRAPHIE

La zone d'étude se situe dans le bassin versant de l'Arc qui s'écoule à moins de 50m du site du CNRS. L'Arc est un fleuve côtier qui draine un bassin versant de 715 km² de surface avant de se jeter dans l'Etang de Berre. Le cours d'eau principale prend sa source à l'extrémité ouest du Var (entre Saint-Maximin-la-Sainte-Baume et Pourcieux) et longe principalement le département des Bouches-du-Rhône à travers le pays d'Aix-en-Provence sur une longueur de plus de 82.8km avec une pente moyenne inférieure à 1 %. à 493 mètres d'altitude, au pied du mont Aurélien (879 m).

A l'amont de la zone d'étude, le bassin versant de l'Arc présente une surface de 157.84 km².

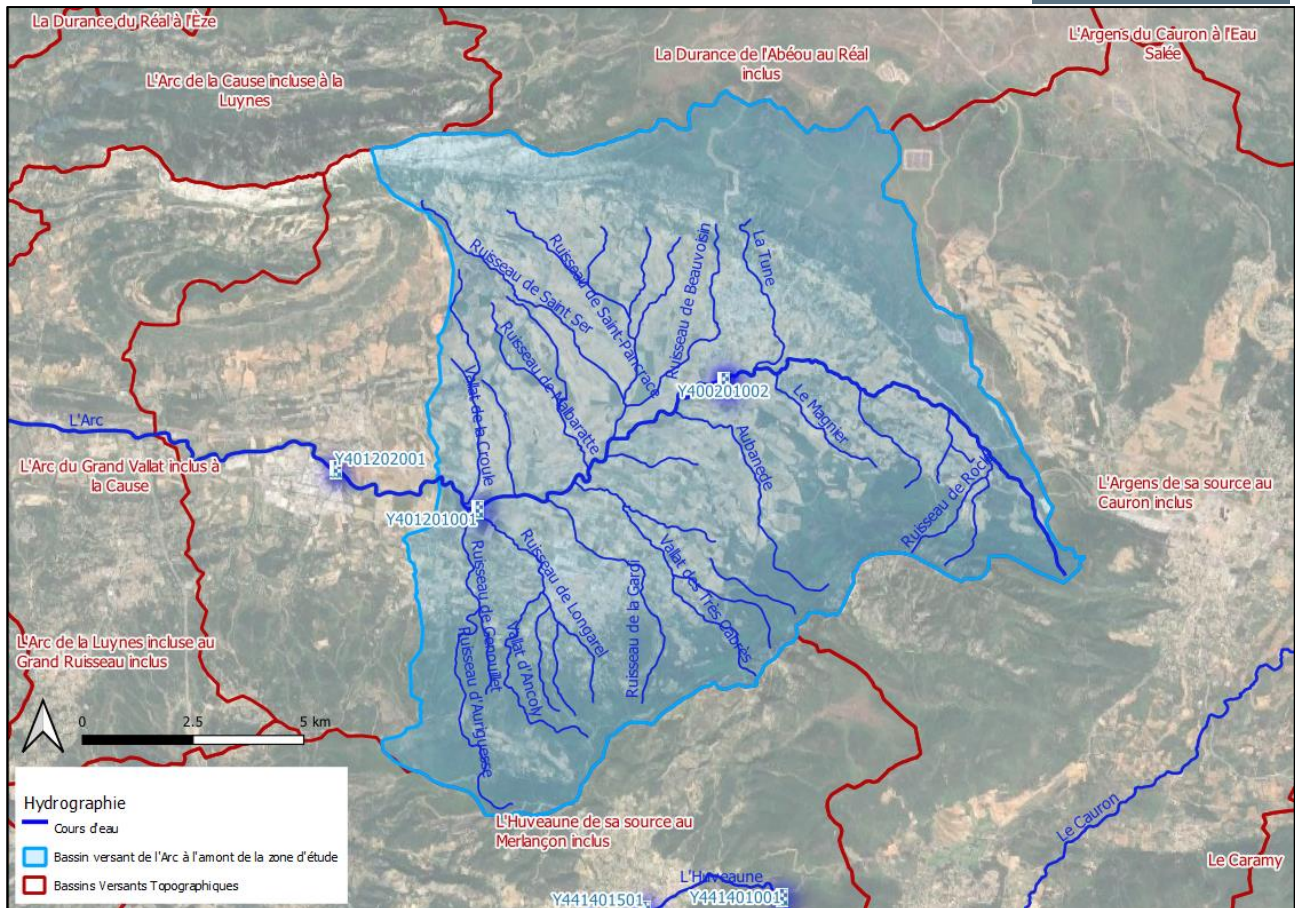


Figure 11 Carte du bassin versant à l'Arc à proximité de la zone d'étude

1.9. CAMPAGNE DE TERRAIN

Afin de prendre connaissance de l'état des lieux, une visite de terrain a été réalisée par Systra les 25 et 26 juillet 2024. Cette visite a permis de :

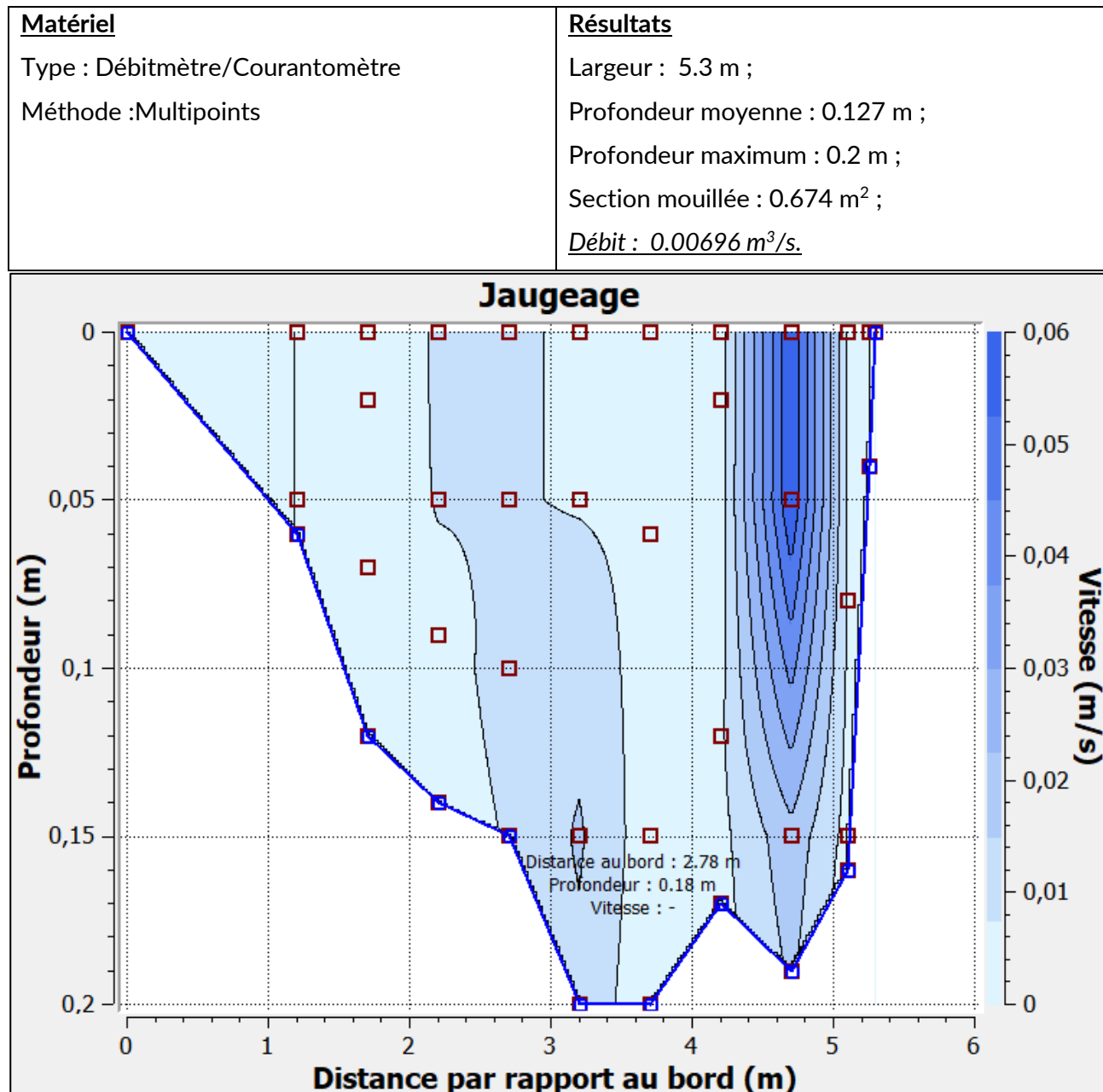
- Comprendre le terrain et le fonctionnement hydraulique sur la zone d'étude ;
- Définir les limites du modèle hydraulique de manière à illustrer le fonctionnement hydraulique de l'Arc en période de crue, ainsi que l'impact du projet sur les zones inondables ;
- Identifier les besoins en topographie pour la construction de ce modèle. Une campagne topographique a été réalisée après la transmission au maître d'ouvrage d'un CCTP ;
- Réaliser des mesures de débit et du niveau d'eau.

1.9.1. JAUGEAGES DE DEBIT

Les mesures du débit de l'Arc lors de la visite permettent ensuite de caler le lit mineur de l'Arc dans le modèle hydraulique en calibrant les niveaux d'eaux dans le modèle par rapport aux niveaux d'eau réels. Lors de la visite de juillet 2024 2 mesures ont été réalisées : une mesure à l'amont de la zone d'étude (à l'amont du rejet de la station d'épuration) et l'autre en aval.

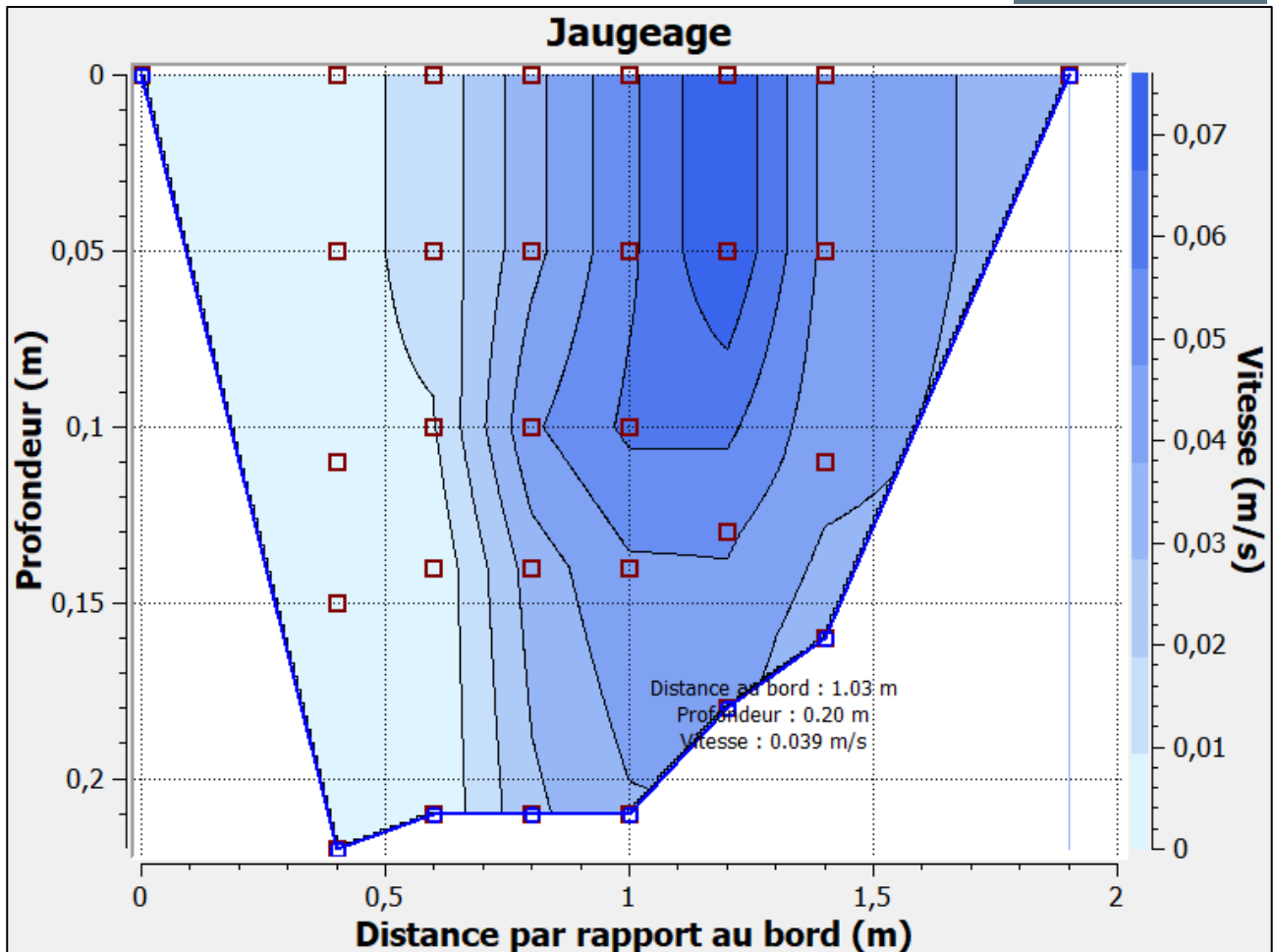
Pour ces jaugeages, un courantmètre électromagnétique a été utilisé pour mesurer les vitesses d'écoulement. Ces vitesses ont ensuite été converties en débits à l'aide de l'outil DEPJAU, développé par le BRGM.

1.9.1.1. Jaugeage 1



1.9.1.2. Jaugeage 2

Matériel	Résultats
Type : Débitmètre/Courantomètre	Largeur : 1.9 m
Méthode : Multipoints	Profondeur moyenne : 0.149 m
	Profondeur maximum : 0.22 m
	Section mouillée : 0.284 m ²
	Débit : 0.0103 m ³ /s



1.9.2. CAMPAGNE TOPOGRAPHIQUE

Une campagne topographique a été réalisée en fin 2024. Les relevés topographiques effectués sur le site incluent :

- le relevé de 21 profils en travers lit mineur ;
- le relevé de 4 profils en travers lit majeur ;
- le relevé du profil en long de l'Arc sur le site d'étude : du fond, des sédiments, du niveau d'eau, des merlons, des pieds et crêtes de berges ;
- le relevé de 2 embâcles (seuils) dans le lit mineur du cours d'eau (étoile orange) : profil en travers amont, profil en travers en crête et profil en travers aval ;
- le relevé de 8 marques de peinture ;

1.10. CONTEXTE REGLEMENTAIRE

1.10.1. OUTILS DE GESTION ET DE PLANIFICATION

1.10.1.1. Directive Cadre sur l'Eau (DCE)

La Directive Cadre sur l'Eau (DCE) du 23 octobre 2000 (directive 2000/60) vise à donner une cohérence à l'ensemble de la législation avec une politique communautaire globale dans le domaine de l'eau. Elle définit un cadre pour la gestion et la protection des eaux par grand bassin hydrographique sur le plan européen avec une perspective de développement durable.

Pour atteindre ses objectifs environnementaux, la directive cadre sur l'eau préconise la mise en place d'un plan de gestion.

1.10.1.2. Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE)

Pour la France, le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) et ses documents d'accompagnement correspondent à ce plan de gestion. Il a pour vocation d'orienter et de planifier la gestion de l'eau à l'échelle du bassin. Il bénéficie d'une légitimité politique et d'une portée juridique. Révisé tous les 6 ans, il fixe les orientations fondamentales pour une gestion équilibrée de la ressource en eau et intègre les obligations définies par la DCE.

L'aire d'étude immédiate est concernée par le SDAGE « Rhône Méditerranée » approuvé par arrêté préfectoral le 18 mars 2022 pour la période 2022-2027. Les orientations fondamentales du SDAGE sont les suivantes :

- OF0 : S'adapter aux effets du changement climatique ;
- OF1 : Privilégier la prévention et les interventions à la source pour plus d'efficacité ;
- OF2 : Concrétiser la mise en œuvre du principe de non-dégradation des milieux aquatiques ;
- OF3 : Prendre en compte les enjeux sociaux et économiques des politiques de l'eau ;
- OF4 : Renforcer la gouvernance locale de l'eau pour assurer une gestion intégrée des enjeux ;
- OF5 : Lutter contre les pollutions en mettant la priorité sur les pollutions par les substances dangereuses et la protection de la santé ;
- OF6 : Préserver et restaurer le fonctionnement naturel des milieux aquatiques et des zones humides ;
- OF7 : Atteindre et préserver l'équilibre quantitatif en améliorant le partage de la ressource en eau et en anticipant l'avenir ;
- OF8 : Augmenter la sécurité des populations exposées aux inondations en tenant compte du fonctionnement naturel des milieux aquatiques.

1.10.1.3. Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE)

Le Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) du Bassin de l'Arc est un outil de planification visant la gestion équilibrée et durable de la ressource en eau. **L'aire d'étude est concernée par le SAGE « Arc provençal ».**

Le SAGE du Bassin de l'Arc a été élaboré dans les années 90 pour améliorer la gestion des inondations et des milieux aquatiques à l'échelle du bassin versant.

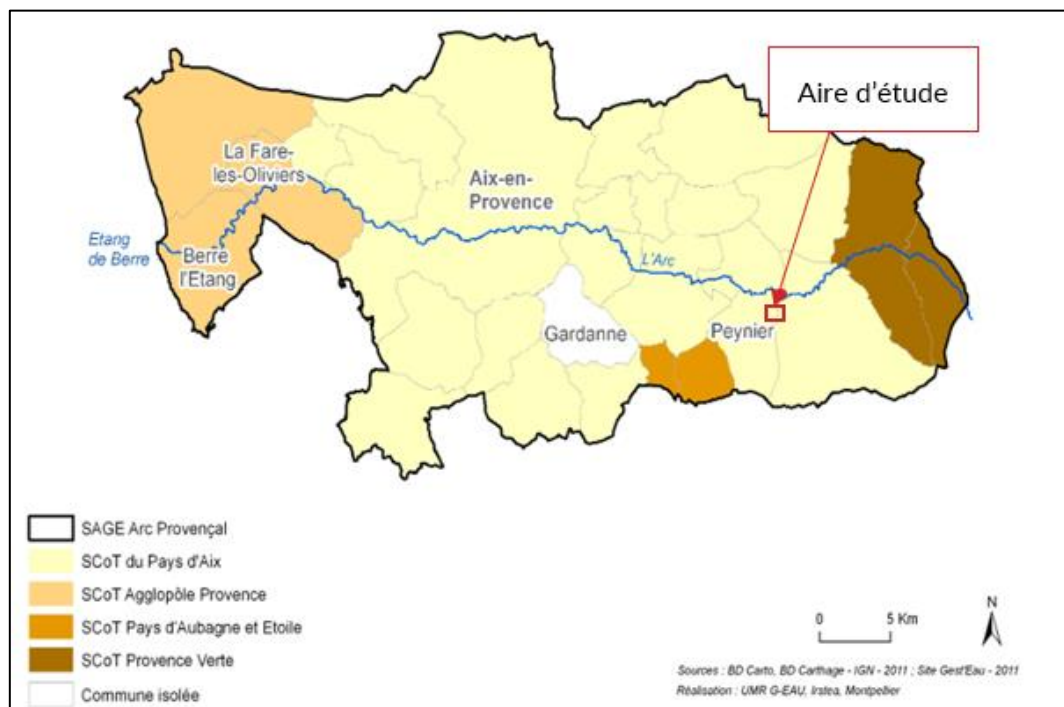
Après 10 ans d'existence, la Commission Locale de l'Eau (CLE) a souhaité réviser et améliorer ce document.

Le SAGE révisé a été approuvé en 2001 et est entré dans sa 2e révision en 2021.

Les principaux enjeux recensés sont les suivants :

- Risque d'inondation : l'urbanisation croissante a souvent placé les personnes et les biens dans des zones inondables, le long de l'Arc et de ses affluents.
- Qualité des milieux aquatiques : la forte densité démographique a entraîné des rejets domestiques incompatibles avec les capacités d'acceptation des cours d'eau.
- Les milieux aquatiques, souvent considérés comme une contrainte, sont dégradés.

Le SAGE « Arc provençal » vise à concilier ces enjeux en mettant en place des règles pour la gestion qualitative et quantitative de l'eau, la prévention des crues et la préservation de la biodiversité.



L'aire d'étude est concernée par Le SDAGE « Rhône Méditerranée » et le SAGE « Arc provençal » avec lesquels il doit être compatible.

1.10.2. PPRI

La zone d'étude est concernée par les inondations de l'Arc et se situe dans l'emprise de son PPRI. L'étude du PPRI a été réalisée en 2016 et les cartographies des zones inondables ont été présentées pour trois occurrences :

- La crue fréquente Q30 : période de retour de l'ordre de 30 ans.
- la crue de référence Qref : période de retour 100 ans ou crue historique documentée si elle lui est supérieure.
- la crue dite « exceptionnelle » Qex : débit obtenu en multipliant par deux les apports hydrologiques de la crue de référence.

Les résultats du niveau de la crue de référence ont été utilisés pour le calage du modèle hydraulique en lit majeur.

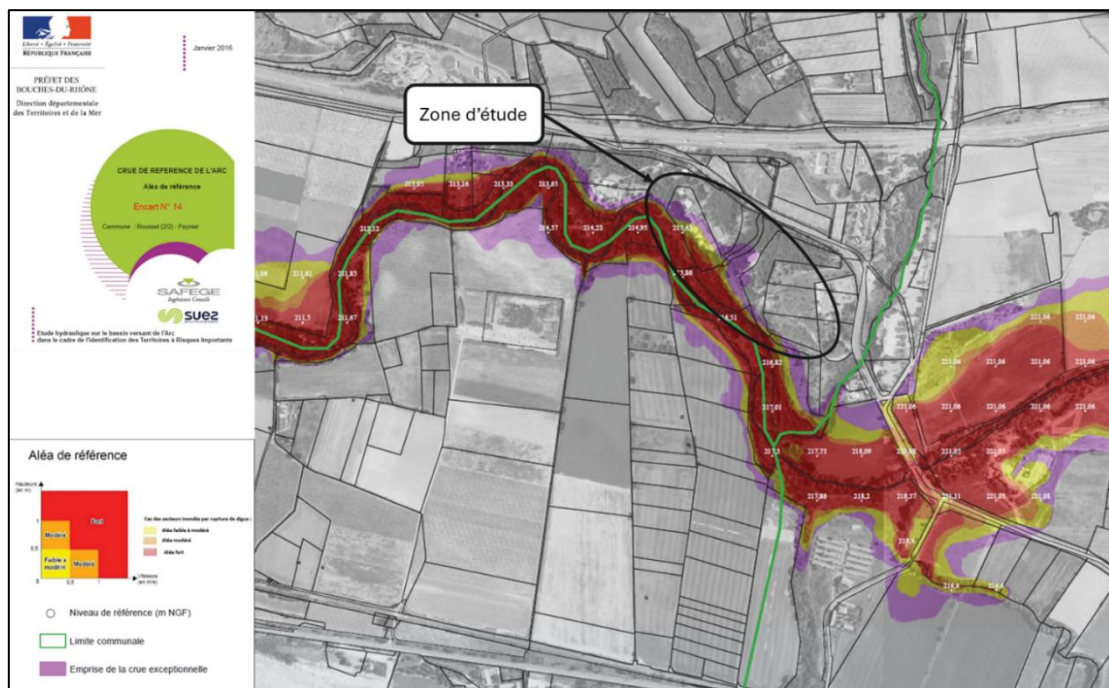


Figure 13 Carte de l'aléa de référence et de la crue exceptionnelle (source : DDTM des Bouches-du-Rhône)

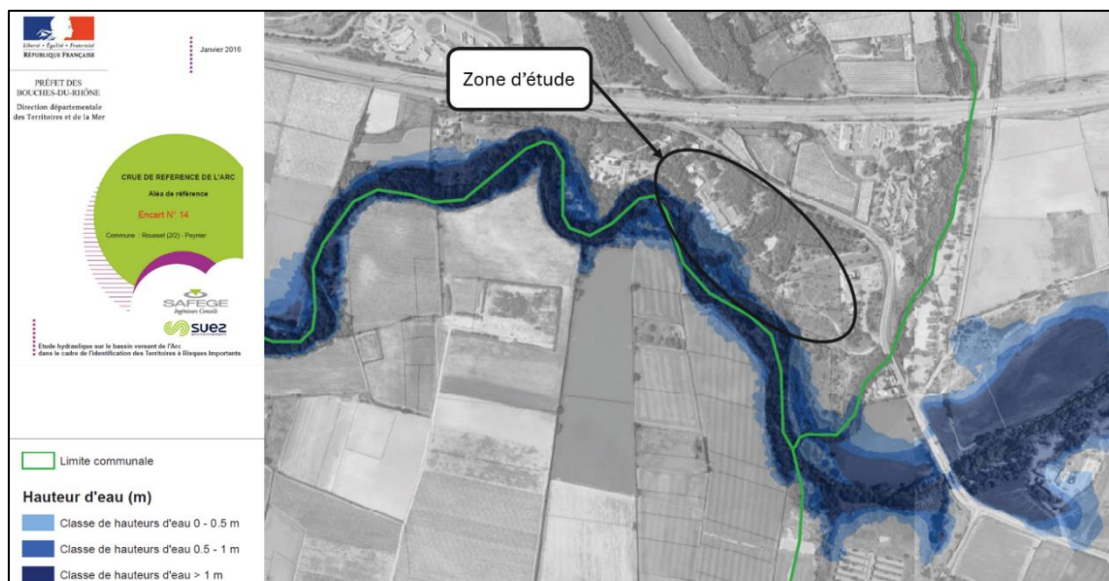


Figure 14 Cartographie de la crue trentennale dans le PPRI de l'Arc (source : DDTM des Bouches-du-Rhône)

2 ETUDE HYDROLOGIQUE

Cette analyse hydrologique concerne l'Arc sur sa partie amont de la zone d'étude. L'objectif de cette analyse est de définir les débits fréquents au droit de la zone d'étude. Ces débits seront utilisés comme conditions initiales dans le modèle hydraulique.

2.1.1. DEFINITIONS

2.1.1.1. QMNA5

Le QMNA est le débit (Q) mensuel (M) minimal (N) de chaque année civile (A). Le QMNA 5 est le débit mensuel sec de fréquence quinquennale : il existe une chance sur 5 pour que le débit mensuel le plus faible de l'année soit inférieur ou égal au QMNA 5.

Le QMNA5 est le débit de référence pour l'application de la police de l'eau. Il permet aux services instructeurs (service Police de l'Eau de la DDT(M)) d'identifier le régime qui s'applique (déclaration ou autorisation) et d'apprécier les incidences du projet. Il est communément appelé "débit d'étiage quinquennal".

2.1.1.2. Module

Le module est le débit moyen interannuel calculé sur l'année hydrologique et sur l'ensemble de la période d'observation de la station.

Ce débit donne une indication sur le volume annuel moyen écoulé et donc sur la disponibilité globale de la ressource. Il a valeur de référence, notamment dans le cadre de l'article L.214-18 du code de l'environnement fixant le débit réservé à 1/10^e du module.

2.1.1.3. QIX

Ce terme fait référence au débit instantané maximal sur une période donnée (un mois ici) pour les différentes crues.

2.1.1.4. Fréquence ou période de retour

La fréquence d'une crue de référence est la probabilité que cette crue soit atteinte ou dépassée chaque année. La période de retour est l'inverse de la fréquence.

Ainsi, pour la crue décennale, la fréquence de retour est de 0,1 et la période de retour est de 10 ans.

2.1.2. DELIMITATION DU BASSIN VERSANT (BV)

Le bassin versant correspond à la zone délimitée par des lignes de partage des eaux, dans laquelle toutes les eaux de ruissellement convergent vers un point nommé l'exutoire.

Le MNT (Modèle Numérique de Terrain) disponible² avec une résolution de 100 m, n'a pas permis de délimiter précisément le bassin versant. En effet, pour cette étude un maillage de 100 m x 100 m n'offre pas une précision suffisante pour réaliser cette délimitation de manière fiable avec un SIG (Système d'Information Géographique).

Pour cette analyse, l'exutoire a été positionné à l'aval immédiat de la zone d'étude. Afin de délimiter le bassin versant, les données ci-dessous ont été utilisées.

² Le MNT utilisé dans cette étude est celui disponible sur data.gouv.fr

- la carte des bassins versants (Source : Sandre),
- la carte IGN (Géoportail),
- le MNT (Modèle numérique de terrain) de la région (source : data.gouv.fr).

Après la délimitation du BV, sa superficie a été estimée à 157.8km². Ci-dessous la carte du bassin versant de l'Arc à l'amont de la zone d'étude :

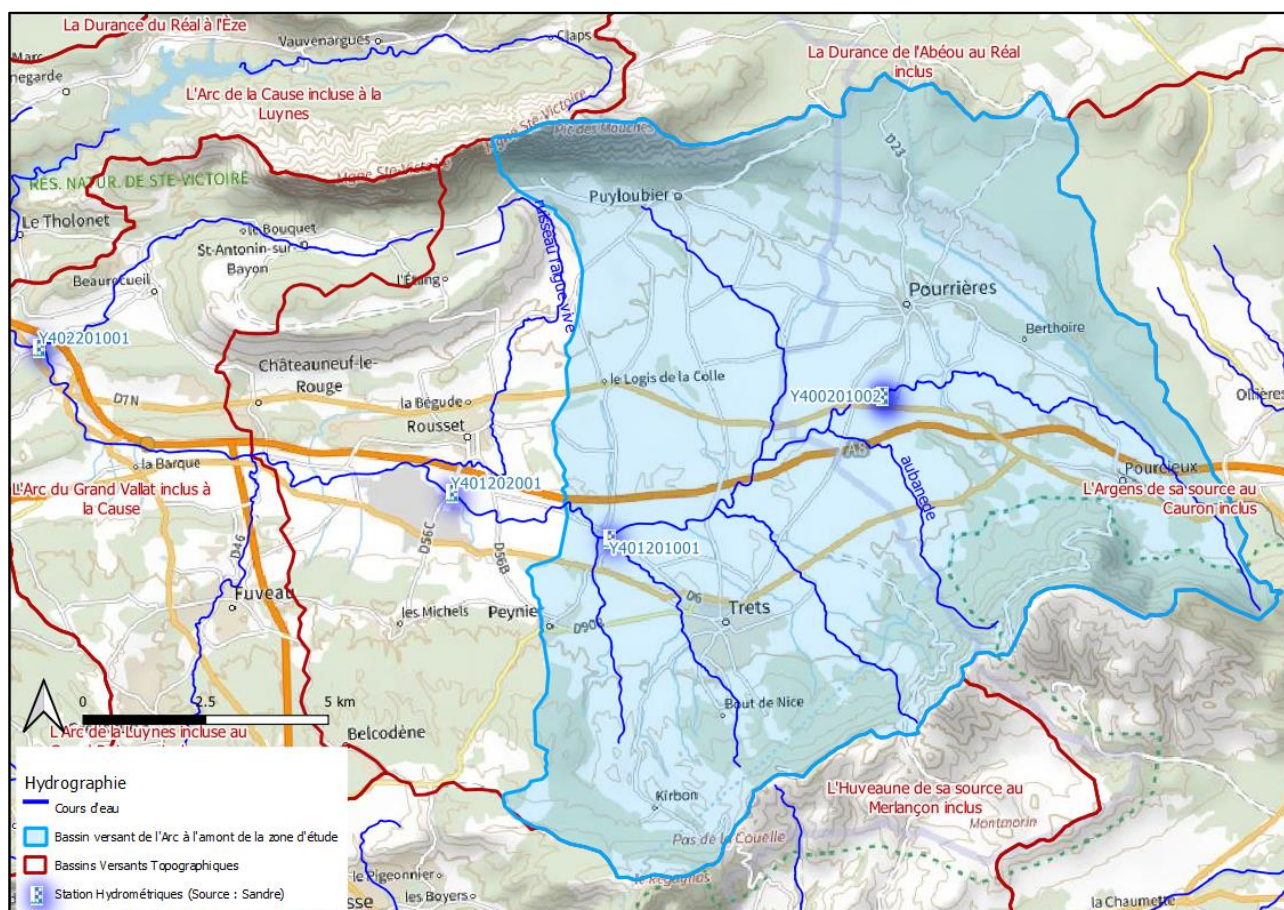


Figure 15 Carte du bassin versant de l'Arc et des stations hydrométriques présentes

2.1.3. ESTIMATION DES DEBITS DES CRUES

2.1.3.1. Données hydrométriques

L'Arc compte plusieurs stations hydrométriques permettant de suivre son débit (voir la carte du bassin versant et des stations hydrométriques ci-avant). Autour de la zone d'étude, la station contenant des données hydrométriques se situe à Meyreuil. Les 2 stations les plus proches ne disposent pas de données :

Tableau 3 Stations hydrométriques autour de la zone d'étude

Code de la station	Ancien code	Nom de la station	Durée de disponibilité des données	Période	Surface	Altitude
Y400201001	Y4002010	L'Arc à Pourrières - Feyssac	NC	NC	NC	NC
Y401202001	Y4012020	L'Arc à Rousset [Maneou]	0	/	Non renseigné	Non renseigné

Y402201001	Y4022010	L'Arc à Meyreuil [Pont de Bayeux]	53 ans	1972-2025	295.58 km²	166 mNGF
-------------------	-----------------	--	---------------	------------------	------------------------------	-----------------

Ci-dessous le calendrier de la disponibilité des données de la station de l'Arc à Meyreuil :

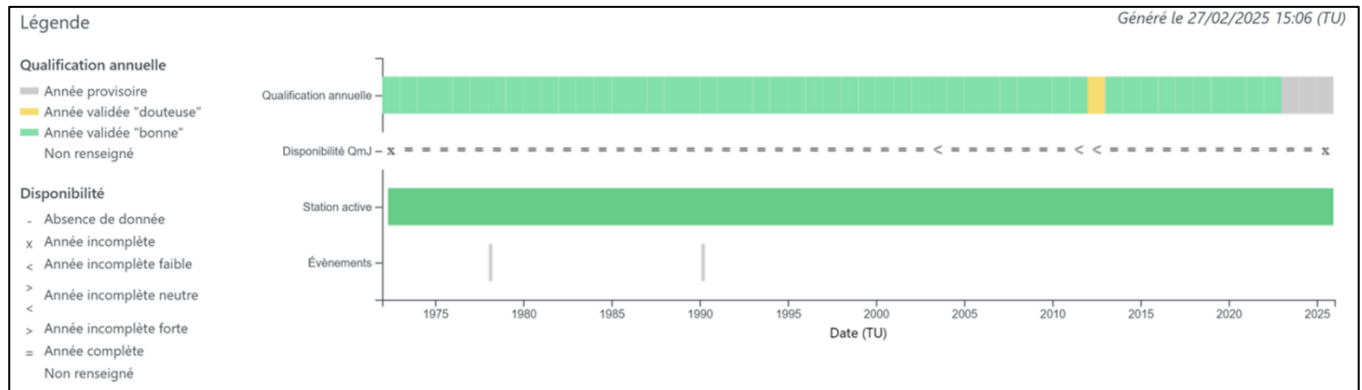


Figure 16 Années de disponibilité des données de la station de l'Arc à Meyreuil

2.1.3.2. Estimation des débits

Les débits au niveau du site d'étude ont été estimés pour un bassin versant de superficie de 157.8km². L'exutoire du bassin versant a été pris à l'aval de la zone d'étude.

La méthode de calcul utilisée est celle de transfert par la formule de Myer suivante :

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{S_1}{S_2} \right)^\alpha$$

Q_1 : débit recherché en m³/s S_1 : Superficie du bassin versant considéré en km²
 Q_2, S_2 : débit et superficie de la station de jaugeage pour laquelle des valeurs sont disponibles
 α = Coefficient de Myer

Le coefficient " α ", ou coefficient régional, peut varier suivant la région, le climat et les configurations du sol.

Cette méthode permet d'estimer les débits caractéristiques d'un bassin versant en se basant sur les débits mesurés dans une station située soit dans le même bassin versant, soit dans un bassin versant présentant des caractéristiques similaires. Dans le cadre de la présente étude, la station utilisée se trouve dans le même bassin versant (station de l'Arc à Meyreuil), à environ 11,5 km en aval du site d'étude. Les caractéristiques hydrologiques des deux bassins versants (topographie, type de sol, usage du sol, etc.) sont suffisamment similaires pour que cette approche soit pertinente.

Concernant le débit de la crue centennale Q100, les données de la station ne permettent pas de l'estimer. Il a été utilisé le débit de la crue de 2010 pris dans SAGE de l'Arc qui est égale à 480 m³/s au niveau du Pont de Bayeux. Au niveau de la zone d'étude, ce débit **Q100 = 290.59 m³/s**.

Les résultats des débits estimés par les données hydrométriques sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 4 Résultats de calcul des débits fréquentiels

Fréquence	Station hydrométrique - Y402 201001 : L'Arc à Meyreuil [Pont de Bayeux]	Au niveau du site d'étude
Surface BV (km ²)	295.58	157.84
QMNA5 (m3/s)	0.155	0.07
Module (m3/s)	1.21	0.65

Q2 (m3/s)	38.5	23.31
Q5 (m3/s)	77.3	46.80
Q10 (m3/s)	110	66.59
Q20 (m3/s)	146	88.39
Q50 (m3/s)	205	124.10
Q100 (m3/s)*	480	290.59

3 ETUDE HYDRAULIQUE DE L'ETAT INITIAL

3.1. MODELE HYDRAULIQUE

La modélisation permet de comprendre le fonctionnement hydraulique du cours d'eau. L'objectif de cette étude hydraulique est de construire un modèle hydraulique 1D de l'Arc à proximité du site du CNRS. L'outil utilisé est HEC-RAS qui permet de réaliser des modélisations hydrauliques en 1D pour des régimes fluviaux et torrentiels. Le modèle 1D représente deux niveaux de description mathématique des écoulements, et résolvent numériquement les équations de Barré Saint Venant, qui régissent les écoulements à surface libre. Les points forts de ce logiciel sont :

- La robustesse de son noyau de calcul qui permet d'étudier des écoulements torrentiels ou fluviaux en régime permanent ou transitoire ;
- La puissance et la souplesse des moyens de description du relief des zones à étudier (lits mineurs, ouvrages, digues...) ;
- Les interfaces de présentation de la topologie du modèle hydraulique mis au point et d'édition des résultats (courbes d'évolution temporelle des hauteurs d'eau ou des débits, profils en travers en long).

3.2. CONSTRUCTION DU MODELE

3.2.1. ÉTENDU DU MODELE

Le modèle hydraulique de cette étude s'étend depuis la confluence avec le ruisseau de la Groule à l'aval du pont de la D56 (route de Rousset) jusqu'au méandre à l'aval du site du CNRS. La carte suivante présente l'étendu du modèle sur la zone d'étude.

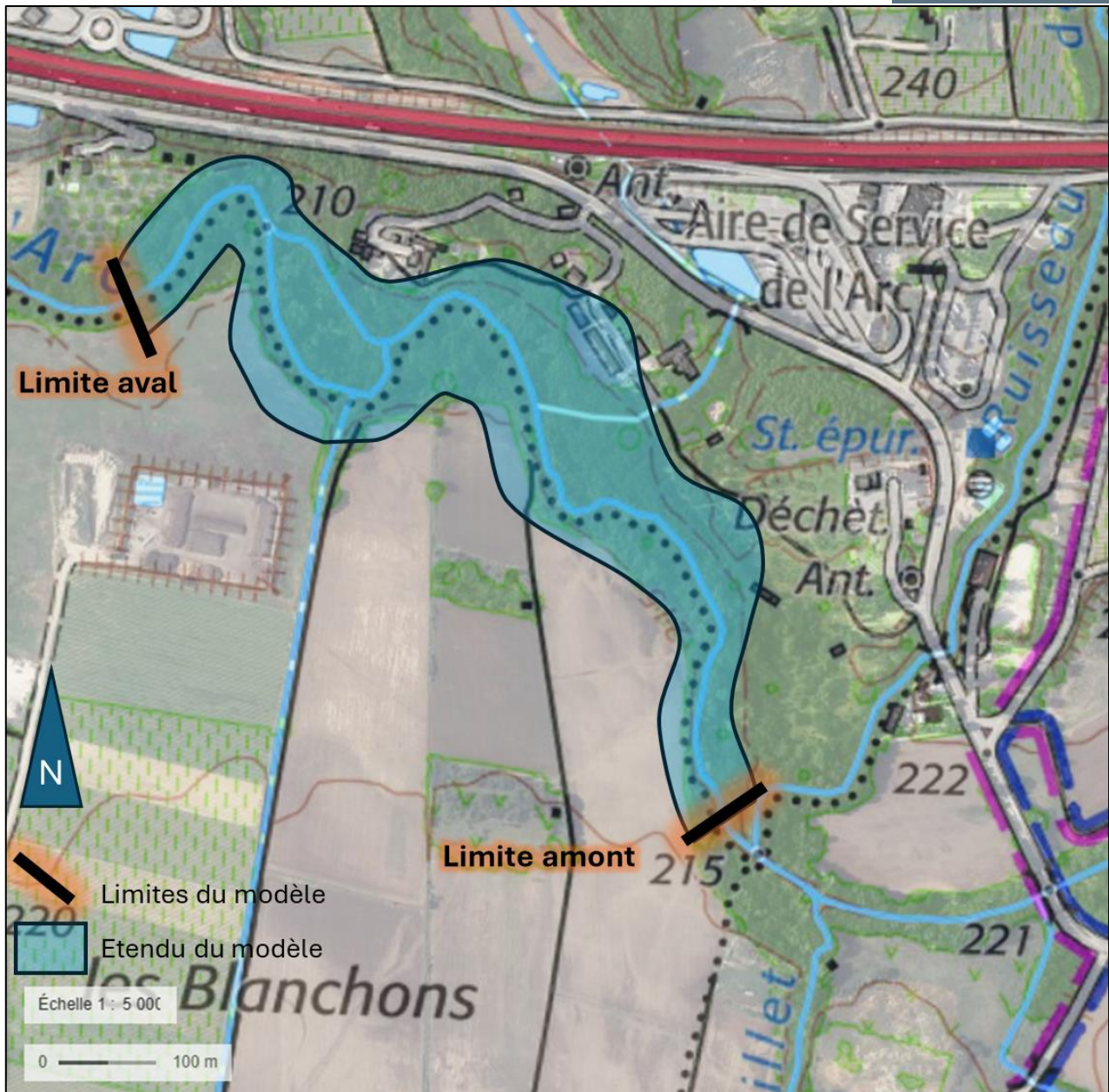


Figure 17 Étendu du modèle hydraulique de l'Arc

3.2.2. GEOMETRIE DU MODELE

Le modèle hydraulique HEC-RAS a été créé par une succession de profils en travers issus des levés topographiques/bathymétriques réalisés en fin 2024 de manière à définir le cours d'eau de l'Arc sur la zone d'étude et de se rapprocher au maximum de la situation réelle pour disposer de résultats fiables. Des interpolations ont été effectuées sur HEC-RAS entre les profils en travers (PT) afin d'assurer la stabilité du modèle. Dans la figure suivante un exemple de profil en travers du cours d'eau de l'Arc sur HEC-RAS est présenté.

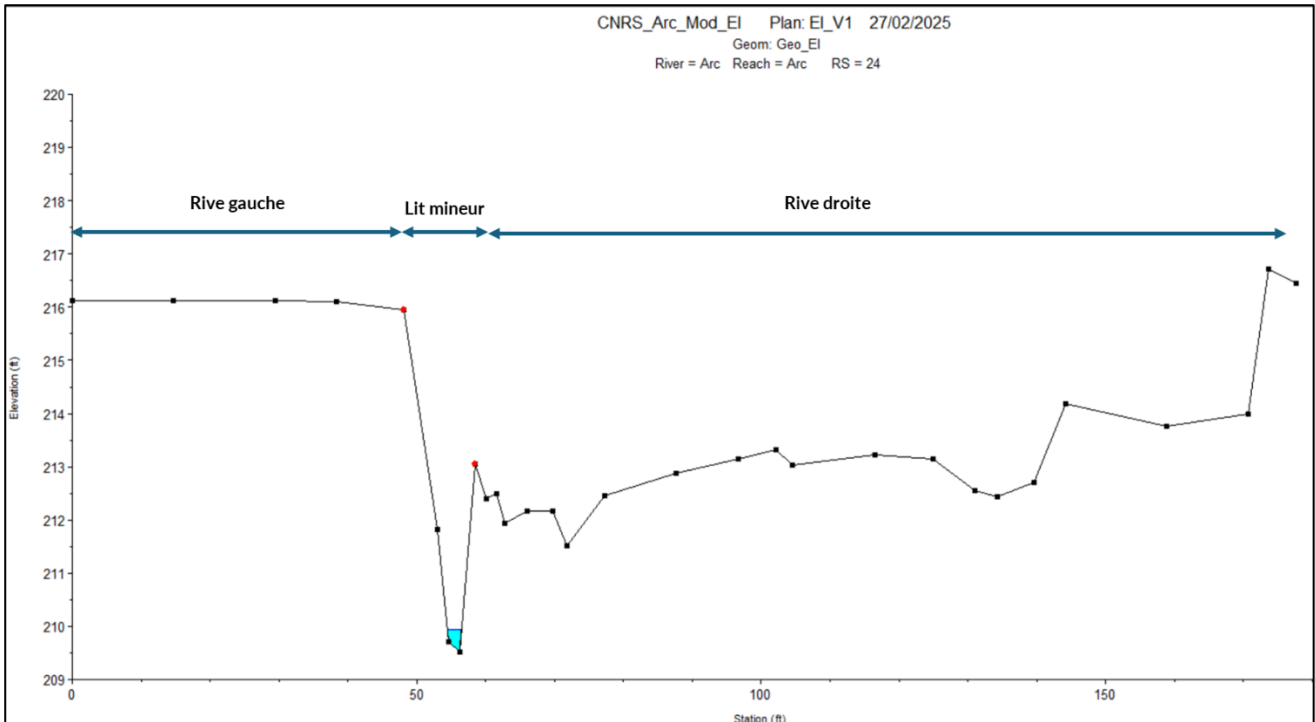


Figure 18 Exemple de profil en travers sur HEC-RAS

Les cartes suivantes présentent la localisation des profils en travers (PT), utilisés dans le modèle HEC-RAS :

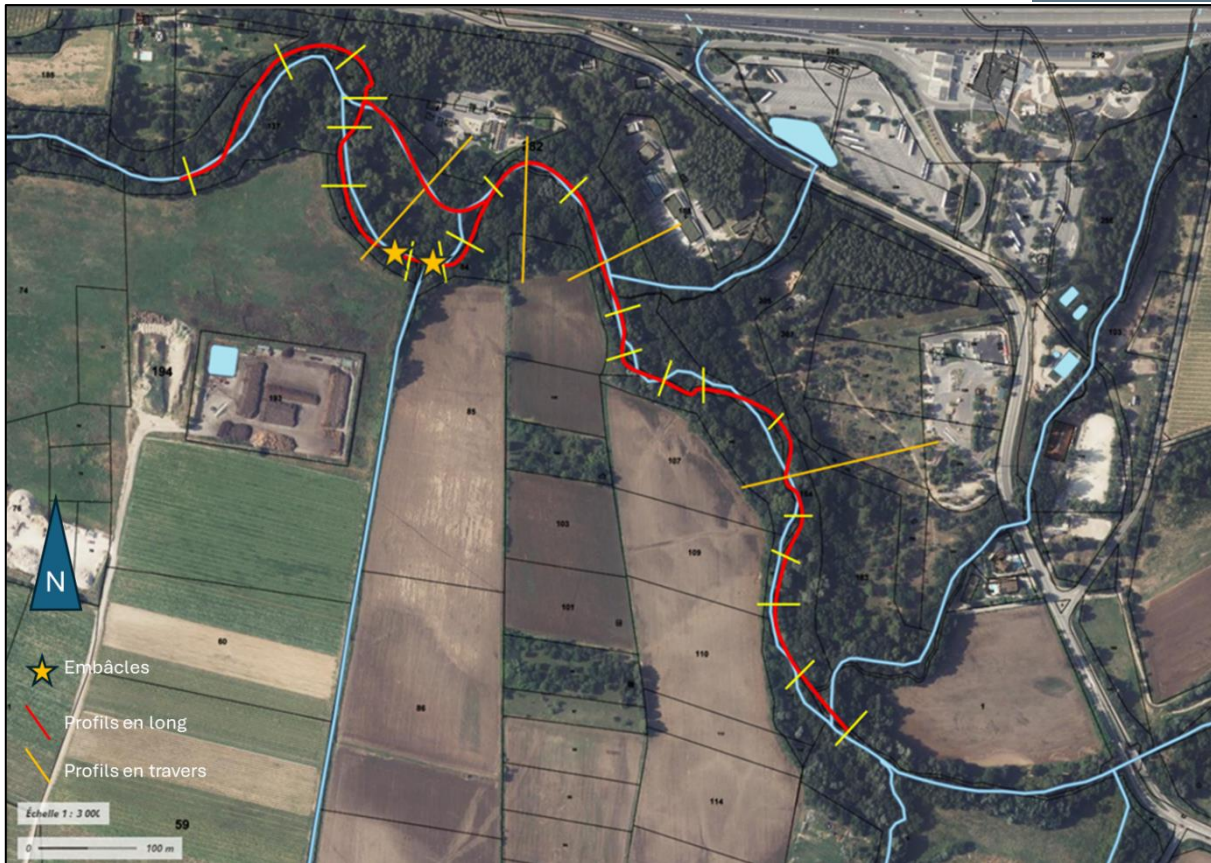


Figure 19 Carte de localisation des PT utilisés pour la construction du modèle hydraulique

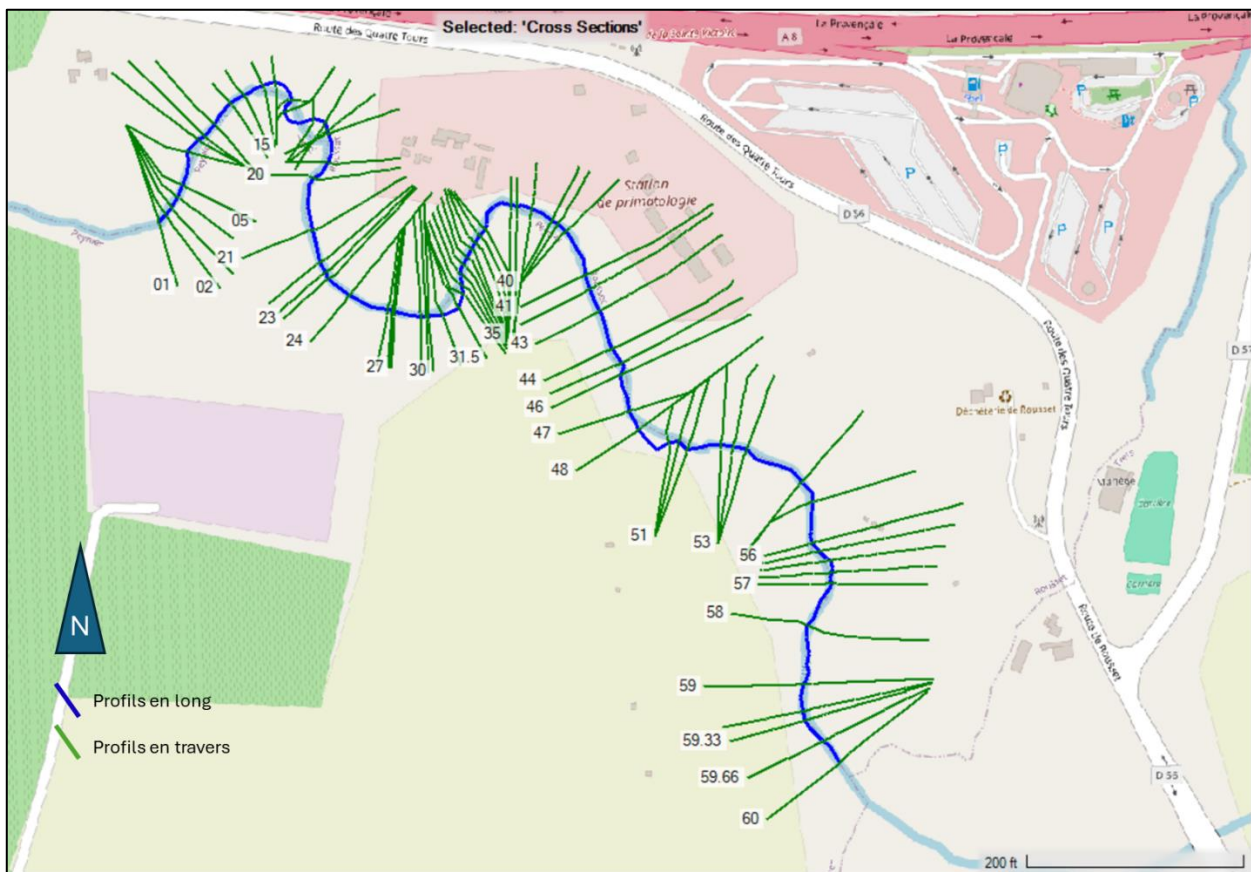


Figure 20 Carte des PT, avec leur numérotation, sur le modèle hydraulique

Après la définition de la géométrie du cours d'eau, les ouvrages hydrauliques et génie civil qui ont une influence sur l'écoulement des eaux de l'Arc doivent être présentés dans la géométrie. Sur la zone d'étude, aucun ouvrage hydraulique ou de franchissement n'existe. Seulement 2 embâcles ont été identifiés lors de la visite terrain de juillet 2024 (Voir la carte de localisation des PT, figure 19, ci-dessus). Ces 2 embâcles ont été présentés dans le modèle par des profils en travers.

Afin d'affiner la géométrie du modèle, des interpolations ont été effectués entre les profils en travers.

3.3. CALAGE DU MODELE

3.3.1. CALAGE DU LIT MINEUR

Le calage du lit mineur du modèle hydraulique a été effectué en se basant sur les mesures de débit et des niveaux d'eau réalisés lors de la visite de juillet 2024 (voir le chapitre 1.9. Campagne de terrain). Le calage du lit mineur a été effectué avec une marge d'erreur sur le niveau d'eau de ± 5 cm. Ci-dessous les résultats du calage du modèle en lit mineur :

Tableau 5 Résultat du calage du modèle hydraulique en lit mineur

PT	NE mesurés	NE du modèle	Erreur
45	211.02	211	-0.02
49	211.49	211.52	0.03
52	211.57	211.52	-0.05
60	212.86	212.82	-0.04

*NE : Niveau d'eau

3.3.2. CALAGE DU LIT MAJEUR

Concernant le lit majeur, il a été utilisé les résultats du PPRI pour le calage du modèle. Les niveaux d'eau présentés dans le PPRI exploitable pour le calage du modèle sont ceux de la crue de référence (Voir le Chapitre 1.10.2. PPRI).

Afin d'assurer la cohérence avec les données hydrométriques utilisées comme conditions pour le modèle (utilisation des données de la station de l'Arc à Meyreuil [Pont de Bayeux]), le calage du modèle a été effectué en utilisant le débit PPRI de la même station. Ci-dessous les résultats du calage du modèle en lit majeur :

Tableau 6 Résultat du calage du modèle hydraulique en lit majeur

PT	NE du PPRI	NE du modèle	Erreur (cm)
59	217.01	217.05	4
57	216.82	216.86	4
53	216.51	216.56	5
45	215.86	215.82	-4
41	215.43	215.47	4
37	214.95	215	5
21	214.57	214.55	-2
6-7	213.33	213.35	2

*NE : Niveau d'eau

3.4. HYPOTHESES DE MODELISATION

3.4.1. CONDITIONS INITIALES

Six débits ont été simulés dans le modèle du cours d'eau de l'Arc :

- Les débits d'étiage (QMNA5) et module qui présente les périodes de basses eaux ;
- Crues biennale (Q2) et décennale (Q10) : Présentent les crues fréquentes ;
- Crues cinquantennale (Q50 et centennale (Q100) : présentent les crues de référence.

Le tableau ci-dessous présente les débits de chaque simulation (Ces débits ont été calculés dans le chapitre 2 Etude hydrologique) :

Tableau 7 Débits simulés

Fréquence	Station hydrométrique - Y402 201001 : L'Arc à Meyreuil [Pont de Bayeux]	Au droit du site d'étude
Surface BV (km²)	295.58	157.84
QMNA5 (m³/s)	0.155	0.07
Module (m³/s)	1.21	0.65
Q2 (m³/s)	38.50	23.31
Q10 (m³/s)	110.00	66.59
Q50 (m³/s)	205.00	124.10
Q100 (m³/s)	480.00	290.59

3.4.2. CONDITIONS LIMITES

3.4.2.1. Conditions limites amont :

Pour le modèle hydraulique de la présente étude, les conditions limites ont été présentées par la pente du cours d'eau à l'amont de la zone d'étude. Pour la déterminer, il a été utilisé le profil en long :

$$Pente = \frac{\text{hauteur}}{\text{longueur}} = \frac{209.22 - 208.45}{1392.8 - 1246.4} = \frac{0.79}{146.4} = 0.00539 \text{ m/m}$$

Cette pente a été ensuite ajustée lors du calage du modèle sur l'amont du site. La pente finale utilisée comme conditions limite est 0.0041 m/m.

3.4.2.2. Conditions limites aval :

Représente la pente du cours d'eau à l'aval de la zone d'étude. Pour la déterminer, il a été utilisé le profil en long :

$$Pente = \frac{\text{hauteur}}{\text{longueur}} = \frac{212.41 - 212.01}{352.6 - 0} = \frac{0.4}{352.6} = 0.00113 \text{ m/m}$$

Pour le calage du modèle, il n'a pas été besoin d'ajuster la pente. La valeur de 0.00113 m/m a été maintenue.

3.5. RESULTATS DE LA MODELISATION DE L'ETAT INITIAL

Ci-dessous une carte de localisation des profils en travers :

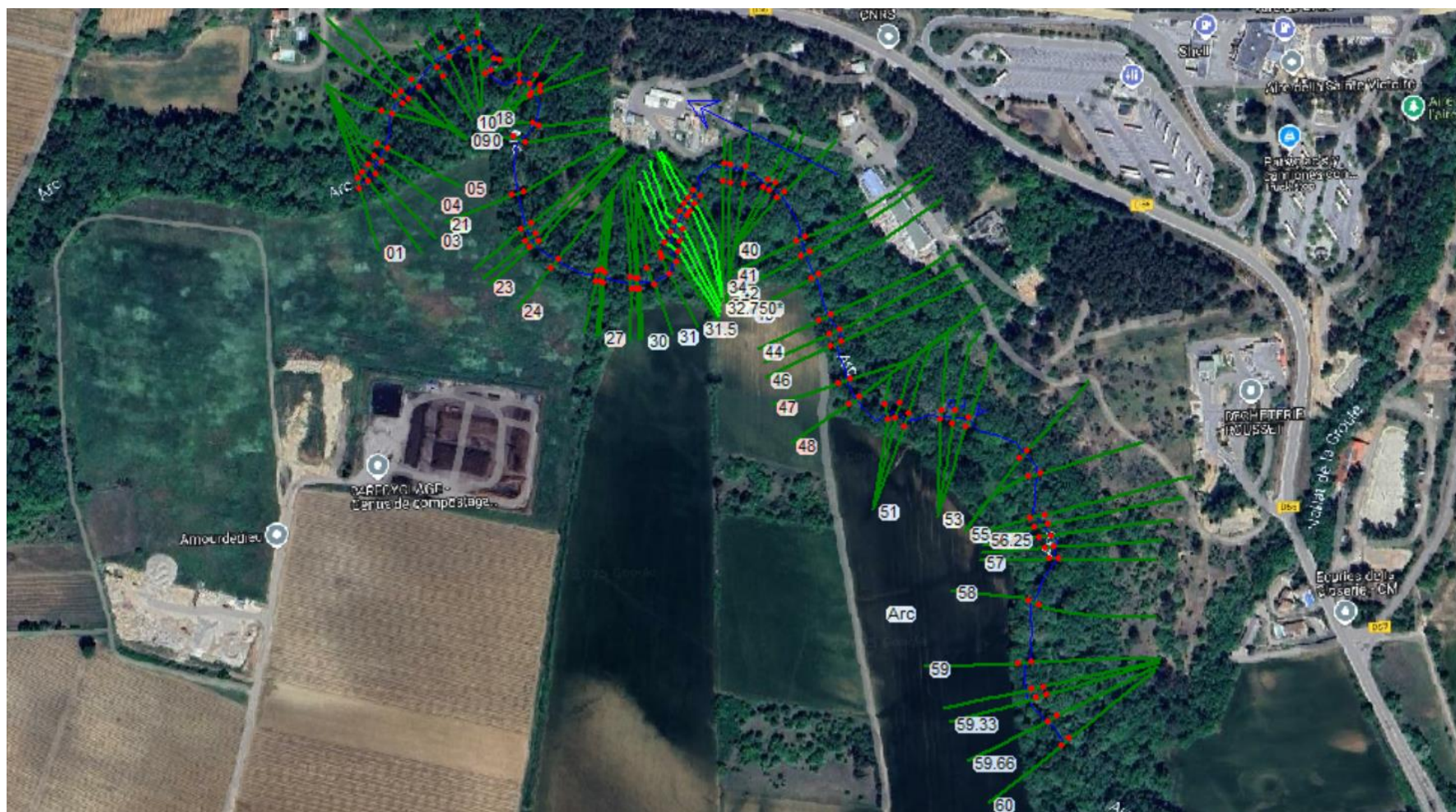


Figure 21 Carte de localisation des profils en travers

3.5.1. QMNA5 ET MODULE

Lors des périodes de basses et moyennes eaux, le cours d'eau présente une alternance caractéristique entre des faciès lentiques et des faciès lotiques. Les hauteurs d'eau mesurées sur l'Arc, au sein de la zone d'étude, varient entre 0,06 m et 1,57 m, avec une moyenne de 0,37 m. Quant aux vitesses d'écoulement, elles oscillent entre 0,008 m/s et 0,918 m/s, avec une moyenne de 0,276 m/s.

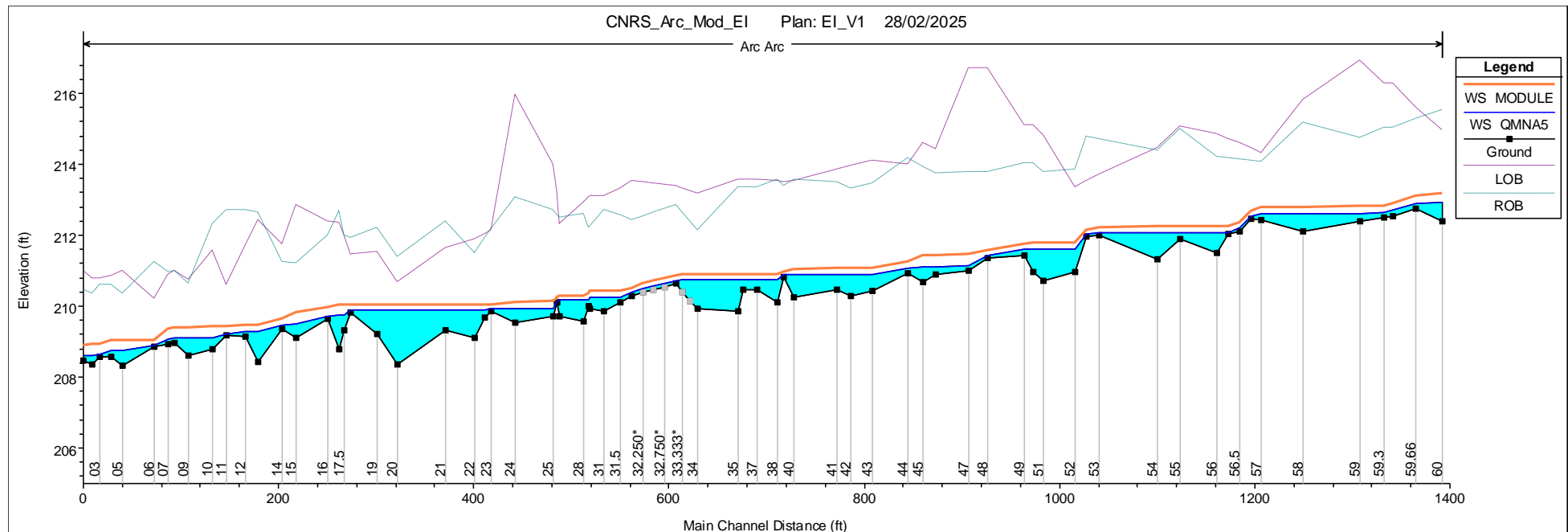


Figure 22 Profil en long de l'Arc sur la zone d'étude avec un débit QMNA5 et Module

3.5.2. Q2 ET Q10

Avec une crue biennale, sur l'ensemble de la zone d'étude, les niveaux d'eau sont à plein bord avec quelques débordements sur les deux rives de l'Arc sur la partie aval notamment entre le PT23 et le PT17. Les hauteurs d'eau sont entre 1.79m au niveau du PT7et 4.17 m au niveau du PT20 avec une moyenne de 2.63m. Les vitesses d'écoulement sont entre 0.43m/s (au niveau du PT5) et 2.932 m/s (au niveau du PT14) avec une moyenne de 1.326m/s.

En crue Q10, l'Arc déborde sur la quasi-totalité de la zone d'étude avec des niveau d'eau entre 1.95 et 5.00 m avec une moyenne de 3.65m. Les vitesses d'écoulement en crue décennale sont entre 0.61 et 5.46 m/s avec une moyenne de 1.82 m/s.

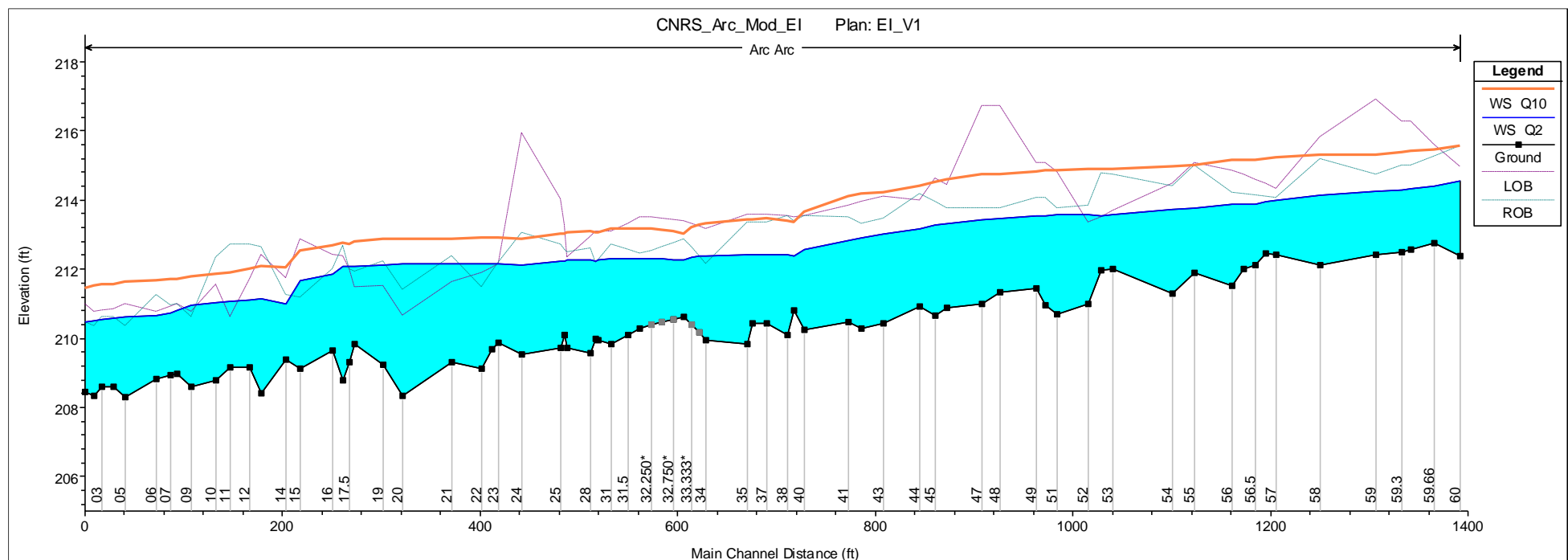


Figure 23 Profil en long de l'Arc sur la zone d'étude avec un débit Q2 et Q10

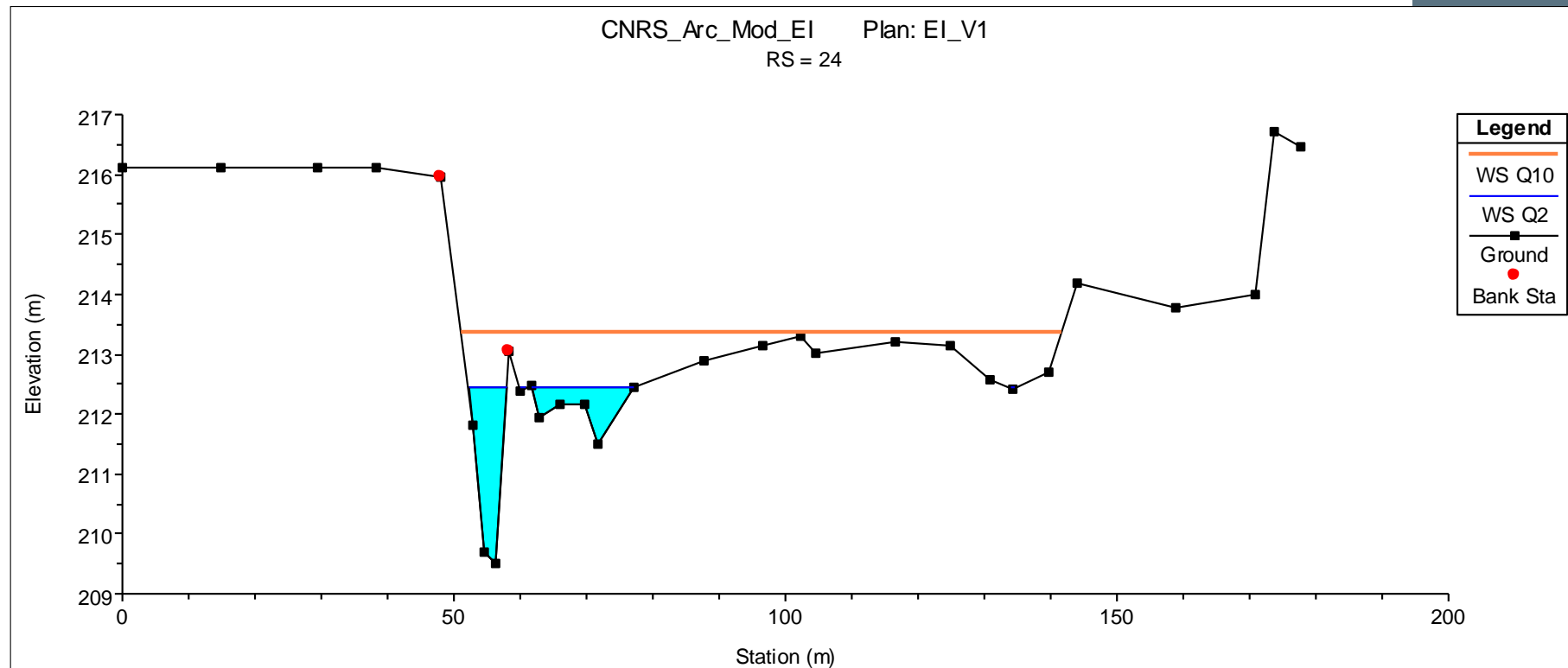


Figure 24 Profil en travers 24 avec un débit Q2 et Q10

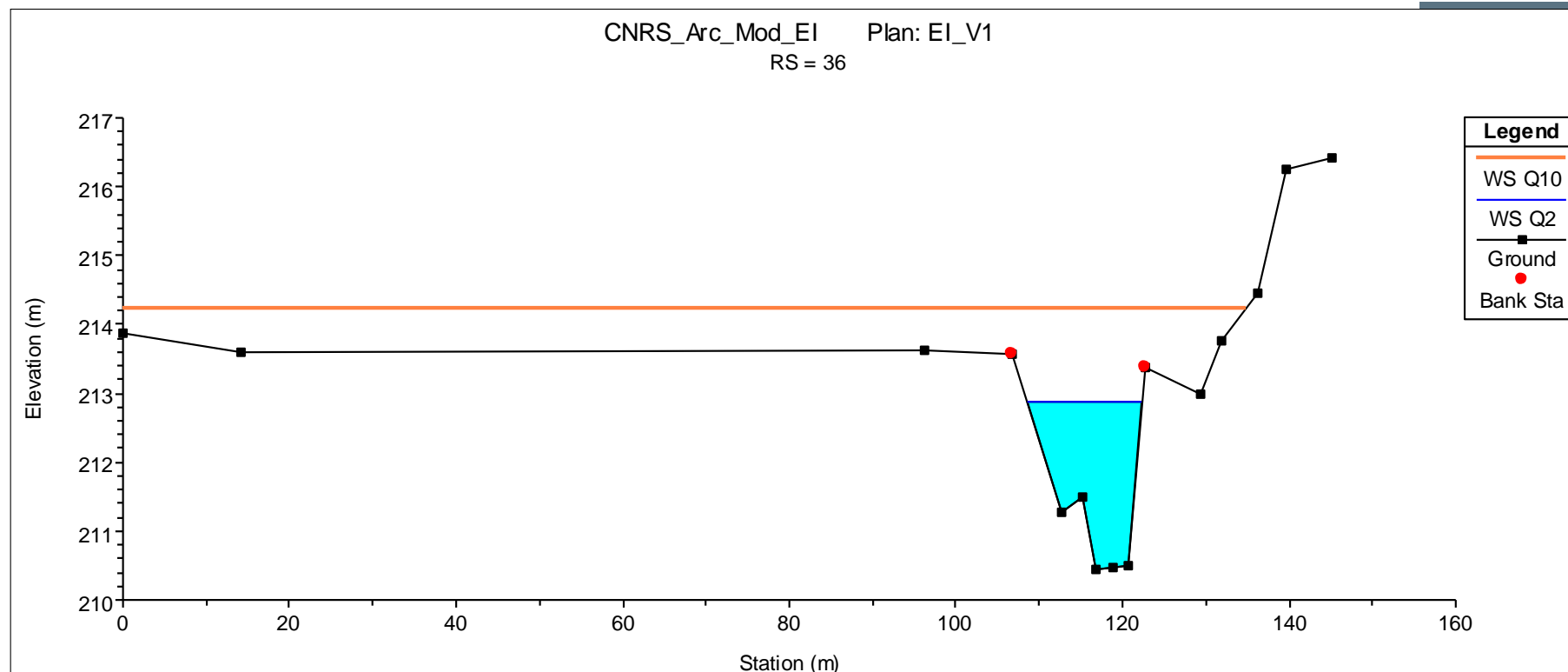


Figure 25 Profil en travers 36 avec un débit Q2 et Q10

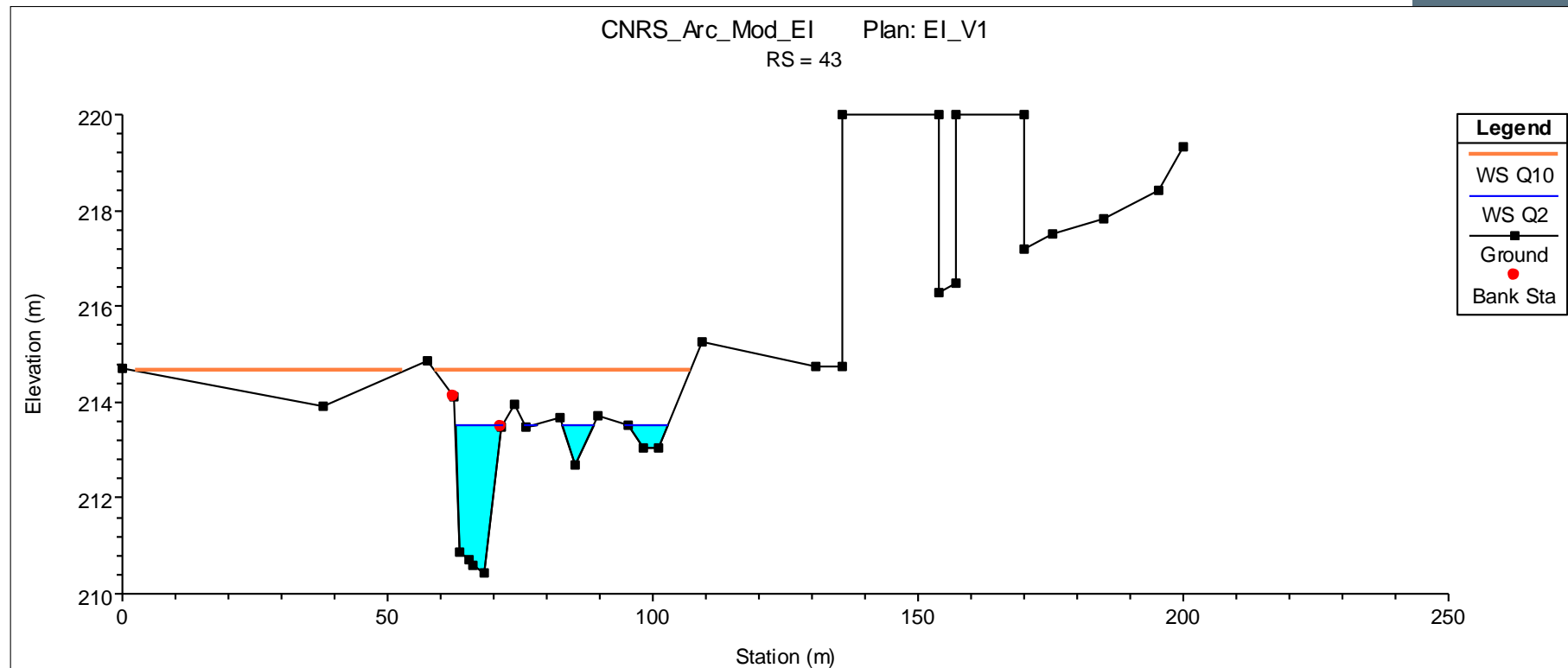


Figure 26 Profil en travers 43 avec un débit Q2 et Q10

3.5.3. Q50 ET Q100

Lors des crues cinquantennales (Q50) et centennales (Q100), l'ensemble du cours d'eau de l'Arc déborde sur ses deux rives. En Q50, les hauteurs d'eau varient entre 3.56 m et 5.63 m, avec une hauteur moyenne de 4.29 m. En Q100, elles oscillent entre 4.90 m et 6.95 m, avec une moyenne de 5.53 m. En ce qui concerne les vitesses d'écoulement, elles sont comprises entre 0.79 m/s et 3.69 m/s en Q50, pour une vitesse moyenne de 2.13 m/s, et entre 1.12 m/s et 4.39 m/s en Q100, avec une vitesse moyenne de 2.52 m/s.

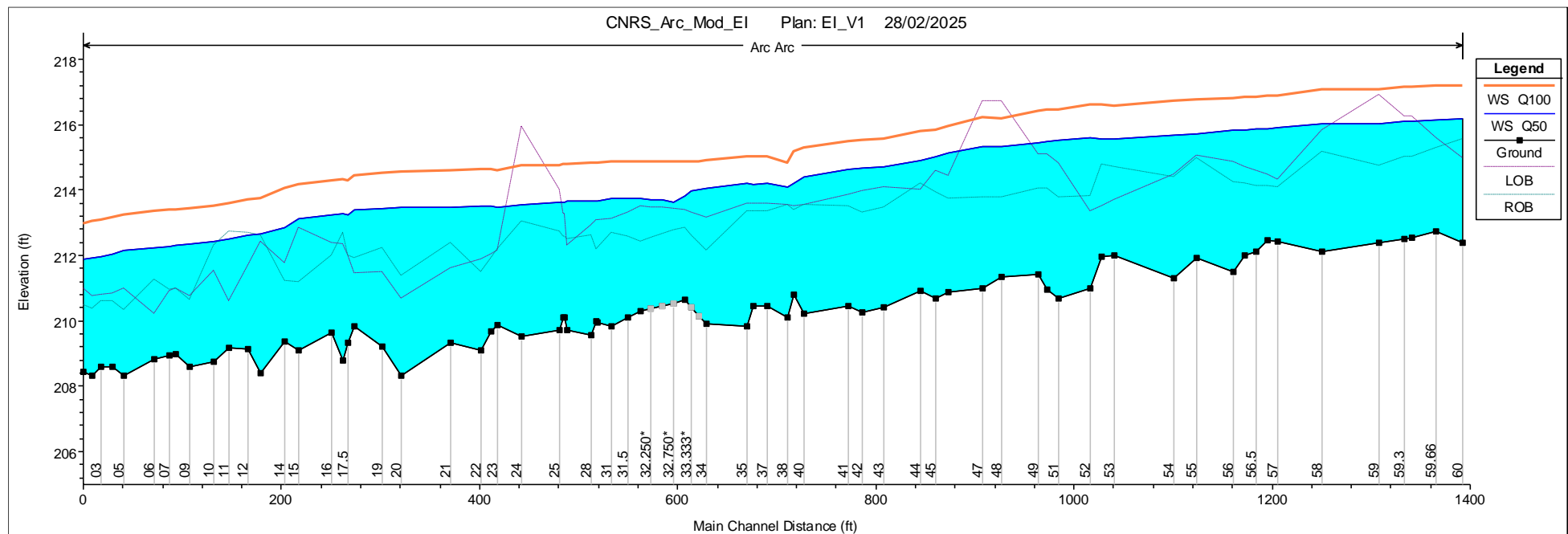


Figure 27 Profil en long de l'Arc sur la zone d'étude avec un débit Q50 et Q100

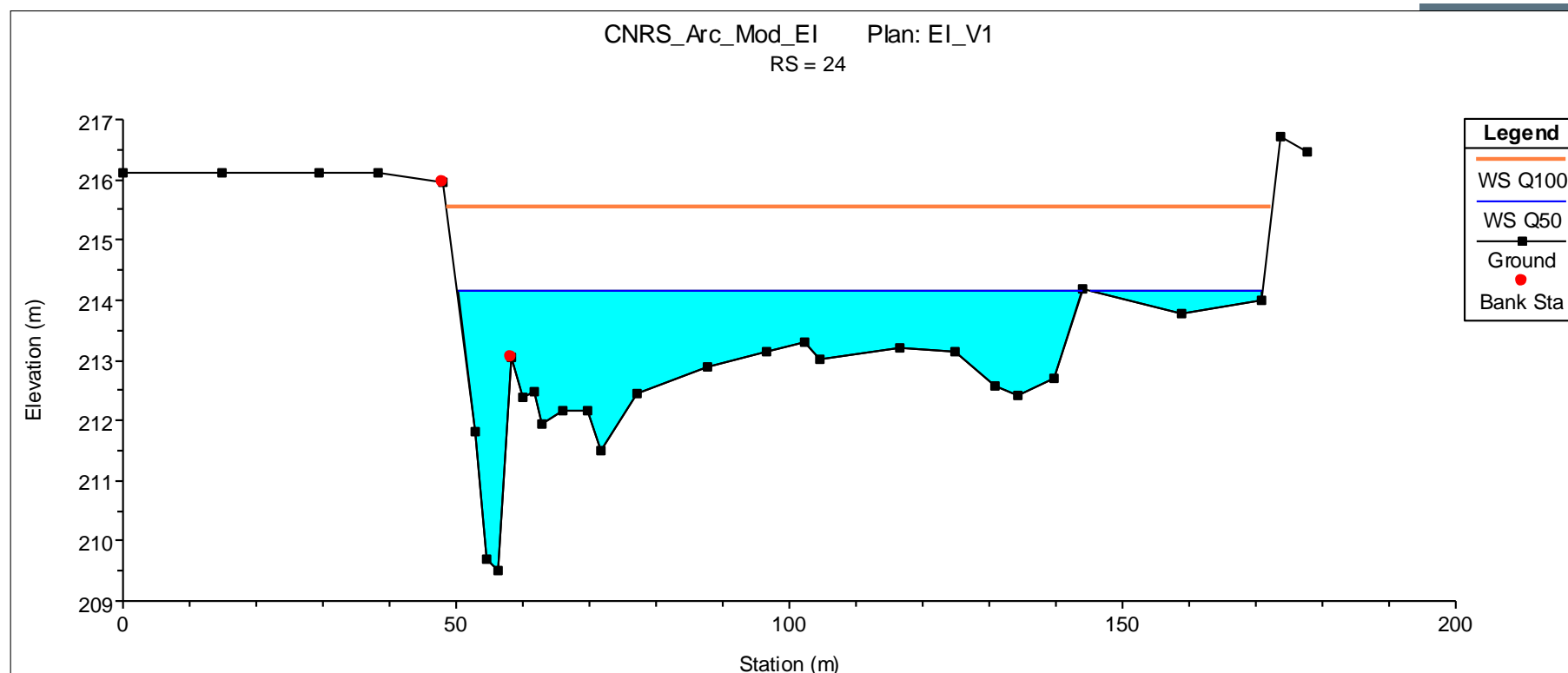


Figure 28 Profil en travers 24 avec un débit Q50 et Q100

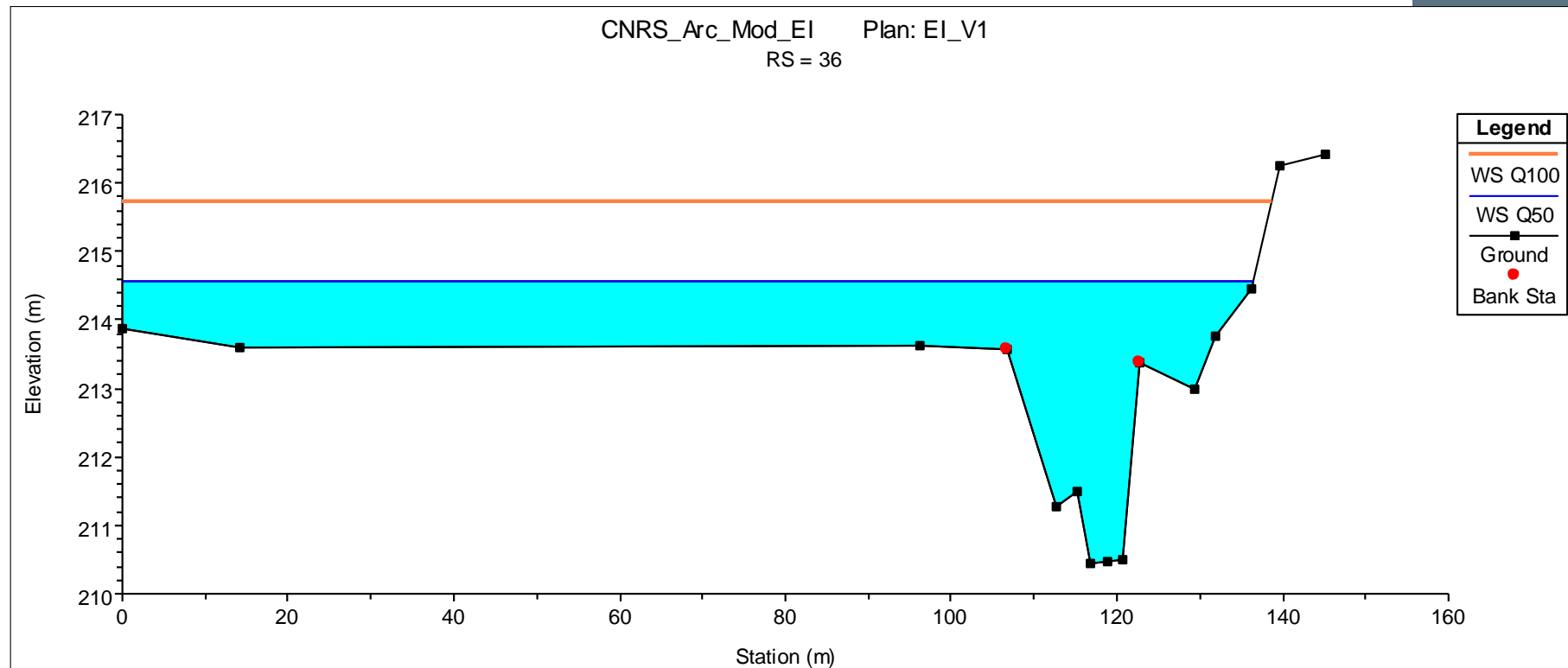


Figure 29 Profil en travers 36 avec un débit Q50 et Q100

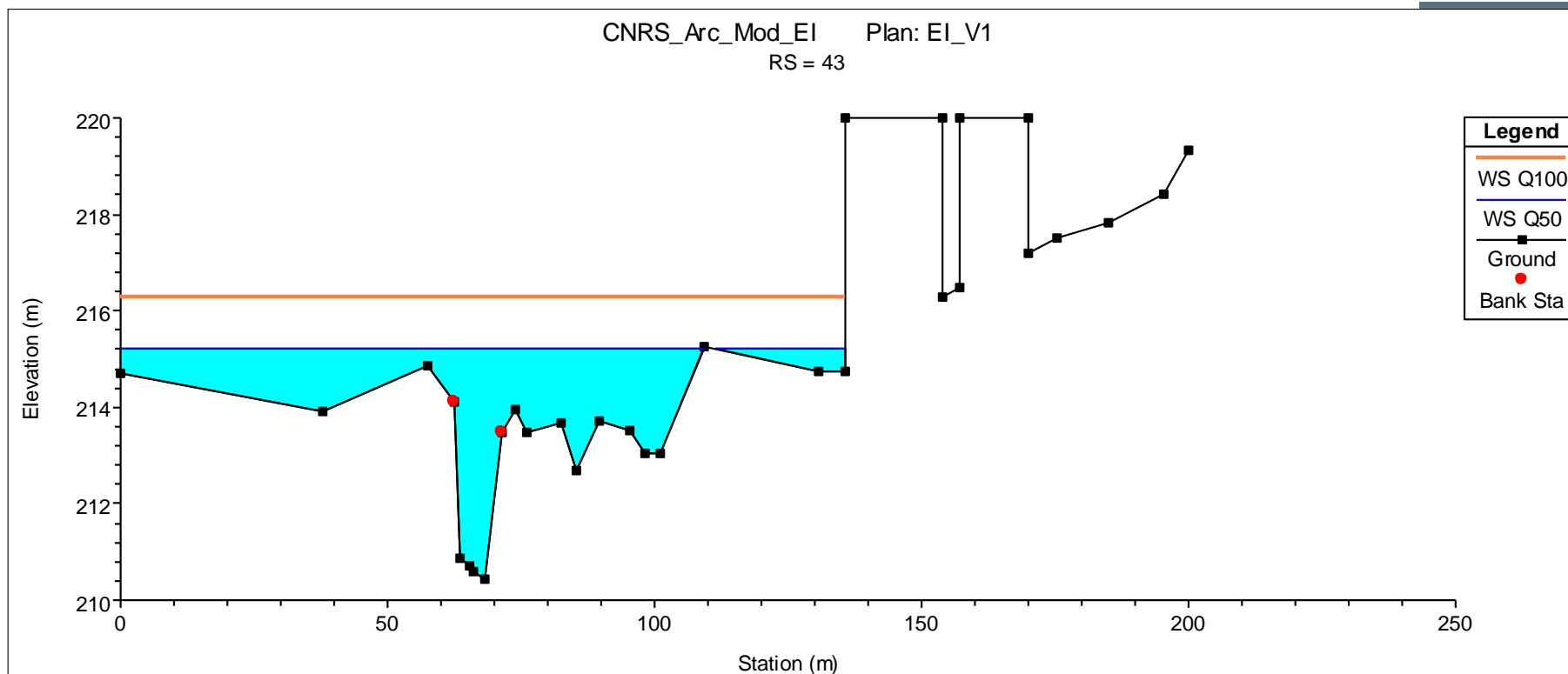


Figure 30 Profil en travers 43 avec un débit Q50 et Q100

4 ETUDE HYDRAULIQUE DE L'ETAT AMENAGE

Étude de l'état aménagé avec une analyse des impacts et des mesures compensatoires : Le modèle hydraulique sera modifié pour modéliser le site en état aménagé. Nous représentons ainsi les modifications apportées et le nouveau fonctionnement hydraulique du site. La production de cette modélisation nécessitera en plus des données utilisées pour la production du modèle de l'état initial, les plans d'implantation du projet, fournis par le MOA. Les simulations permettront de faire une analyse comparative entre les deux scénarios et de mettre en lumière l'évolution du fonctionnement hydraulique et l'impact du projet.

SYSTRA

72-76 rue Henry Farman
75015 Paris – France
+33(0)1 40 16 61 00
www.systra.com