



Reconstruction des Hôpitaux de Tarbes et de Lourdes – Projet de site commun – Commune de Lanne

Centre Hospitalier de Tarbes-Lourdes

ETUDE HYDRAULIQUE REMEANDRAGE DE LA GEUNE

ARTELIA / FEVRIER 2026 / 4362820

Reconstruction des Hôpitaux de Tarbes et de Lourdes – Projet de site commun – Commune de Lanne
Centre Hospitalier de Tarbes-Lourdes
 Etude hydraulique – Reméandrage de la Geüne

A	07/2025	Naia HIRIART-URRUTY	Eileen NDONGO		Première version
B	11/2025	Naia HIRIART-URRUTY	Eileen NDONGO		Modification du projet
	02/2026	Naia HIRIART-URRUTY	Eileen NDONGO		Modification de plans projet
INDICE	DATE DE REVISION	REDACTEUR*	VERIFICATEUR*	APPROBATEUR-(SI EXIGENCE)	DESCRIPTION DES MODIFICATIONS

SOMMAIRE

1.	SITUATION ET CONTEXTE	7
2.	ANALYSE HYDROLOGIQUE DE LA GEÛNE.....	8
2.1.	Caractéristiques physiques du bassin versant.....	8
2.1.1.	Occupation du sol.....	8
2.1.2.	Sous-bassins versants et valeurs caractéristiques.....	9
2.2.	Stations hydrométriques	11
2.2.1.	Station de la Gespe à Tarbes.....	11
2.2.2.	Station de l'Echez à Louey	12
2.2.3.	Station de l'Echez à Tarbes	13
2.3.	Pluviométrie.....	20
2.3.1.	Pluviométries générales	20
2.3.2.	Analyse de la pluviométrie des épisodes de crue récents	22
2.4.	Détermination des débits de crue.....	23
2.4.1.	Détermination du débit de pointe décennal.....	23
2.4.1.1.	Détermination des faibles débits de crue.....	26
2.4.1.2.	Détermination des débits de fréquences rares.....	27
2.4.1.3.	Détermination des hydrogrammes de crue.....	29
2.5.	Cohérence hydrologique du secteur	30
3.	HYDRAULIQUE – ETAT ACTUEL	33
3.1.	Modélisation 1D/2D	33
3.1.1.	Présentation du logiciel HEC-RAS.....	33
3.1.2.	Emprise de la modélisation numérique	34
3.1.3.	Maillage de calcul.....	36
3.1.4.	Données topographiques sur la zone d'étude	37
3.1.5.	Coefficients de rugosité	37
3.1.6.	Conditions aux limites	37
3.1.7.	Géométrie du modèle	40
3.2.	Activation du modèle	41
3.2.1.	Q2.....	41
3.2.1.1.	Hauteur.....	41
3.2.1.2.	Vitesse	44

3.2.2. Q5	46
3.2.2.1. Hauteur	46
3.2.2.2. Vitesse	48
3.2.3. Q100	50
3.2.3.1. Hauteur d'eau	50
3.2.3.2. Vitesses	52
4. HYDRAULIQUE – ETAT PROJET	54
4.1. Caractéristiques du projet	54
4.1.1. Dévoisement	54
4.1.1.1. Remplacement de l'ouvrage hydraulique	54
4.1.1.2. Dévoisement de la Geüne	56
4.1.1.3. Rehaussement de la RD216	60
4.1.1.4. Phasage travaux	60
4.1.2. Remblai	61
4.2. Résultats état projet	63
4.2.1. Q2	63
4.2.1.1. Impact sur l'emprise inondée	63
4.2.1.2. Impact sur les niveaux d'eau	65
4.2.1.3. Hydrogrammes	67
4.2.2. Q5	70
4.2.2.1. Impact sur l'emprise inondée	70
4.2.2.2. Impact sur les niveaux d'eau	72
4.2.2.3. Hydrogrammes	74
4.2.3. Q100	76
4.2.3.1. Impact sur l'emprise inondée	76
4.2.3.2. Impact sur les niveaux d'eau	78
4.2.3.3. Hydrogrammes	80
4.2.4. Mise en place de transparence hydraulique	82
4.2.4.1. Projet	82
4.2.4.2. Résultats	84
5. CONCLUSION	89

TABLEAUX

Tableau 1 – Coefficients de ruissellement retenus pour les différentes occupations du sol.....	9
Tableau 2 - Caractéristiques du bassin versant de la Geüne à différents exutoires	9
Tableau 3 – Débits statistiques de la Gespe à la station hydrométrique de Tarbes	11
Tableau 4 – Crues caractéristiques de la Gespe à Tarbes retenues dans le cadre du PPRI de l'agglomération Tarbaise.....	12
Tableau 5 – Débits statistiques de l'Echez à la station hydrométrique de Louey	13
Tableau 6 - Chronique de hauteurs mesurées à la Station de Prévision des Crues de l'Echez à Tarbes	14
Tableau 7 - Chronique de hauteurs mesurées et générées aléatoirement à la SPC de l'Echez à Tarbes	15
Tableau 9 - Chronique des débits de crues maximales annuelles à la S.P.C. de l'Echez à Tarbes	17
Tableau 10 - Ajustement des crues maximales annuelles à la S.P.C. de l'Echez à Tarbes	19
Tableau 11 – Crues caractéristiques de l'Echez à Tarbes retenues dans le cadre du PPRI de l'agglomération Tarbaise.....	19
Tableau 12 – Coefficients de Montana pour la station de Tarbes Ossun (1982-2016).....	22
Tableau 13 – Hauteurs de pluie mesurées à la station de Tarbes-Ossun sur différents pas de temps lors des crues récentes de la Geüne.....	22
Tableau 14 – Débits de pointe décennaux estimés par différentes méthodes et valeurs retenues	26
Tableau 15 - Débits de pointe des crues rares pour les différents sous-bassins via la méthode du Gradex	29
Tableau 16 – Débits caractéristiques de crue de l'Echez à Tarbes et de ses principaux affluents	32
Tableau 17 : Coefficients de Strickler pris en compte dans les zones 1D et 2D	37
Tableau 18 - Caractéristiques des profils en travers.....	57

FIGURES

Figure 1 – Occupation du sol du bassin de la Geüne (Corine Land Cover 2018)	8
Figure 2 – Sous-bassins versants de la Geüne	10
Figure 3 – Station hydrométrique de la Gespe à Tarbes. Photographies issues du rapport CACG, 2020	11
Figure 4 – Ajustement statistique des crues de l'Echez à Louey par une loi de Gumbel (source : hydroportail)	12
Figure 5 - Station de Prévision des Crues de l'Echez à Tarbes	14
Figure 7 - Barème de la Station de Prévision des Crues de l'Echez à Tarbes	16
Figure 8 - Graphe d'ajustement à une loi de Gumbel des crues maximales annuelles à la S.P.C. de l'Echez à Tarbes.....	18
Figure 9 - Graphe d'ajustement à une loi normale des crues maximales annuelles à la S.P.C. de l'Echez à Tarbes	18
Figure 10 - Analyse des pluies à Tarbes - Ossun sur un graphe de Gumbel (1946-2021).....	21
Figure 11 – Emplacements des points de calcul par la méthode SHYREG de l'INRAE	25
Figure 12 – Hydrogrammes recalés des cinq plus fortes crues observées à la station de l'Echez à Louey	28
Figure 13 – Hydrogrammes de la crue décennale du BV9 estimés par 3 méthodes différentes..	30
Figure 14 – Bassins versants de l'Echez à la station de Tarbes et de ses affluents principaux.....	31
Figure 15 : Emprise du modèle hydraulique de Adé à Juillan.....	35
Figure 16 : Représentation du maillage du modèle principal.....	36
Figure 17 – Points d'injection des débits dans le modèle de Adé à Juillan	39
Figure 18 - Relevé photogrammétrique.....	40

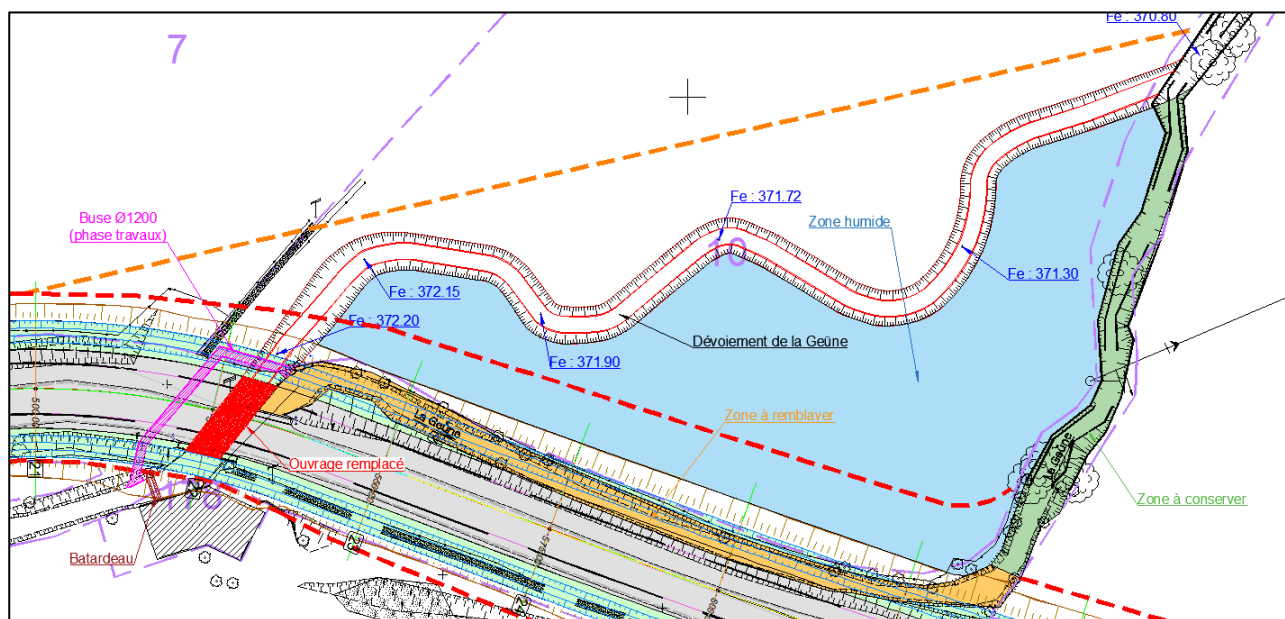
Figure 19 - Profils en travers et profil en long de la Geüne	41
Figure 20 – Hauteurs d’eau maximales pour une crue biennale (Etat actuel – Crue biennale) ...	43
Figure 21 – Vitesses maximales pour une crue biennale	45
Figure 22 – Hauteurs d’eau maximales pour une crue quinquennale (Etat actuel – Crue quinquennale)	47
Figure 23 – Vitesses maximales pour une crue quinquennale	49
Figure 24 – Hauteurs d’eau maximales pour une crue centennale (Etat actuel – Crue centennale)	51
Figure 25 – Vitesses maximales pour une crue centennale	53
Figure 26 - Vue en plan de l'état actuel	54
Figure 27 - Ouvrage actuel - RD216	55
Figure 28 - Vue en plan de l'ouvrage projet	55
Figure 29 - Coupe de l'ouvrage projet	56
Figure 30 - Localisation des profils en travers	57
Figure 31 - Profil en long de la Geüne	58
Figure 32 - Vue en plan du dévoiement de la Geüne	58
Figure 33 - Coupe type du projet	59
Figure 34 - Modification du terrain dévoiement (Droite état actuel, gauche état projet)	60
Figure 35 - Positionnement des fascines de saules et boudins d'hélophytes	Erreur ! Signet non défini.
Figure 36 - Exemple de fascine de saules (Source : Artelia)	Erreur ! Signet non défini.
Figure 37 - Exemple de boudins d'hélophytes (Source : Marcanterra)	Erreur ! Signet non défini.
Figure 38 - Profil en travers du dévoiement de la Geüne avec technique végétale..	Erreur ! Signet non défini.
Figure 39 - Profil en long projet - CD65	60
Figure 40 - Localisation du remblaiement	62
Figure 41 - Modification du terrain remblai (Droite état actuel, gauche état projet)	63
Figure 42 - Plan projet avec la transparence hydraulique	83
Figure 43 - Positionnement des dalots	84

1. SITUATION ET CONTEXTE

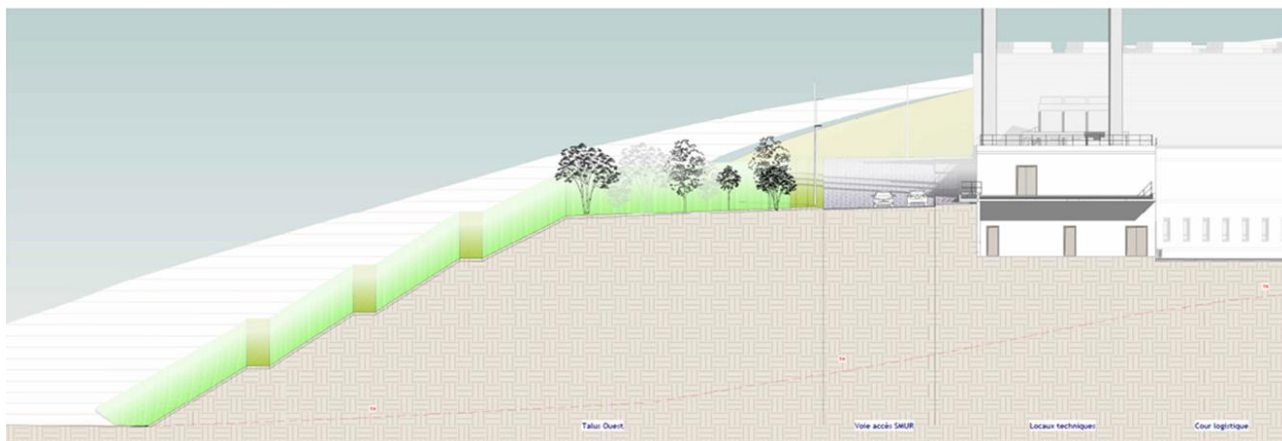
Pour faciliter l'accès routier au nouvel hôpital, le Conseil Départemental 65 envisage un élargissement de la RD216 et la création d'un giratoire en entrée de site.

Cet aménagement routier intégrera également le remplacement du pont existant sur la Geüne et sa substitution par un ouvrage cadre d'un gabarit semblable à celui présent actuellement.

De plus, l'élargissement de la route conduit au remblaiement de la Geüne sur un linéaire de 200m. Ainsi, la Geüne sera déviée et sera méandrique, plus favorable à la biodiversité.



De plus, la construction du nouvel Hôpital nécessiter un remblaiement du site.



Dans ce contexte, Le Centre Hospitalier Tarbes-Lourdes a confié à ARTELIA la réalisation de l'étude d'impact.

Les travaux envisagés sont situés dans une zone couverte par le Plan de Prévention des Risques d'Inondation (PPRI).

ARTELIA a réalisé en avril 2022 un modèle HEC-RAS 1D/2D de la Geüne dans le cadre d'une étude de diagnostic de vulnérabilité du territoire au risque inondation pour le compte du SMAA. Le modèle est donc utilisé pour la modélisation de l'état projet dans le cadre du projet de l'hôpital de Tarbes.

Ce document constitue l'étude hydraulique des écoulements de la Geüne en état actuel. Il s'agira par la suite de définir les impacts du projet.

2. ANALYSE HYDROLOGIQUE DE LA GEÛNE

L'analyse hydrologique est issue de l'étude hydraulique réalisé pour le compte du SMAA dans le cadre d'une étude de diagnostic d'inondation de la Geüne.

2.1. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU BASSIN VERSANT

2.1.1. Occupation du sol

Le bassin versant de la Geüne est très urbanisé à l'aval, sur la commune de Juillan. L'urbanisation est plus modeste en amont. Cependant, elle reste concentrée à proximité du cours d'eau. Le bassin versant de la Geüne est essentiellement occupé par des forêts, des terres agricoles et des prairies. La figure suivante présente l'occupation du sol à partir du découpage Corine Land Cover.

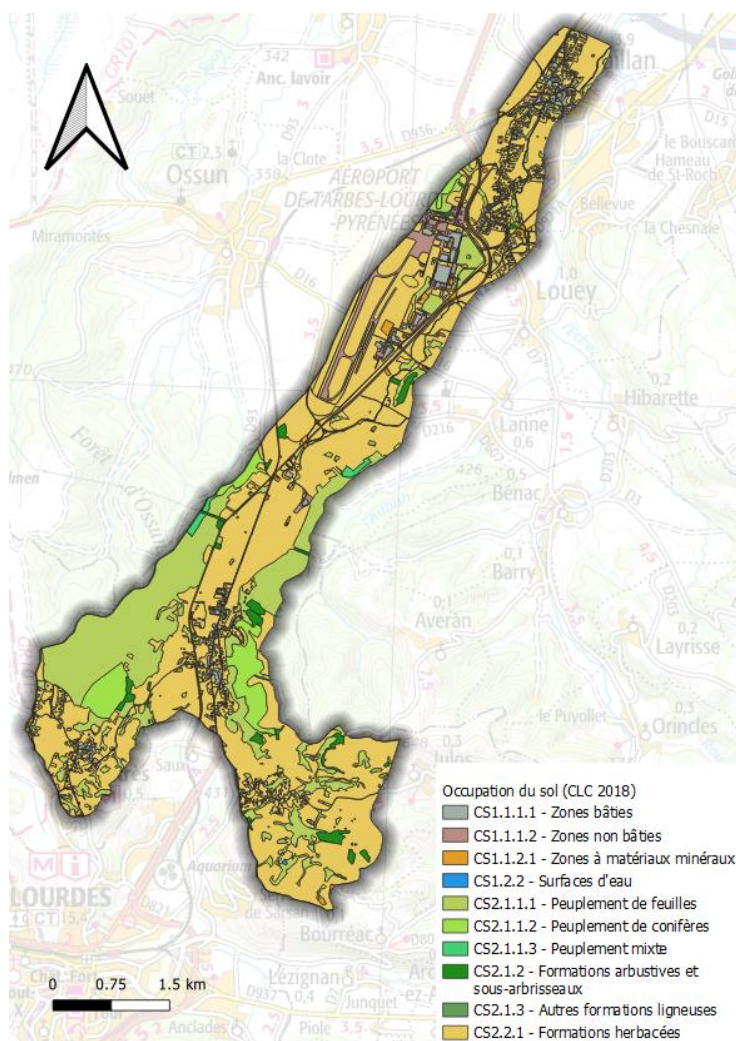


Figure 1 – Occupation du sol du bassin de la Geüne (Corine Land Cover 2018)

Le découpage du bassin par l'occupation du sol sera utilisé pour déterminer le coefficient de ruissellement. Les valeurs utilisées pour les différents types d'occupation sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1 – Coefficients de ruissellement retenus pour les différentes occupations du sol

Occupation du sol			Code CLC	Coefficient de ruissellement retenu
Surfaces anthropisées	Zones imperméables	Zones bâties	CS1.1.1.1	1
		Zones non bâties	CS1.1.1.2	0.8
Surfaces naturelles	Zones perméables	Zones à matériaux minéraux	CS1.1.2.1	0.6
		Zones à autres matériaux	CS1.1.2.2	0.5
	Sols nus		CS1.2.1	0.5
	Surfaces d'eau		CS1.2.2	1
	Névés et glaciers		CS1.2.3	
Végétation ligneuse	Formations arborées	Peuplement de feuilles	CS2.1.1.1	0.15
		Peuplement de conifères	CS2.1.1.2	0.15
		Peuplement mixte	CS2.1.1.3	0.15
	Formations arbustives et sous-arbrisseaux		CS2.1.2	0.2
	Autres formations ligneuses		CS2.1.3	0.3
Végétation non ligneuse	Formations herbacées		CS2.2.1	0.3
	Autres formations non ligneuses		CS2.2.2	0.3

2.1.2. Sous-bassins versants et valeurs caractéristiques

Nous nous intéressons ici aux valeurs géométriques du bassin versant en différents points de calculs pertinents pour la suite de l'étude. La cartographie en page suivante présente la localisation de ces différents sous-bassins tandis que les valeurs caractéristiques sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 2 - Caractéristiques du bassin versant de la Geüne à différents exutoires

Numéro	Nom BV	Superficie (km²)	Longueur hydraulique (km)	Pente moyenne (%)	Coeff ruissellement	Temps concentration (h)
BV1	Montané	3.4	3.6	3.9	0.23	1.1
BV2	Mate - Julos	1.5	1.5	5.5	0.28	0.6
BV3	Graves - Julos	0.9	1.4	10.6	0.26	0.4
BV4	Mate - Adé	3.7	3.4	6.1	0.28	0.9
BV5	Rieutord	1.7	4.4	4.0	0.28	0.9
BV6	Geüne - Lanne	14.8	10.4	2.7	0.29	2.4
BV7	Geüne – Louey	16.5	12.7	2.4	0.3	2.7
BV8	Geüne - Juillan	18.4	14.0	2.3	0.3	2.9
BV9	Geüne – Confluence Echez	19.5	15.6	2.1	0.3	3.2

Le temps de concentration d'un bassin versant représente la durée comprise entre la fin de la pluie nette (pluie qui ruisselle totalement) et la fin de l'écoulement de surface (ruissellement direct).

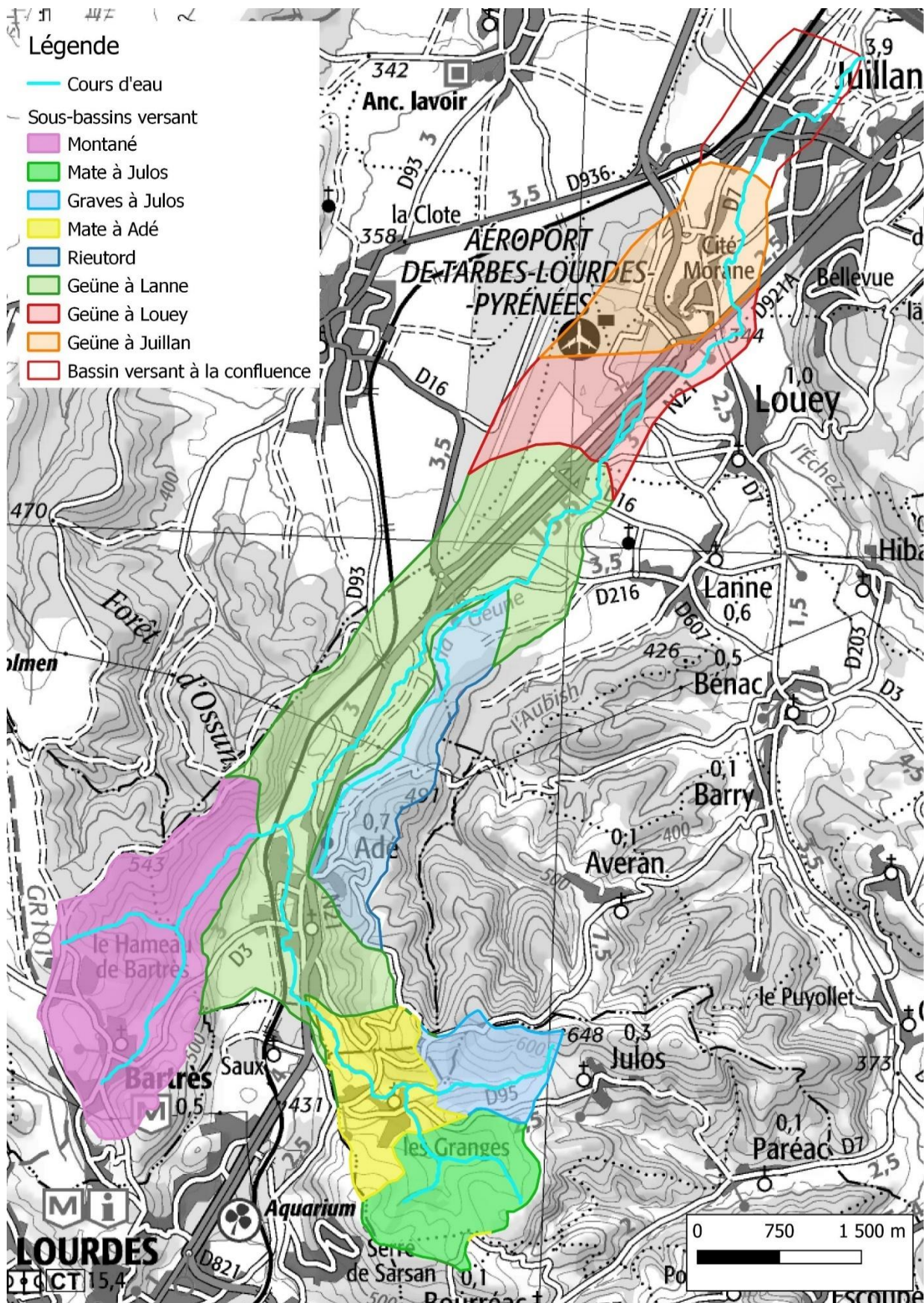


Figure 2 – Sous-bassins versants de la Geüne

2.2. STATIONS HYDROMETRIQUES

Le bassin versant de la Geüne n'est pas instrumenté et ses débits ne sont donc pas connus. Nous nous intéressons donc ici à la station de la Gespe à Tarbes, cours d'eau voisin également affluent de l'Echez ainsi qu'aux deux stations de l'Echez situées en amont (Louey) et en aval (Tarbes) de la confluence avec la Geüne.

2.2.1. Station de la Gespe à Tarbes

Le PPRi de des communes de l'agglomération Tarbaise est en cours de révision et la DDT des Hautes-Pyrénées nous a transmis l'analyse hydrologique réalisée par la CACG en janvier 2020 dans le cadre de cette révision. La station de la Gespe à Tarbes y a notamment été analysée.

La station hydrométrique de la Gespe à Tarbes est située sur la face aval du pont de la RD921 (Route de Lourdes) et intercepte un bassin versant naturel de 24,8 km². La station est contrôlée par un seuil visible sur la photographie ci-après. Bien qu'alimenté en amont par un bras de décharge de l'Adour, la station intercepte également un bassin versant naturel.



Figure 3 – Station hydrométrique de la Gespe à Tarbes. Photographies issues du rapport CACG, 2020

Une chronique des hauteurs maximales annuelles mesurées a été établie sur la période 1987 à 2018 (32 années). En l'absence des données de jaugeages de la DREAL, cette chronique de hauteurs a été transformée en débits par application d'une loi de seuil. Un ajustement à une loi de Gumbel a permis d'obtenir les débits statistiques présentés dans le tableau suivant, légèrement supérieurs à ceux issus de l'analyse CRUCAL de la banque hydro présentés pour comparaison.

Tableau 3 – Débits statistiques de la Gespe à la station hydrométrique de Tarbes

Période de retour	Débits de pointe issu de l'analyse CACG (m ³ /s)	Débits de pointe issu de l'analyse CRUCAL de la banque hydro (m ³ /s)
2 ans	5,9	5,03
5 ans	8,7	7,09
10 ans	10,6	8,46
20 ans	12,4	9,76
100 ans	16,5	-

A noter que la plus forte crue connue à la station, a été mesurée le 18 juin 1988. Son débit est estimé à 15,5 m³/s soit une période de retour estimée à 67 ans par la CACG.

Il est à noter que les données de la station sont considérées comme incertaines en hautes eaux sur l'Hydroportail et que la station est influencée fortement en toute saison (en lien avec l'alimentation par l'Adour mentionnée précédemment).

Les valeurs de références finalement retenues pour la station de la Gespe à Tarbes dans le cadre de l'étude du PPRI sont présentées dans le tableau suivant. A noter que les valeurs diffèrent légèrement de celles présentées au Tableau 3 mais restent très proches. Par soucis de cohérence entre les différentes études du secteur, nous conserverons ces valeurs pour la suite de l'étude.

Tableau 4 – Crues caractéristiques de la Gespe à Tarbes retenues dans le cadre du PPRI de l'agglomération Tarbaise

Période de retour	Débits de pointe (m³/s)
2 ans	6,0
5 ans	8,9
10 ans	10,8
20 ans	12,6
50 ans	15,0
100 ans	16,8

2.2.2. Station de l'Echez à Louey

La station de l'Echez à Louey (Q021401001) est une station d'hydrométrie générale, elle est située sur le pont de la route communale traversant le village et draine un bassin versant de 89,6 km². Elle a été mise en service en novembre 1968. Le zéro de l'échelle, mise à jour en 2018, est calé à la cote 331,61 m NGF.

L'analyse statistiques des crues issues de l'Hydroportail est réalisée via une loi de Gumbel basée sur un échantillon de 51 crues entre le 02/10/1973 et le 12/04/2023. Cet ajustement est réalisé de manière automatique et n'a pas fait l'objet d'un contrôle par un hydrologue, il faut donc le considérer avec précaution.

L'ajustement est présenté sur la figure ci-dessous.

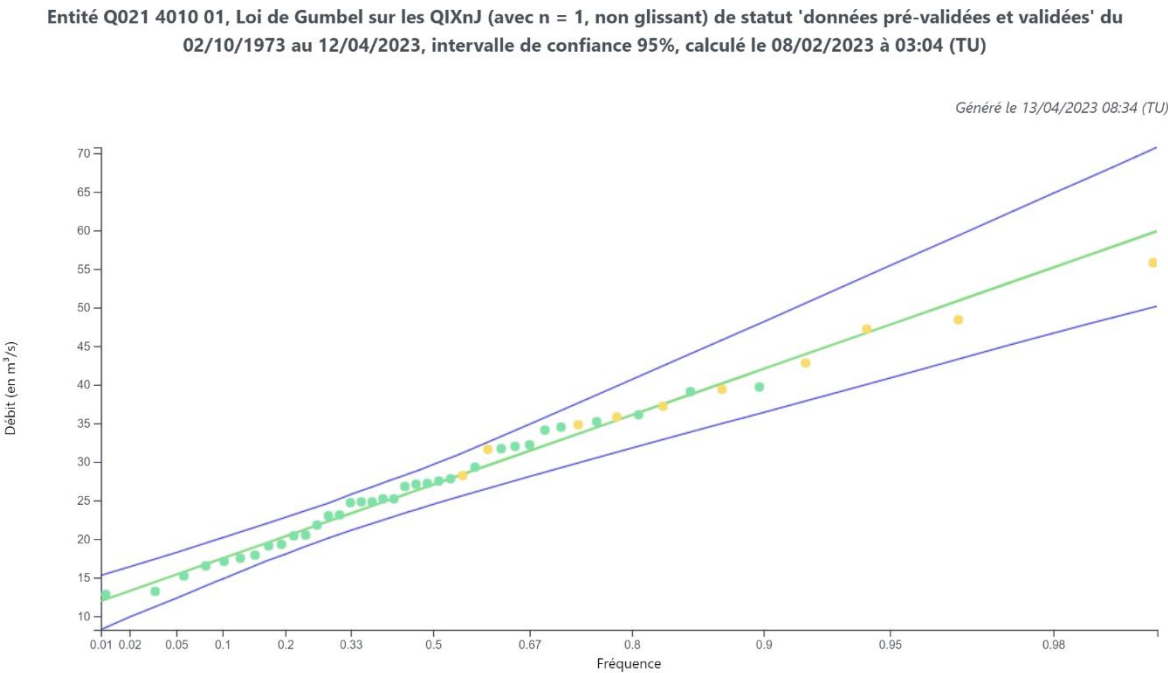


Figure 4 – Ajustement statistique des crues de l'Echez à Louey par une loi de Gumbel (source : hydroportail)

Cet ajustement amène aux valeurs de débits de crue statistiques présenté dans le tableau suivant.

Tableau 5 – Débits statistiques de l'Echez à la station hydrométrique de Louey

Période de retour	Débits de pointe issu de l'analyse statistique de l'hydroportail (m³/s)
2 ans	27
5 ans	36,1
10 ans	42
20 ans	47,8
50 ans	55,2
100 ans	-

Les plus fortes crues connues à la station sont les suivantes :

- 55,8 m³/s le **13/12/2019** : temps de retour estimé à 50 ans
- 48,4 m³/s le **10/12/2021** : temps de retour estimé à 20 ans
- 47,2 m³/s le **10/06/1978** : temps de retour estimé à 20 ans
- 42,8 m³/s le **25/01/2014** : temps de retour estimé à 10 ans

Il est à noter que les valeurs de ces quatre crues sont qualifiées comme douteuses sur le site de l'hydroportail.

Le débit de pointe de la crue de juin 2018 est estimé à 37,2 m³/s pour cette station soit un temps de retour de 5 ans environ.

2.2.3. Station de l'Echez à Tarbes

De même que pour la station de la Gespe à Tarbes, nous nous basons ici sur l'analyse réalisée par la CACG dans le cadre de la révision du PPRI de l'agglomération Tarbaise. Elle est présentée en italique ci-dessous.

La station de l'Echez à Tarbes est installée sur la face aval du pont de la RD817 (ancienne RN117), c'est une station d'annonce de crue (Q0225011) gérée aujourd'hui par la DREAL Aquitaine, Service de prévision des crues Gironde-Adour-Dordogne. Elle intercepte un bassin versant de 156 km². L'échelle est fixée à la culée de rive droite aval, la station automatique est dans l'abri sur la berge en rive gauche aval.



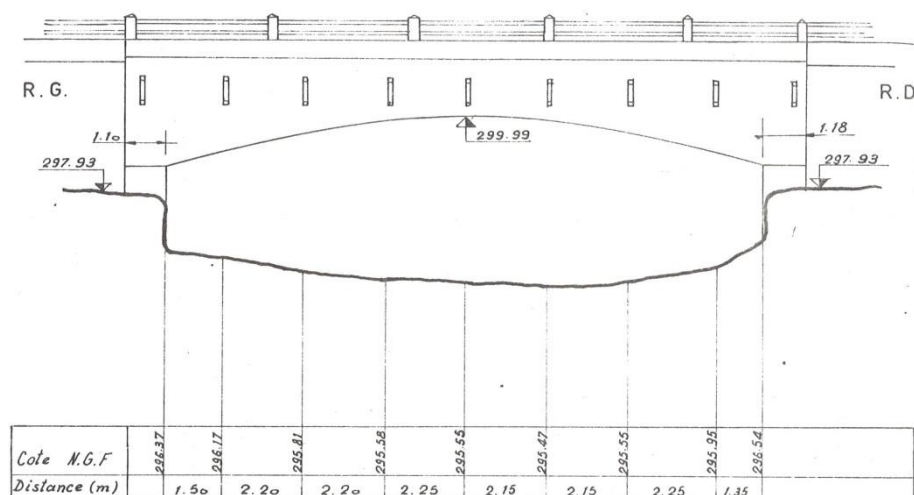


Figure 5 - Station de Prévission des Crues de l'Echez à Tarbes

Le zéro de l'échelle a varié de 296.73 m NGF fin du XIX^{ème} siècle, 296.64 m NGF dans les années 60, 296.48 m NGF en 1975, puis 296.60 m NGF en 2002. Le dernier relevé est 296.57 m NGF le 10 mars 2017 (CACG pour DREAL).

Nous disposons, grâce à un travail effectué à la DDTM64¹, et aux relevés automatiques du SPC de Bordeaux à partir de 1992, d'une chronique de hauteurs maximales annuelles mesurées à la station de 1879 à 2016 avec des trous correspondants à des non-dépassements de la cote de pré-alerte (1.10 m). Quelques années manquantes (1881 et 1952) ont fait l'objet de recalage ou de reconstitution. D'autres périodes (1941-1950 par exemple) restent introuvables. Une analyse des divers déplacements d'échelle permettrait de traiter la chronique en niveaux d'eau et non en hauteurs. Mais les informations sont incomplètes et ne le permettent pas. Nous nous contenterons de l'analyse des hauteurs.

Tableau 6 - Chronique de hauteurs mesurées à la Station de Prévission des Crues de l'Echez à Tarbes

Année	Jour	Hauteur cm	Année	Jour	Hauteur cm	Année	Jour	Hauteur cm
1879	17/02	1.35	1921	06-juin	1.20	1985	01-mai	0.97
1880	07/04	1.25	1922	28-mars	1.20	1986	01-janv	0.55
1882	28/10	1.25	1927	08-mars	1.15	1987	01-avr	0.61
1884	14/06	1.30	1928	26-nov	1.20	1988	19-juin	1.10
1885	11/06	1.45	1929	10-nov	1.15	1989	01-avr	0.79
1886	05/03	1.33	1930	12-mars	1.38	1990	01-févr	0.95
1887	06/01	1.11	1931	29-nov	1.25	1991	01-mai	0.95
1888	28/05	1.30	1932	13-juil	1.25	1992	01-juil	1.00
1889	12/06	1.28	1935	01-mars	1.22	1993	26-déc	1.23
1890	12/05	1.30	1936	31-janv	1.25	1994	10-avr	0.90
1891	22/01	1.25	1937	05-déc	1.40	1995	05-mars	1.21
1892	06/12	1.20	1938	15-sept	1.70	1996	26-nov	0.90
1893	19/11	1.40	1939	06-janv	1.20	1997	15-févr	0.58
1894	17/03	1.30	1940	07-déc	1.30	1998	06-oct	0.57
1895	03/01	1.40	1951	26-janv	1.20	1999	19-mai	0.69
1896	06/08	1.47	1952	02-févr	1.53	2000	11-juin	1.20
1897	03/07	1.24	1954	14-déc	1.20	2001	08-avr	0.67
1898	08/06	1.20	1955	22-janv	1.28	2002	02-déc	0.78

¹ Recalage des seuils d'alerte de l'annonce de crue de l'Echez à Tarbes, Subdivision hydraulique de Pau (DDE 64), Service d'annonce de crue, Aout 2002

1899	09/01	1.20	1960	17-mars	1.30	2003	04-févr	0.94
1900	28-janv	1.15	1962	01-juin	1.12	2004	24-janv	0.61
1901	27-avr	1.20	1965	12-déc	1.22	2005	20-janv	0.41
1903	08-déc	1.15	1966	03-déc	1.14	2006	11-mars	0.94
1904	19-janv	1.38	1968	29-mai	1.10	2007	04-juin	0.62
1905	06-mai	1.25	1969	20-déc	1.30	2008	12-juin	0.83
1906	16-déc	1.25	1971	20-févr	1.40	2009	11-févr	1.09
1907	15-déc	1.22	1972	01-déc	1.25	2010	27-déc	0.88
1908	20-juil	1.25	1974	01-févr	1.16	2011	17-mars	0.82
1909	10-juin	1.40	1975	11-mai	1.20	2012	05-déc	0.62
1910	22-janv	1.70	1976	01-févr	0.65	2013	31-mai	0.97
1911	10-juin	1.20	1977	30-juil	1.20	2014	25-janv	1.41
1913	24-avr	1.30	1978	11-juin	1.60	2015	26-févr	1.08
1914	29-mai	1.20	1979	11-janv	1.14	2016	13-févr	0.90
1915	16-nov	1.53	1980	20-déc	1.12	2017	06-févr	0.69
1917	15-mars	1.20	1981	12-déc	1.10	2018	13-juin	1.24
1918	14-avr	1.28	1982	01-déc	0.80	2019	13-déc	1.67
1919	06-févr	1.24	1984	01-juin	0.85			

Nous pouvons reconstituer les valeurs manquantes de manière aléatoire entre 0 et 1.10 m (seuil de pré-alerte). Soit le tableau suivant où les valeurs générées aléatoirement ne présentent pas de valeur à la colonne jour :

Tableau 7 - Chronique de hauteurs mesurées et générées aléatoirement à la SPC de l'Echez à Tarbes

Année	Jour	Hauteur cm	Année	Jour	Hauteur cm	Année	Jour	Hauteur cm
1879	17/02	1.25	1926		0.69	1973		0.75
1880	07/04	1.11	1927	08-mars	1.15	1974	01-févr	1.16
1881		0.52	1928	26-nov	1.20	1975	11-mai	1.20
1882	28/10	1.17	1929	10-nov	1.15	1976	01-févr	0.65
1883		0.65	1930	12-mars	1.38	1977	30-juil	1.20
1884	14/06	1.10	1931	29-nov	1.25	1978	11-juin	1.60
1885	11/06	1.35	1932	13-juil	1.25	1979	11-janv	1.14
1886	05/03	1.30	1933		0.71	1980	20-déc	1.12
1887	06/01	1.35	1934		0.38	1981	12-déc	1.10
1888	28/05	1.16	1935	01-mars	1.22	1982	01-déc	0.80
1889	12/06	1.80	1936	31-janv	1.25	1983		0.93
1890	12/05	1.29	1937	05-déc	1.40	1984	01-juin	0.85
1891	22/01	1.30	1938	15-sept	1.70	1985	01-mai	0.97
1892	06/12	1.30	1939	06-janv	1.20	1986	01-janv	0.55
1893	19/11	1.15	1940	07-déc	1.30	1987	01-avr	0.61
1894	17/03	1.43	1941		0.02	1988	19-juin	1.10
1895	03/01	1.35	1942		0.24	1989	01-avr	0.79
1896	06/08	1.35	1943		0.19	1990	01-févr	0.95
1897	03/07	1.28	1944		0.38	1991	01-mai	0.95
1898	08/06	1.25	1945		0.63	1992	01-juil	1.00
1899	09/01	1.35	1946		0.67	1993	26-déc	1.23
1900	28-janv	1.35	1947		0.30	1994	10-avr	0.90
1901	27-avr	1.25	1948		1.03	1995	05-mars	1.21
1902		0.77	1949		0.22	1996	26-nov	0.90
1903	08-déc	1.25	1950		1.05	1997	15-févr	0.58
1904	19-janv	1.30	1951	26-janv	1.20	1998	06-oct	0.57
1905	06-mai	1.45	1952	02-févr	1.53	1999	19-mai	0.69
1906	16-déc	1.33	1953		0.94	2000	11-juin	1.20
1907	15-déc	1.11	1954	14-déc	1.20	2001	08-avr	0.67
1908	20-juil	1.30	1955	22-janv	1.28	2002	02-déc	0.78
1909	10-juin	1.28	1956		0.76	2003	04-févr	0.94
1910	22-janv	1.30	1957		0.82	2004	24-janv	0.61
1911	10-juin	1.25	1958		0.69	2005	20-janv	0.41
1912		0.44	1959		1.07	2006	11-mars	0.94
1913	24-avr	1.20	1960	17-mars	1.30	2007	04-juin	0.62

1914	29-mai	1.40	1961		0.99	2008	12-juin	0.83
1915	16-nov	1.30	1962	01-juin	1.12	2009	11-févr	1.09
1916		0.86	1963		0.41	2010	27-déc	0.88
1917	15-mars	1.40	1964		1.05	2011	17-mars	0.82
1918	14-avr	1.47	1965	12-déc	1.22	2012	05-déc	0.62
1919	06-févr	1.24	1966		1.14	2013	31-mai	0.97
1920		0.70	1967	19-mai	0.56	2014	25-janv	1.41
1921	06-juin	1.20	1968	29-mai	1.10	2015	26-févr	1.08
1922	28-mars	1.20	1969	20-déc	1.30	2016	13-févr	0.90
1923		0.27	1970		0.07	2017	06-févr	0.69
1924		0.17	1971	20-févr	1.40	2018	13-juin	1.24
1925		0.84	1972	01-déc	1.25	2019	13-déc	1.67

Grace à 7 jaugeages réalisés par la DREAL dont le dernier datant du 24 janvier 2014 après la dernière grande crue, nous pouvons tracer en fonction de la hauteur à l'échelle :

- l'évolution de la section noyée
- l'évolution de la vitesse moyenne
- le barème issu du produit Section x Vitesse

Nous comparons ce dernier à celui en vigueur à la DREAL à ce jour (récemment reçu). Nous préférons conserver celui calculé par nos soins.

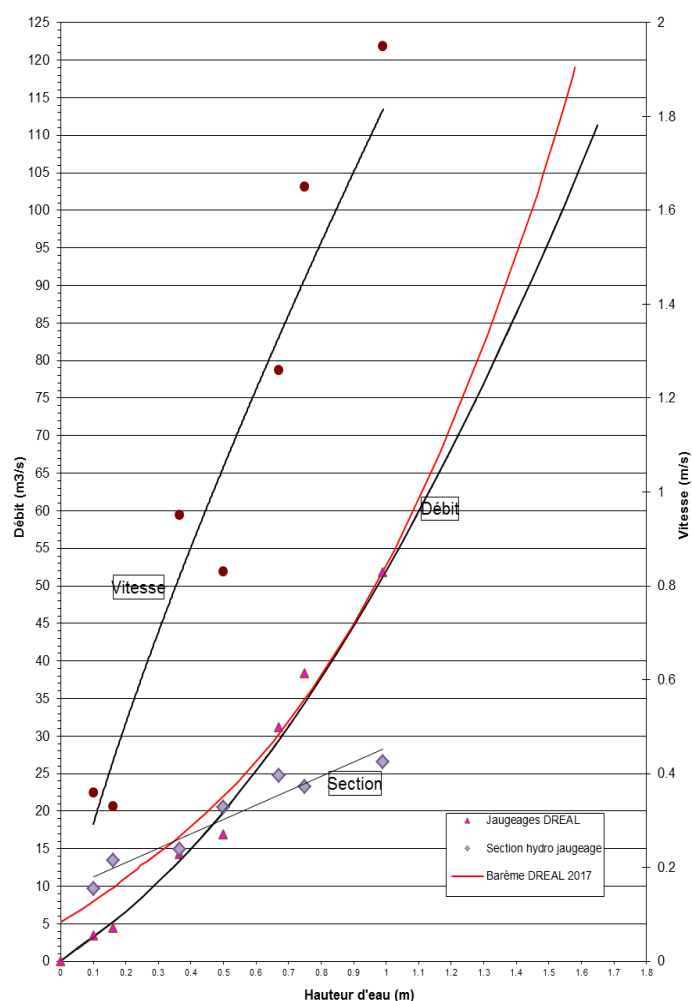


Figure 6 - Barème de la Station de Prévion des Crues de l'Echez à Tarbes

L'application du barème calculé ci-dessus à la chronique des hauteurs (mesurées et générées aléatoirement) conduit au tableau suivant :

Tableau 8 - Chronique des débits de crues maximales annuelles à la S.P.C. de l'Echez à Tarbes

Année	Jour	Débit m ³ /s	Année	Jour	Débit m ³ /s	Année	Jour	Débit m ³ /s
1879	17/02	72	1926		31	1973		34
1880	07/04	61	1927	08-mars	64	1974	01-févr	65
1881		21	1928	26-nov	68	1975	11-mai	68
1882	28/10	66	1929	10-nov	64	1976	01-févr	28
1883		28	1930	12-mars	84	1977	30-juil	68
1884	14/06	60	1931	29-nov	72	1978	11-juin	106
1885	11/06	81	1932	13-juil	72	1979	11-janv	63
1886	05/03	77	1933		32	1980	20-déc	61
1887	06/01	81	1934		14	1981	12-déc	60
1888	28/05	65	1935	01-mars	70	1982	01-déc	38
1889	12/06	128	1936	31-janv	72	1983		47
1890	12/05	76	1937	05-déc	86	1984	01-juin	41
1891	22/01	77	1938	15-sept	117	1985	01-mai	50
1892	06/12	77	1939	06-janv	68	1986	01-janv	23
1893	19/11	64	1940	07-déc	77	1987	01-avr	26
1894	17/03	89	1941		1	1988	19-juin	60
1895	03/01	81	1942		8	1989	01-avr	37
1896	06/08	81	1943		6	1990	01-févr	48
1897	03/07	75	1944		14	1991	01-mai	48
1898	08/06	72	1945		27	1992	01-juil	52
1899	09/01	81	1946		30	1993	26-déc	71
1900	28-janv	81	1947		10	1994	10-avr	45
1901	27-avr	72	1948		54	1995	05-mars	69
1902		36	1949		7	1996	26-nov	45
1903	08-déc	72	1950		55	1997	15-févr	24
1904	19-janv	77	1951	26-janv	68	1998	06-oct	24
1905	06-mai	91	1952	02-févr	99	1999	19-mai	31
1906	16-déc	80	1953		48	2000	11-juin	68
1907	15-déc	61	1954	14-déc	68	2001	08-avr	30
1908	20-juil	77	1955	22-janv	75	2002	02-déc	36
1909	10-juin	75	1956		35	2003	04-févr	48
1910	22-janv	77	1957		39	2004	24-janv	26
1911	10-juin	72	1958		31	2005	20-janv	16
1912		17	1959		58	2006	11-mars	48
1913	24-avr	68	1960	17-mars	77	2007	04-juin	26
1914	29-mai	86	1961		51	2008	12-juin	40
1915	16-nov	77	1962	01-juin	61	2009	11-févr	59
1916		42	1963		16	2010	27-déc	43
1917	15-mars	86	1964		56	2011	17-mars	39
1918	14-avr	93	1965	12-déc	70	2012	05-déc	26
1919	06-févr	72	1966		63	2013	31-mai	50
1920		31	1967	19-mai	23	2014	25-janv	87
1921	06-juin	68	1968	29-mai	60	2015	26-févr	58
1922	28-mars	68	1969	20-déc	77	2016	13-févr	45
1923		9	1970		2	2017	06-févr	31
1924		5	1971	20-févr	86	2018	13-juin	72
1925		40	1972	01-déc	72	2019	13-déc	114

L'ajustement à une loi de Gumbel de la chronique établie ci-dessus conduit aux résultats ci-dessous.

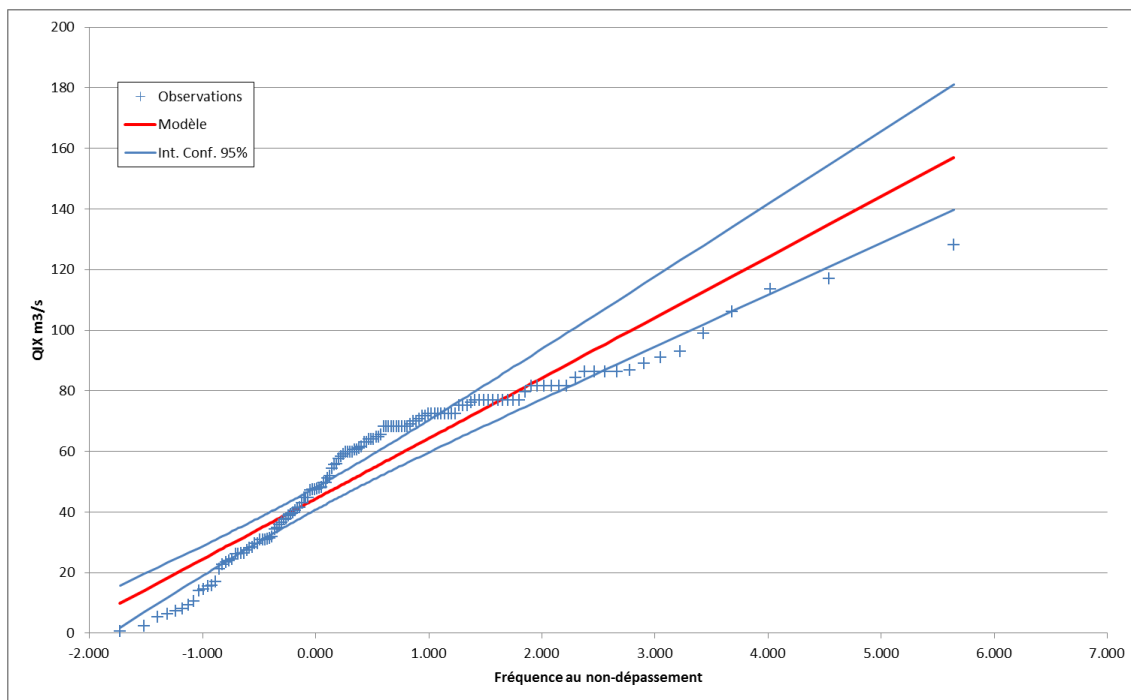


Figure 7 - Graphe d'ajustement à une loi de Gumbel des crues maximales annuelles à la S.P.C. de l'Echez à Tarbes

Cet ajustement n'est pas parfait, on peut tenter un autre ajustement à une loi normale :

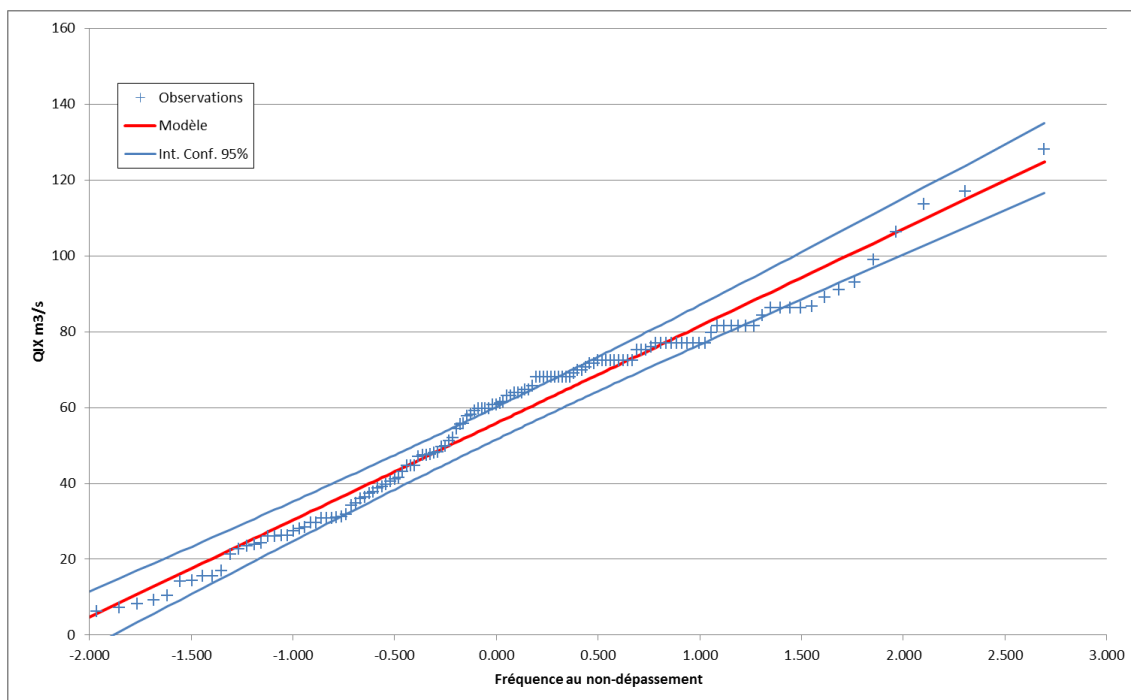


Figure 8 - Graphe d'ajustement à une loi normale des crues maximales annuelles à la S.P.C. de l'Echez à Tarbes

L'ajustement à une loi de Gumbel (pourtant étant celui préconisé pour les crues) ne donne pas entière satisfaction. La loi normale suit la plupart des valeurs. Afin de tenir compte toutefois de l'ajustement à une loi de Gumbel, on propose donc une répartition des crues sur les périodes de retour qui correspond à la moyenne des 2 ajustements, sachant que l'écart n'est pas très important sur les fortes périodes de retour) :

Tableau 9 - Ajustement des crues maximales annuelles à la S.P.C. de l'Echez à Tarbes

Période de retour	Débit maximal annuel
2 ans	54 m ³ /s [50 ; 58]
5 ans	76 m ³ /s [70 ; 83]
10 ans	89 m ³ /s [82 ; 99]
20 ans	101 m ³ /s [92 ; 113]
30 ans	107 m ³ /s [98 ; 121]
50 ans	115 m ³ /s [105 ; 130]
100 ans	126 m ³ /s [114 ; 143]
200 ans	136 m ³ /s [122 ; 155]

Les valeurs entre [] correspondent à l'intervalle de confiance à 95%.

L'analyse hydrologique statistique des crues de l'Echez à la station de prévision des crues permet de conclure sur le classement suivant :

Sur la station d'annonce de crue de Tarbes

- Crue du 12 juin 1889 : 128 m³/s (période de retour de 100 ans)
- Crue du 15 septembre 1938 : 117 m³/s (période de retour de 50 ans)
- Crue du 11 juin 1978 : 106 m³/s (période de retour de 30 ans)
- Crue du 2 février 1952 : 99 m³/s (période de retour de 20 ans)
- Crue du 25 janvier 2014 : 87 m³/s (période de retour de 10 ans)
- Crue du 13 décembre 2019 : 114 m³/s (période de retour de 50 ans)

La crue la plus récente, celle de décembre 2019, serait quasi cinquantennale. L'avant-dernière crue importante, celle de janvier 2014, serait un peu moins que décennale et celle de 1952, qui a laissé des traces sur le parcours en aval de Tarbes serait un peu moins que vingtennale. La crue la plus importante de la chronique (ne connaissant pas celle de 1875), le 12 juin 1889, aurait une période de retour de 100 ans.

Les valeurs de références finalement retenues pour la station de l'Echez à Tarbes dans le cadre de l'étude du PPRI sont présentées dans le tableau suivant. A noter que les valeurs diffèrent légèrement de celles présentées au Tableau 9 mais restent comprises dans l'intervalle de confiance à 95%. Par soucis de cohérence entre les différentes études du secteur, nous conserverons ces valeurs pour la suite de l'étude.

Tableau 10 – Crues caractéristiques de l'Echez à Tarbes retenues dans le cadre du PPRI de l'agglomération Tarbaise

Période de retour	Débits de pointe (m ³ /s)
2 ans	51
5 ans	74
10 ans	88
20 ans	102
50 ans	121
100 ans	134

Les temps de retour des crues sont en cohérences avec ceux estimés à la station de Louey pour les crues communes (1978, 2014, 2018 et 2019).

A noter que la valeur estimée pour la crue de décembre 2019 (114 m³/s) est située dans l'intervalle de confiance à 95% des temps de retour 30 et 50 ans. Le temps de retour présenté comme quasi cinquantennal dans l'analyse de la station serait plutôt trentennal au regard des valeurs de références finalement retenues.

En revanche, le débit de pointe de la crue de décembre 2021 est estimé à $81 \text{ m}^3/\text{s}$ à la station de Tarbes en appliquant le barème CACG soit un temps de retour estimé entre 5 et 10 ans alors que le temps de retour est estimé à 20 ans à la station de Louey.

2.3. PLUVIOMETRIE

2.3.1. Pluviométries générales

Les données recueillies sur la station de Tarbes-Ossun (maxima mensuel des pluies journalières) donnent des résultats exploitables sur 76 années d'observation (1946 à 2021).

Les pluies journalières maximales annuelles les plus fortes enregistrées sur cette station pendant la période de mesures sont les suivantes :

- 12/06/2018 avec 84 mm de pluie,
- 02/09/2011 avec 83 mm de pluie
- 10/06/1978 avec 80 mm de pluie.

L'analyse et l'ajustement des pluies maximales journalières, présentée en page suivante, permet d'évaluer avec précision les hauteurs de pluie journalière jusqu'à la fréquence vingtennale sur cette station.

Cependant, pour des fréquences plus rares, l'analyse est plus difficile compte tenu de la période d'enregistrement relativement courte (normalement, un traitement statistique fiable nécessite une période d'observation égale à environ 3 fois la période de retour).

Nous pouvons ainsi estimer que :

- la pluie journalière de fréquence décennale est de 66,6 mm,
- La pluie journalière de fréquence vingtennale est d'environ 73,7 mm,
- la pluie journalière de fréquence centennale est évaluée entre 83 mm et 95 mm (moyenne à 89,5 mm) par l'intervalle de confiance à 70%.

Avec cet ajustement, les pluies 24h non centrées (obtenues par application du coefficient de Weiss) sont les suivantes :

- P24h 10 ans : 75,9 mm
- P24h 20 ans : 83,9 mm
- P24h 100 ans : 102,1 mm

Cet ajustement nous permet également de déterminer le Gradex des pluies 24h, correspondant à la droite d'ajustement sur un graphique de Gumbel, celui-ci est de 11,1 mm/24h.

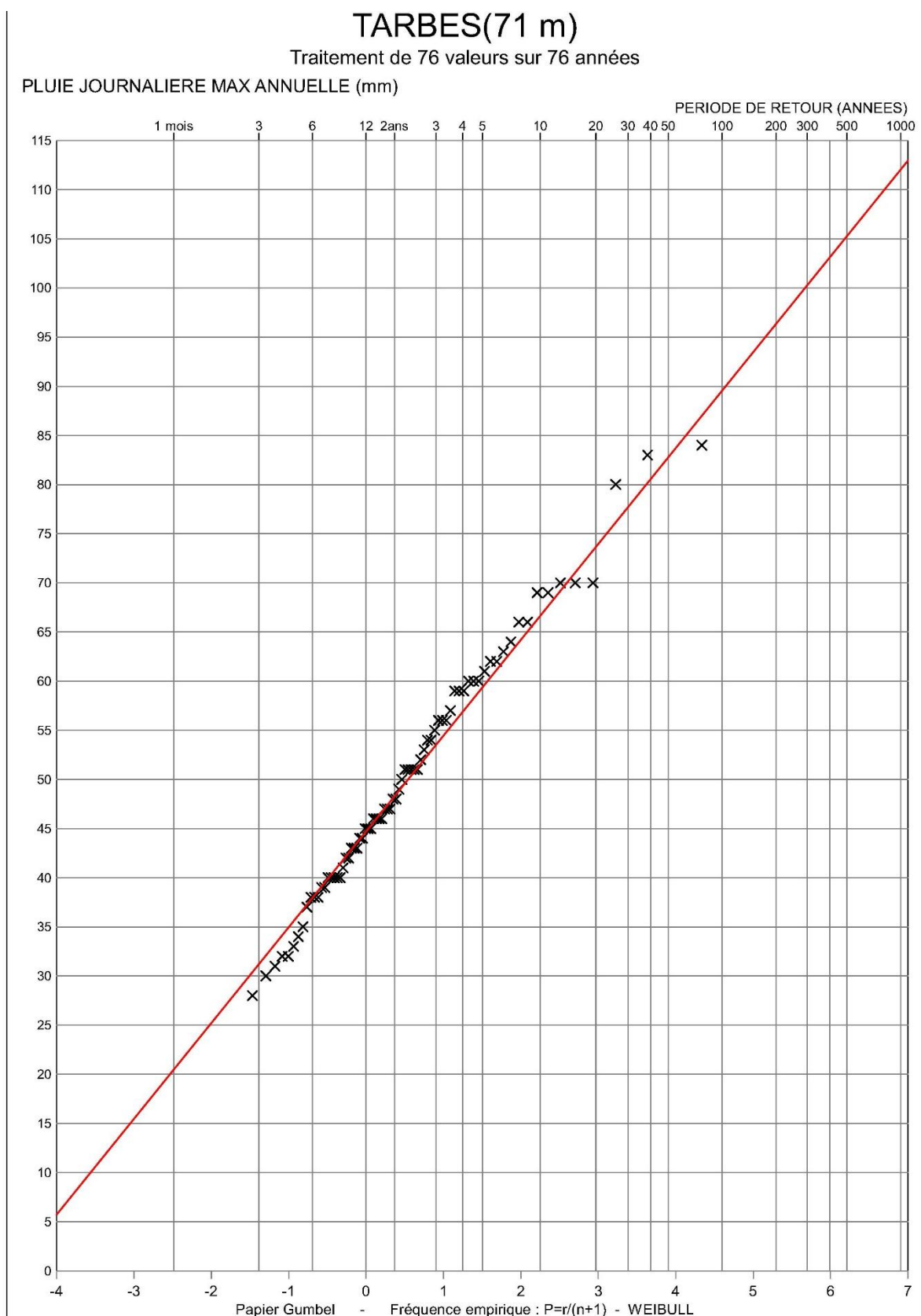


Figure 9 - Analyse des pluies à Tarbes - Ossun sur un graphe de Gumbel (1946-2021)

Les coefficients de Montana les plus récents à la station de Tarbes-Ossun sont disponibles pour la période 1982-2016, les résultats (pour la formule $h(t) = a \times t^{(1-b)}$ avec h en mm et t en minutes) sont les suivants :

Tableau 11 – Coefficients de Montana pour la station de Tarbes Ossun (1982-2016)

Coefficients de Montana						
	Durée de 6 min à 1h		Durée de 1h à 6h		Durée de 6h à 24h	
Période de retour	a	b	a	B	a	b
T = 10 ans	5.825	0.519	22.896	0.872	7.930	0.695
T = 50 ans	7.563	0.484	35.308	0.881	19.630	0.785
T = 100 ans	8.200	0.466	39.750	0.875	30.046	0.831

Sur la base des données issues des coefficients de Montana, les pluies 24h non centrées sont les suivantes :

- P24h 10 ans : 72,9 mm
- P24h 20 ans : 82,1 mm
- P24h 100 ans : 102,7 mm

Ces données nous permettent également de déterminer le Gradex des pluies 24h, correspondant à la droite d'ajustement sur un graphique de Gumbel, celui-ci est de 12,7 mm/24h.

Les valeurs obtenues sont proches mais dans un souci de sécurité, nous retiendrons celles issues des coefficients de Montana donnant une valeur de Gradex plus forte de 12,7 mm/24h.

2.3.2. Analyse de la pluviométrie des épisodes de crue récents

Nous avons également acheté la pluviométrie au pas de temps horaire à la station de Tarbes-Ossun pour les principaux épisodes de crue de la Geüne des dernières années :

- 23 au 26 janvier 2014,
- 2 au 3 juin 2018,
- 12 au 14 décembre 2019,
- 8 au 12 décembre 2021.

Le tableau suivant présente les cumuls de pluie observés sur différents pas de temps intéressants au regard des temps de concentration des différents sous bassins versants étudiés (1h, 3h, 6h et 24h), nous les comparons ensuite aux hauteurs de pluie statistiques calculées à partir de la loi de Montana présentées au paragraphe précédent pour estimer leur temps de retour.

Tableau 12 – Hauteurs de pluie mesurées à la station de Tarbes-Ossun sur différents pas de temps lors des crues récentes de la Geüne

Episode de crue	Pluie 1h		Pluie 3h		Pluie 6h		Pluie 24h	
	H (mm)	Temps de retour	H (mm)	Temps de retour	H (mm)	Temps de retour	H (mm)	Temps de retour
Janvier 2014	6,3	< 5 ans	15,1	< 5 ans	29,7	< 5 ans	73,0	10 ans
Juin 2018	14,8	< 5 ans	20,1	< 5 ans	20,7	< 5 ans	20,9	< 5 ans
Décembre 2019	7,6	< 5 ans	17,2	< 5 ans	29,7	< 5 ans	88,8	30-50 ans
Décembre 2021	10,4	< 5 ans	14,7	< 5 ans	26	< 5 ans	55,1	< 5 ans

Seules deux pluies présentent un temps de retour significatif sur l'ensemble des épisodes étudiés et ces deux pluies sont observées sur une durée de 24h ne correspondant pas à priori au temps de réaction attendu pour le bassin de la Geüne. Les pluies étudiées ici ne sont cependant pas forcément représentatives de l'ensemble du bassin versant de la Geüne et cela est notamment vrai pour les pluies de durée plus courtes qui peuvent présenter d'importantes disparités spatiales.

Il est cependant à noter que les pluies de Janvier 2014 et décembre 2019 présentent des temps de retour équivalents à ceux observés aux stations de Louey et Tarbes sur l'Echez. En revanche, la crue de 2021 présentant un temps de retour de 5 à 10 ans à Tarbes et 20 ans à Louey n'apparaît pas remarquable en termes de pluviométrie à la station de Tarbes-Ossun.

Pour la suite, nous ferons l'hypothèse d'un temps de retour de 50 ans pour la crue de 2019 et de 10 ans pour la crue de 2014 sur la Geüne. Nous utiliserons ensuite les résultats du modèle hydraulique pour estimer le temps de retour des autres crues observées.

2.4. DETERMINATION DES DEBITS DE CRUE

2.4.1. Détermination du débit de pointe décennal

Dans un premier temps, nous estimons le débit de pointe décennal suivant plusieurs méthodes classiques de l'hydrologie car il servira de base à la détermination des débits de crue plus rare. Le principe de ces différentes méthodes est rappelé ci-dessous.

■ Méthode CRUPEDIX:

La formule Crupédix a été obtenue par approche statistique multivariable testée dans un premier temps sur 187 bassins versants puis étendue à plus de 400 autres. Elle est valable pour des bassins versants de superficie comprises entre 10 et 100 km² **ce qui est le cas ici pour les BV6 à 9.** Elle s'écrit de la façon suivante :

$$Q_{10} = S^{0.8} \cdot (P_{10}/80)^2 \cdot R$$

avec :

- S = surface du bassin versant en km² ;
- P₁₀ = pluie journalière décennale en mm ;
- R = coefficient régional (1.75 ici).

■ Méthode rationnelle:

Elle est valable pour des bassins versants de superficie inférieure à 1 km² **et s'applique donc ici uniquement pour le BV3.** Elle s'écrit de la façon suivante :

$$Q_{10} = Cr \cdot i(tc) \cdot A / 3.6$$

avec :

- A = surface du bassin versant en ha ;
- I(tc) = l'intensité moyenne de la pluie décennale pendant le temps de concentration ;
- Cr = le coefficient de ruissellement.

■ Méthode de transition :

La formule de transition est une méthode liée aux méthodes rationnelle et CRUPEDIX, destinée aux bassins dont la surface est comprise entre 1 et 10 km² et **concerne donc ici les BV1, 2, 4 et 5.**

$$Q_{10} = M \cdot Q_{R10} + N \cdot Q_{C10}$$

Avec, Q_{R10} le débit estimé par la méthode rationnelle, Q_{C10} le débit estimé par la méthode CRUPEDIX, M et N des coefficients de pondération tels que $M = \frac{10-S}{N}$ et $N = 1 - M$ (S étant la superficie du bassin).

■ Méthode SOCOSE:

La méthode Socose a été ajustée sur 5 000 crues survenues dans 187 bassins-versants de 2 à 200 km². Cette méthode permet de prendre en compte la part des précipitations qui s'infiltre ou qui est interceptée par la végétation.

Les paramètres pour utiliser cette méthode sont les suivants :

- S = surface du bassin versant en km² ;
- P10 = pluie journalière décennale en m ;
- Pa = pluie moyenne annuelle sur le bassin versant : 1 081 mm ;
- Ta = température moyenne annuelle : 14 °C.

■ Méthode SHYREG:

La méthode SHYREG est une méthode d'estimation de l'aléa hydrologique développée par l'INRAE, elle est basée sur la régionalisation (prise en compte homogénéisée des caractéristiques locales) de paramètres de modèles (générateur de pluie et modélisation hydrologique). Cette régionalisation implique la prise en compte de variables locales pouvant influencer le régime hydrologique naturel de surface et consécutif à une précipitation.

Les données SHYREG incluent notamment l'estimation des quantiles de débits de pointe pour différentes périodes de retour comprises entre 2 et 1 000 ans ainsi que les bornes de l'intervalle de confiance à 80%. Les données SHYREG ont été précalculées sur plus de 130 000 exutoires contrôlant une surface de bassin versant comprise entre 5 et 5000 km². Cinq points de calcul sont disponibles sur la Geüne et sont présentés sur la cartographie en page suivante. Nous utiliserons le point le plus proche pour chacun des sous-bassins versants étudiés.

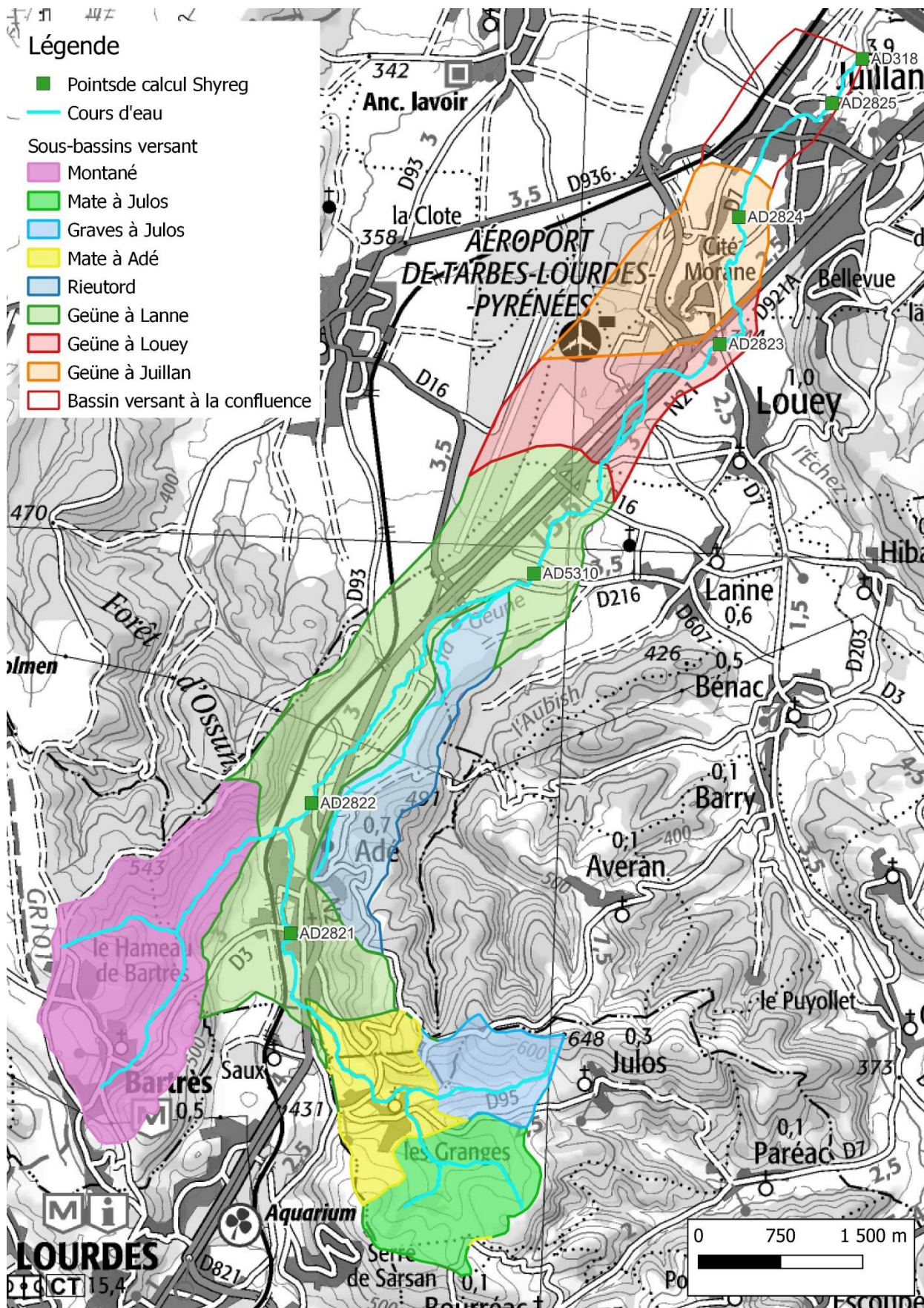


Figure 10 – Emplacements des points de calcul par la méthode SHYREG de l'INRAE

■ Méthode régionale:

La méthode régionale consiste à calculer le débit décennal à partir de celui des cours d'eau proches du bassin versant considéré et jaugé à l'aide de la formule de Myer :

$$Q_{10 \text{ Geüne}} = \left(\frac{S_{\text{Geüne}}}{S_{\text{Station}}} \right)^{0.7} \cdot Q_{10 \text{ Station}}$$

Une estimation du débit par analogie des surfaces a été réalisée à partir des stations de la Gespe à Tarbes et l'Echez à Louey, proches de la zone d'étude et présentant des caractères similaires.

■ Bilan des méthodes :

Le tableau suivant donne les résultats des débits décennaux obtenus pour chacune des méthodes présentées précédemment et pour chacun des bassins versants :

Tableau 13 – Débits de pointe décennaux estimés par différentes méthodes et valeurs retenues

Numéro	Nom BV	Superficie (km ²)	Crupedix/ Rationnelle/tr ansition (m ³ /s)	SOCOSE (m ³ /s)	SHYREG (m ³ /s)	Myer Gespe (m ³ /s)	Myer Echez (m ³ /s)	Valeur retenue (m ³ /s)
BV1	Montané - Adé	3.4	6.6	3.8	3.6	2.4	3.6	4.0
BV2	Mate - Julos	1.5	5.9	1.0	2.0	1.3	2.0	2.0
BV3	Graves - Julos	0.9	4.3	0.7	1.3	0.9	1.3	1.5
BV4	Mate - Adé	3.7	9.9	2.1	3.8	2.6	3.8	4.0
BV5	Rieutord	1.7	5.5	1.6	2.4	1.4	2.1	2.5
BV6	Geüne - Lanne	14.8	10.5	5.1	12.4	7.3	10.9	11.0
BV7	Geüne - Louey	16.5	11.4	6.0	13.1	8.0	11.8	12.0
BV8	Geüne - Juillan	18.4	12.5	6.9	14.0	8.6	12.8	13.0
BV9	Geüne - Confluence Echez	19.5	13.1	7.5	14.9	9.0	13.4	13.5

Pour les petits bassins versants, la méthode rationnelle ou de transition donnent des valeurs particulièrement fortes en comparaison avec les autres méthodes. La méthode de Myer appliquée à la station de la Gespe donne au contraire des valeurs plus faibles que les autres méthodes, peut-être en raison de son caractère influencé et l'incertitude sur les valeurs en hautes eaux.

Nous décidons donc de retenir une valeur arrondie de la formule de Myer appliquée à la station de l'Echez à Louey. Bien que drainant un bassin versant plus important, c'est la plus proche du secteur d'étude et elle présente une longueur de chronique intéressante et des valeurs jugées bonnes en hautes eaux.

Les valeurs retenues pourront être revues lors de la phase 2 en fonction du calage du modèle hydraulique.

2.4.1.1. Détermination des faibles débits de crue

La détermination des débits de crues de faibles temps de retour est rendue difficile par l'absence de mesures hydrométriques sur le bassin versant ou sur des bassins versants proches possédant des caractéristiques similaires.

C'est pourquoi nous appliquerons un simple ratio au débit de pointe de la crue décennale pour estimer les débits de pointes des crues annuelle, biennale et quinquennale. Les coefficients choisis sont issus des observations réalisées sur des bassins versants de taille similaire et en cohérence avec la littérature.

Les débits de pointe sont les suivantes :

- $Q_1 = 0,2 \times Q_{10}$
- $Q_2 = 0,6 \times Q_{10}$
- $Q_5 = 0,8 \times Q_{10}$

2.4.1.2. Détermination des débits de fréquences rares

Pour les crues de fréquence rare, l'application de la méthode du Gradex a été testée sur un pas de temps de 24h qui est une valeur usuellement utilisée² et pour laquelle nous disposons de données fiables.

Le coefficient de pointe, donnée nécessaire à l'application de la méthode, est estimé sur la base de cinq crues récentes observées à la station hydrométrique de l'Echez à Louey :

- 25/12/1993 : $C_{p24h} = 1,35$ et $Q_{max} = 39,7 \text{ m}^3/\text{s}$
- 13/12/2019 : $C_{p24h} = 1,32$ et $Q_{max} = 41,6 \text{ m}^3/\text{s}$
- 10/12/2021 : $C_{p24h} = 1,36$ et $Q_{max} = 35,4 \text{ m}^3/\text{s}$
- 10/06/1978 : $C_{p24h} = 2,1$ et $Q_{max} = 46,5 \text{ m}^3/\text{s}$
- 25/01/2014 : $C_{p24h} = 0,8$ et $Q_{max} = 14,8 \text{ m}^3/\text{s}$

Les hydrogrammes de ces cinq crues sont présentés sur le graphique ci-dessous.

Les valeurs du coefficient de pointe sont très proches pour les trois premières crues et varient fortement pour les deux suivantes.

Celui de la crue de 2014 s'explique par la présence d'un second pic de crue qui vient augmenter la valeur du débit moyen sur 24h.

La valeur forte observée en 1978 peut être le résultat d'une crue particulièrement rapide ou d'un pas de temps de mesure non adaptée aux crues à cette époque.

Nous décidons donc de retenir une valeur de coefficient de pointe 24h de 1,35 pour la station de l'Echez à Louey dont la superficie du bassin versant est de $89,6 \text{ km}^2$.

² Des travaux du groupe de travail du CFGB (Comité Français des Grands Barrages) ont montré que, dans l'application de la méthode du GRADEX, les résultats dépendent très peu du choix de la durée de référence, en particulier lorsque la durée de référence retenue est supérieure au temps de concentration. Ceci justifie l'emploi de la durée de 24h, pour laquelle les données de pluie sont facilement obtenues par application du coefficient de Weiss (1,14) aux données de pluie journalière (non centrées), généralement disponibles en de nombreux points et sur de longues périodes.

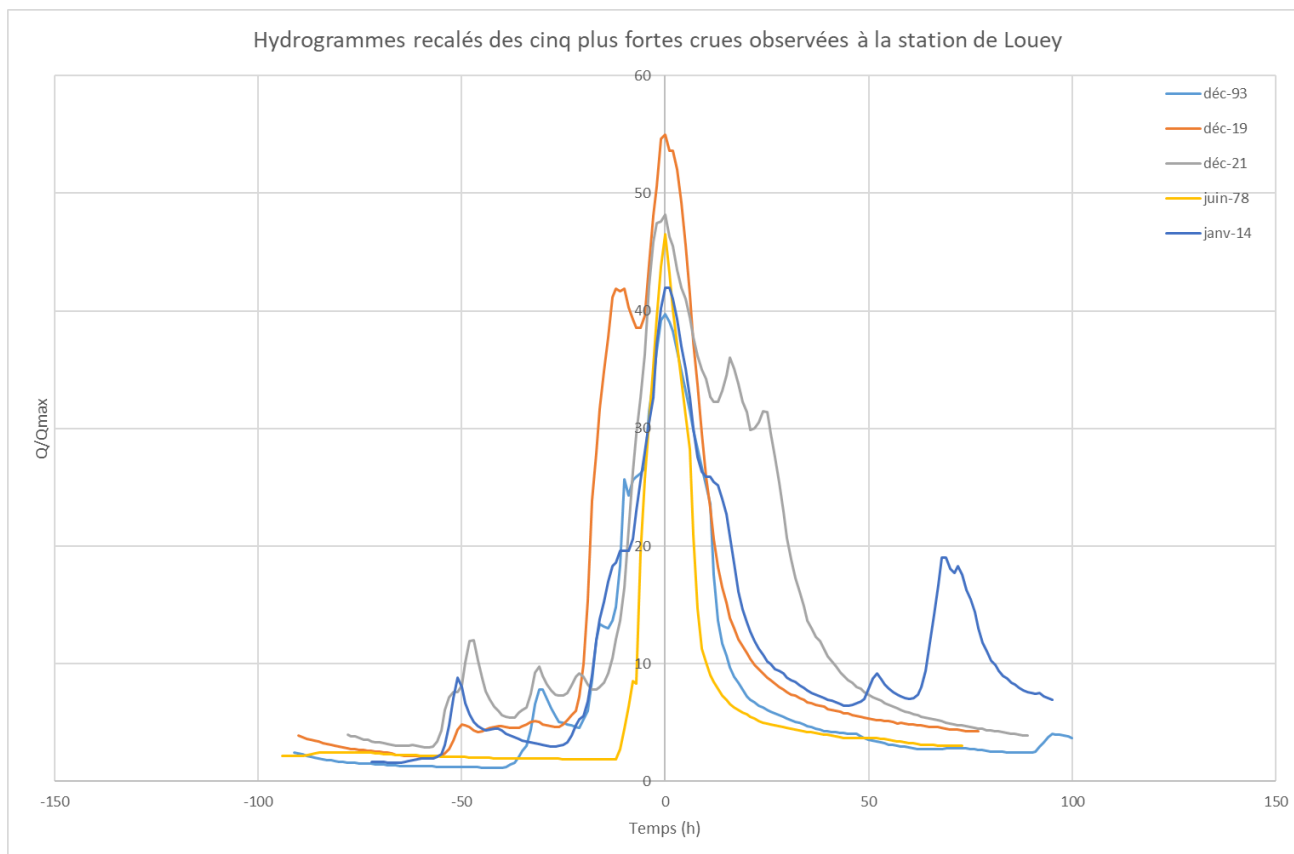


Figure 11 – Hydrogrammes recalés des cinq plus fortes crues observées à la station de l'Echez à Louey

Il convient maintenant d'évaluer le coefficient de pointe des crues pour les bassins versants de notre secteur d'étude, de taille plus petite que celui contrôlé par la station hydrométrique de l'Echez. En effet, le coefficient de pointe varie en fonction de la taille du bassin versant et augmente lorsque la surface du bassin versant diminue, du fait de la plus forte réactivité des bassins.

Pour faire la transposition aux bassins versants de la Geüne, nous appliquons un pro-rata sur la base des superficies des bassins versants similaires à celui de Myer pour les débits de pointe en partant des hypothèses suivantes :

1. la relation de Myer donne le débit de pointe (Q_p) proportionnel à S^α et nous avons considéré ici α égal à 0.75,
2. le débit moyen journalier (QMJ) serait quant à lui plutôt proportionnel à S ,
3. $C_p = Q_p/QMJ$ serait donc proportionnel à $S^{-0.25}$ et nous ferons l'approximation qu'il en est de même pour le C_{p24h} .

Le coefficient de pointe ainsi obtenu pour le bassin versant complet (19,5 km²) de la Geüne est alors de 2. Nous appliquons la même méthode pour les sous bassins versants.

Le Gradex des pluies 24h a été estimé au paragraphe 2.3, il est de 12,7 mm en 24h.

Le point pivot qui sert de base à l'application de la méthode est pris décennal avec le débit de pointe retenu pour chacun des sous bassins versants.

Le tableau suivant présente les résultats obtenus par la méthode du Gradex.

Tableau 14 - Débits de pointe des crues rares pour les différents sous-bassins via la méthode du Gradex

Numéro	Nom BV	Superficie (km ²)	Q20 (m ³ /s)	Q50 (m ³ /s)	Q100 (m ³ /s)
BV1	Montané	3.4	5	6	7
BV2	Mate - Julos	1.5	2,5	3,5	4
BV3	Graves - Julos	0.9	2	2,5	3
BV4	Mate - Adé	3.7	5	7	8
BV5	Rieutord	1.7	3	4	5
BV6	Geüne - Lanne	14.8	14	19	22
BV7	Geüne – Louey	16.5	16	20	24
BV8	Geüne - Juillan	18.4	17	22	26
BV9	Geüne – Confluence Echez	19.5	18	23	27

2.4.1.3. Détermination des hydrogrammes de crue

Pour déterminer les hydrogrammes de crue, deux stations ont été analysées : l'Echez à Louey et la Gespe à Tarbes.

De même que pour l'estimation du coefficient de pointe, cinq hydrogrammes de crues récentes de l'Echez à Louey et six de la Gespe à Tarbes sont analysés. Pour les comparer entre eux, nous centrons la durée sur le débit de pointe maximal et nous divisons le débit par le débit de pointe maximal observé pour obtenir des valeurs adimensionnelles comprises entre 0 et 1 comparables entre elles.

Les hydrogrammes adimensionnels ainsi obtenus pour les deux stations présentent des caractéristiques proches avec un temps de montée de la crue de l'ordre de 3 fois le temps de concentration du bassin et un temps de descente correspondant environ à 1,5 fois pour l'Echez et 2,3 fois pour la Gespe le temps de montée.

Ces valeurs amènent à des hydrogrammes qui diffèrent des hydrogrammes triangles usuellement retenus pour lesquels nous considérons en général que le temps de montée est égal au temps de concentration et que le temps de base est égal à 3 fois le temps de concentration (soit un temps de descente égal à 2 fois le temps de montée). Le bassin de l'Echez présente une superficie bien plus étendue que la Geüne qui pourrait expliquer cet écart mais ce n'est pas le cas du bassin de la Gespe qui présente une superficie équivalente. Nous conserverons donc les caractéristiques de ces hydrogrammes pour déterminer ceux de la Geüne.

Nous pouvons appliquer les hydrogrammes unitaires ainsi obtenus aux sous bassins versant du secteur en adaptant les temps caractéristiques (montée, descente et base) au temps de concentration de chacun des bassins.

Nous faisons l'exercice pour le BV9 correspondant au bassin de la Geüne au droit de la confluence à l'Echez. La figure suivante présente l'hydrogramme de la crue décennale du BV9 déterminé via :

- L'application de l'hydrogramme unitaire de l'Echez adapté à un temps de concentration de 3h,
- L'application de l'hydrogramme unitaire de la Gespe adapté à un temps de concentration de 3h,
- L'application d'un hydrogramme triangle avec un temps de montée de $3 \cdot T_c$ et un temps de base de $2,5 \cdot T_m$ (différent des durées habituelles de temps de montée $1 \cdot T_c$ et de temps de base $3 \cdot T_c$).

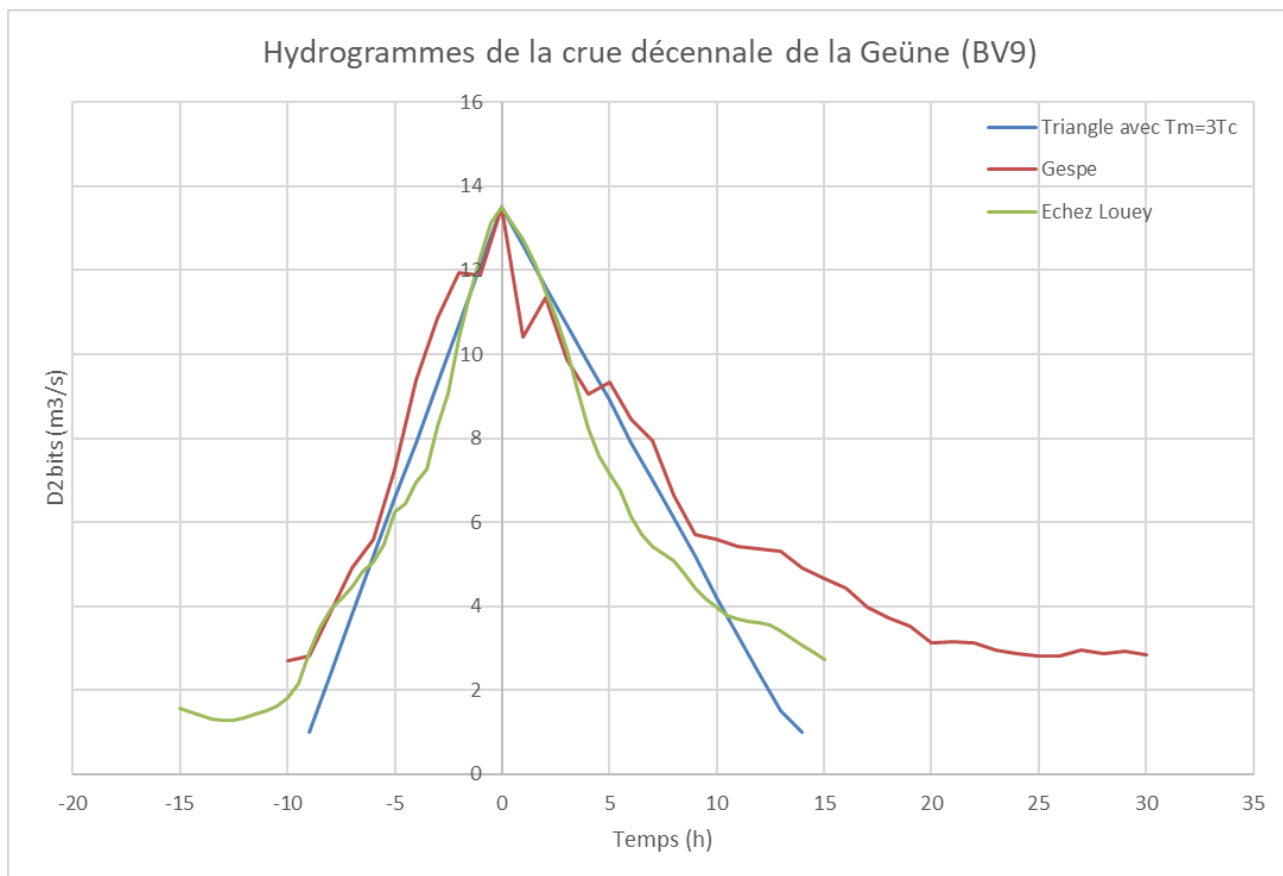


Figure 12 – Hydrogrammes de la crue décennale du BV9 estimés par 3 méthodes différentes

Nous retiendrons par la suite l’hydrogramme unitaire issu des données de la station de l’Echez à Louey et adapté en fonction du temps de concentration de chacun des sous bassins versants pour déterminer les hydrogrammes de crue statistique nécessaires au modèle hydraulique.

2.5. COHERENCE HYDROLOGIQUE DU SECTEUR

La Geüne est un affluent rive gauche de l’Echez et la confluence se fait en aval de Juillan. Les deux cours d’eau traversent en partie les mêmes communes (Louey, Juillan) et il est donc intéressant de comparer leur dynamique de crue et les débits en jeu. Nous associons également à cette analyse, la Gespe qui est un affluent rive droite de l’Echez situé entre la confluence de la Geüne et la station hydrométrique de l’Echez à Tarbes.

La cartographie en page suivante présente les bassins versants intéressant pour cette analyse :

- La Geüne à la confluence,
- La Gespe à la confluence,
- L’Echez à la station de Louey,
- L’Echez à la station de Tarbes.

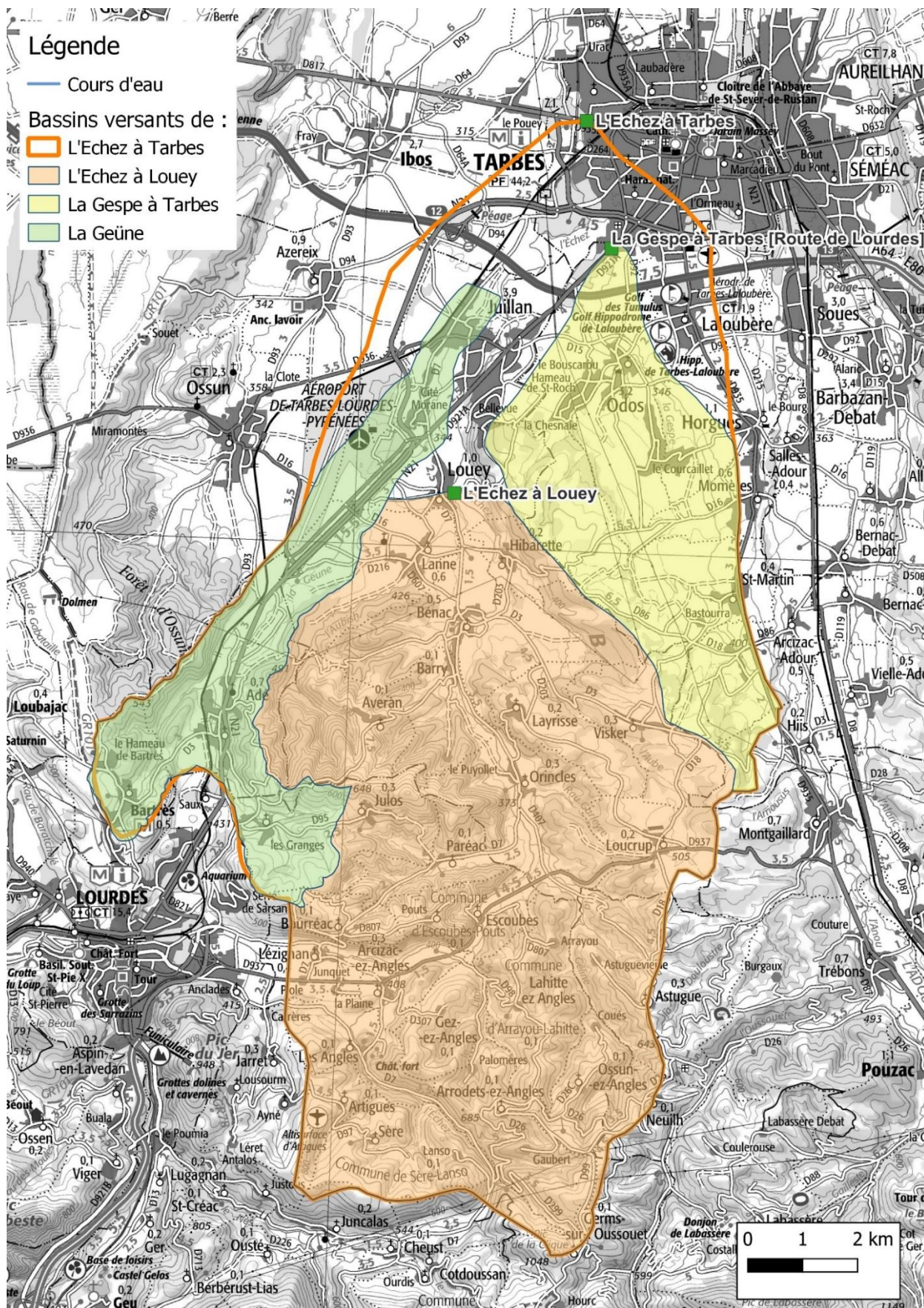


Figure 13 – Bassins versants de l'Echez à la station de Tarbes et de ses affluents principaux

Le tableau suivant présente les débits de crue des différents bassins (issus de l'analyse précédente) ainsi que la superficie du bassin versant correspondant, la somme des sous-bassins de l'Echez à Tarbes est également présentée afin d'offrir un ordre de grandeur de comparaison avec les débits à la station de Tarbes.

Tableau 15 – Débits caractéristiques de crue de l'Echez à Tarbes et de ses principaux affluents

Temps de retour de la crue	Geüne 19,5 km ²	Gespe 22,5 km ²	Echez à Louey 89 km ²	Somme (*) 130 km ²	Echez à Tarbes 150 km ²
2 ans	8,1 m ³ /s	6 m ³ /s	27 m ³ /s	41 m ³ /s	51 m ³ /s
5 ans	10,8 m ³ /s	8,9 m ³ /s	36,1 m ³ /s	56 m ³ /s	74 m ³ /s
10 ans	13,5 m ³ /s	10,8 m ³ /s	42 m ³ /s	66 m ³ /s	88 m ³ /s
20 ans	18 m ³ /s	12,6 m ³ /s	47,8 m ³ /s	78 m ³ /s	102 m ³ /s
50 ans	23 m ³ /s	15 m ³ /s	55,2 m ³ /s	93 m ³ /s	121 m ³ /s

(*) attention la somme des débits offre un ordre de grandeur mais en raison de la dynamique des crues (concomitantes ou non), le débit de l'Echez à Tarbes n'est pas égal à la simple somme des débits de pointe de l'ensemble des affluents

La Geüne contribue donc **au maximum** de 15 à 20 % aux débits de crue de l'Echez à Tarbes et **au maximum** de 30 à 40 % aux débits de crue de l'Echez à Louey, ce qui est plutôt en cohérence avec son bassin versant qui représente 13 % du bassin à Tarbes et 22 % de celui à Louey. **Comme précisé ci-dessus, cela correspond à une borne maximum car la Geüne n'atteint pas son pic de crue au même moment que l'Echez et l'ensemble de son débit de pointe en crue ne vient donc pas nécessairement alimenter le débit de pointe maximal de l'Echez.**

Nous nous intéressons également à la dynamique des crues sur ces différents bassins en analysant l'horaire du pic pour les crues communes et récentes pour lesquelles nous disposons de données. Le pic est estimé à partir des données hydrométriques pour l'Echez et à partir de l'enquête de crue réalisée pour la Geüne. Pour cette dernière, il s'agit donc d'une estimation moins précise.

Dat de la crue	Heure arrivée du pic				
	Echez à Louey	Echez à Tarbes	Geüne à Adé	Geüne à Lanne	Geüne à Juillan
25 janvier 2014	01 : 00	05 : 00	-	01 : 00	-
13 décembre 2019	18 : 00	23 : 00	17 : 00	19 : 00	23 : 00
10 décembre 2021	06 : 00	10 : 00	09 : 00	-	12 : 00

Les informations ne sont pas complètes pour l'ensemble des crues mais nous permettent les analyses suivantes :

- Le pic de crue de l'Echez est atteint à Tarbes 4 à 5h après Louey,
- Le pic de la crue de l'Echez à Louey semble concomitant avec le pic de la Geüne à Lanne,
- Le pic de la Geüne à Juillan arrive entre 3h et 6h après celui à Adé.

Ces informations sont valables pour ces crues mais peuvent différer pour d'autres crues répondant à d'autres dynamiques.

3. HYDRAULIQUE – ETAT ACTUEL

3.1. MODELISATION 1D/2D

Cette phase vise à disposer d'un outil performant qui apporte une connaissance fine du fonctionnement hydraulique de la zone vis-à-vis de la problématique des crues.

Deux modélisations 1D/2D via le logiciel HEC-RAS ont été réalisées pour répondre aux objectifs de la présente étude :

- appréhender les conditions d'écoulement s'établissant sur le secteur, les obstacles à ces écoulements et les enjeux associés potentiellement impactés ;
- définir des aménagements visant à améliorer le fonctionnement du secteur vis-à-vis de la problématique ruissellement.

Les principales étapes de construction des modèles sont précisées dans les paragraphes suivants.

3.1.1. Présentation du logiciel HEC-RAS

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System) est un logiciel de modélisation hydraulique fluvial à licence gratuite développé par HEC, un département de l'US Army Corps of Engineers (USACE). RAS constitue un logiciel de modélisation hydraulique complet dans la mesure où il permet de modéliser des crues stationnaires, quasi-stationnaires, instationnaires, des simulations de transports de sédiments et également de qualité d'eau, et ce à partir d'une unique géométrie. La valeur de ce logiciel est largement reconnue au sein de la communauté scientifique.

RAS résout les équations de Barré Saint-Venant, sous forme simplifiées ou complètes selon le besoin et le choix de l'utilisateur. Il utilise une discrétisation sous forme de schéma de différence finie implicite et a recours à la triangulation de Delaunay pour créer son maillage. Les mailles de RAS ont la particularité de prendre en compte les variations d'altitude du terrain qu'elles contiennent ce qui conduit globalement à des temps de calculs plus courts, à précision égale, que les logiciels de modélisation dont la maille représente une unique altitude. Le logiciel permet de modéliser les cours d'eau ou canaux de plusieurs manières :

- En 1D
- En 1D à casiers
- En couplage 1D-2D
- En 2D seul

Ras peut modéliser des ouvrages tels que ponts, barrages, digues, réservoirs, pompes... Il dispose également d'un module de rupture de barrages et de digues.

Le couplage 1D/2D permet d'utiliser un modèle unidimensionnel pour représenter le lit mineur et un modèle bidimensionnel pour représenter le lit majeur, reprenant ainsi les avantages des deux méthodologies.

La modélisation unidimensionnelle du lit mineur reste pour le moment la plus adaptée, pour deux raisons :

- Les ouvrages influençant les écoulements dans la rivière restent, pour le moment, mieux gérés par les modèles unidimensionnels (ponts, barrages, vannes etc.).
- Les données décrivant le lit mineur sont la plupart du temps des profils en travers situés à intervalles réguliers le long de la rivière, la création d'un MNT sur lequel viendrait s'appuyer le maillage 2D reste difficile avec ce type de donnée, alors que la modélisation unidimensionnelle représente très bien les écoulements en se basant sur ces mêmes profils.

La modélisation bidimensionnelle des écoulements en lit majeur est la plus fiable : plus besoin de faire des choix de représentation qui simplifient des situations souvent complexes :

- des casiers qui considèrent comme nuls les écoulements,
- lit secondaire qui considère l'écoulement comme étant unidimensionnel.

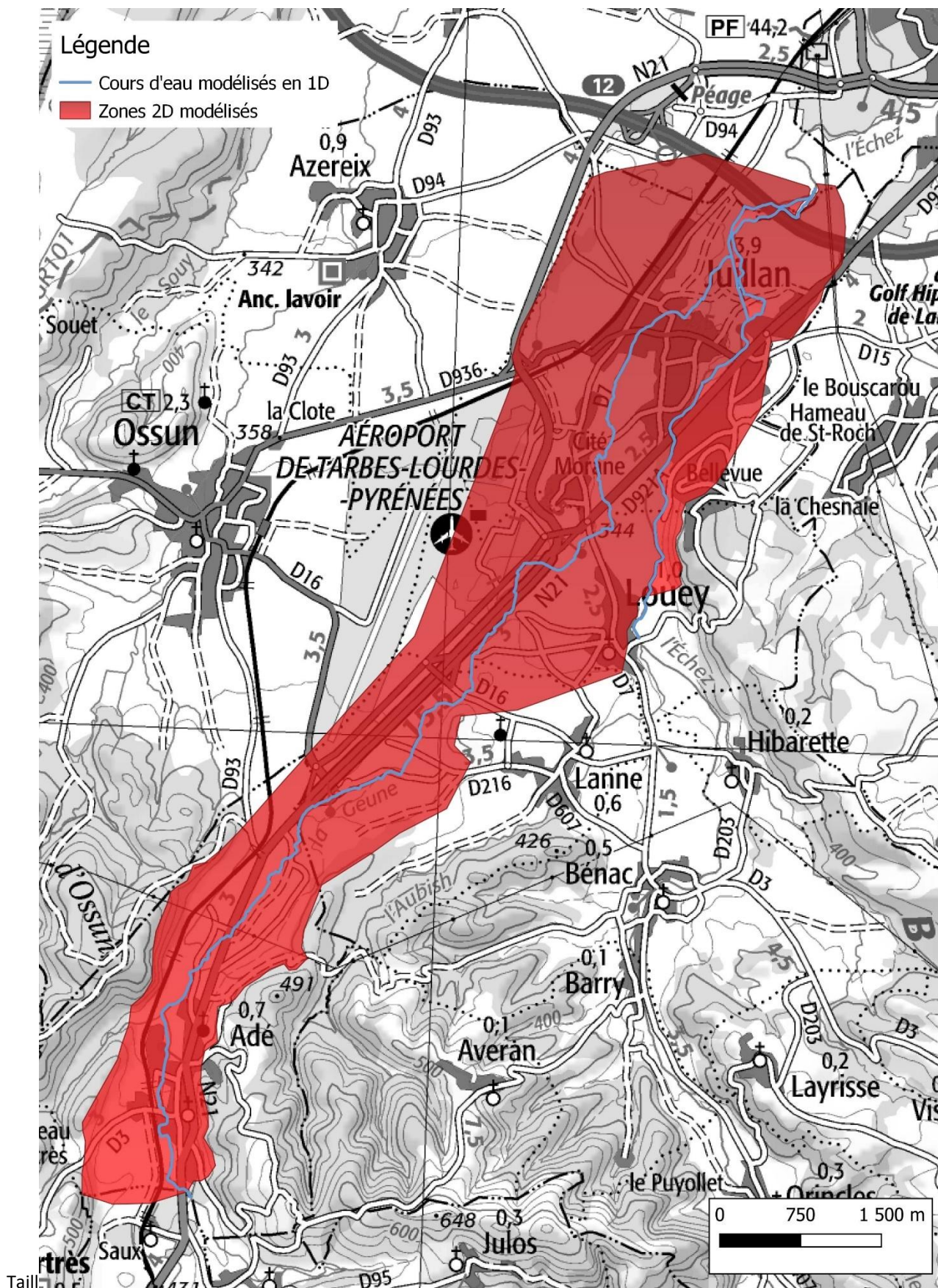
Les hauteurs d'eau et vitesses sont connues en chaque point de la zone 2D modélisée, tous les obstacles à l'écoulement sont pris en compte, la complexité de la zone 2D est ainsi prise en compte dans les écoulements ; ce qui permet d'envisager l'étude précise des écoulements en milieu urbain après débordement.

Le couplage 1D/2D permet donc une plus grande représentativité de la modélisation des écoulements de surface ainsi que des rapports et échanges entre surface et le système « rivière ».

3.1.2. Emprise de la modélisation numérique

Dans le cadre de l'étude hydraulique de la Geüne pour le SMAA, ARTELIA a construit un modèle 1D/2D de la N21 à l'aval de Julos à la confluence de la Geüne avec l'Echez à Juillan.

L'emprise globale de la modélisation est présentée ci-après.



3.1.3. Maillage de calcul

La construction du modèle a été précédée d'une reconnaissance du secteur modélisé, permettant d'identifier l'ensemble des éléments structurants pouvant jouer un rôle sur le comportement hydraulique des écoulements. Une fois identifiés, ces éléments sont ensuite pris en compte dans le modèle mis en œuvre.

■ Taille des mailles et présentation du maillage

La précision spatiale des résultats obtenus est fixée par la taille des mailles du modèle bidimensionnel.

Les tailles de mailles retenues lors de la construction du modèle sont les suivantes :

- 20 m dans les zones naturelles et à enjeux ;
- 10 m pour les voiries principales.

Le maillage mis en œuvre *in fine* représente ainsi l'ensemble des éléments structurants du secteur d'étude pouvant conditionner localement le fonctionnement hydraulique du secteur. Il comprend plus de 43 000 nœuds de calcul (2108 nœuds pour le modèle de Julos). Des breaklines (lignes de forçage du maillage) ont été mises en place pour représenter le plus finement possible les infrastructures linéaires principales (routes, voie ferrée, ...) ayant un possible impact sur les écoulements.

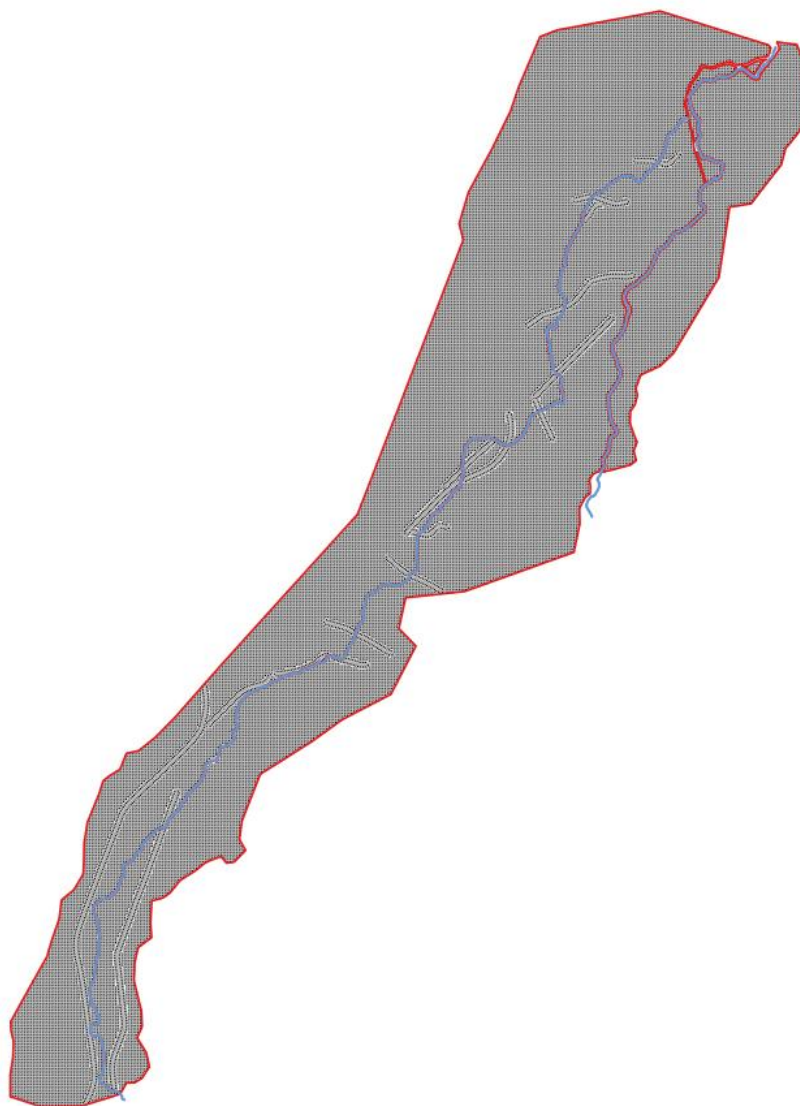


Figure 15 : Représentation du maillage du modèle principal

3.1.4. Données topographiques sur la zone d'étude

Plusieurs sources de données ont été utilisées :

- Le Lidar HD pour la représentation du lit majeur en 2D ;
- Une campagne topographique spécifique à cette étude réalisée par SGEA et comprenant :
 - 44 levés d'ouvrages hydrauliques sur la Geüne et l'Echez ;
 - 151 profils en travers sur la Geüne et l'Echez ;
 - 10 levés de laisses de crue.

3.1.5. Coefficients de rugosité

Le coefficient de Strickler est un coefficient qui permet de rendre compte dans la modélisation de la rugosité d'un sol. En effet, les contraintes de propagation ne sont pas les mêmes suivant que les eaux s'écoulent sur un sol en béton, enherbé ou dans un sous-bois très fourni. Afin de prendre en compte les différents types de sols rencontrés, des coefficients différents sont appliqués.

Dans le modèle numérique de la présente étude, les coefficients suivants ont été retenus :

Tableau 16 : Coefficients de Strickler pris en compte dans les zones 1D et 2D

Occupation	Strickler
Zones industrielles	5
Tissu urbain discontinu	20
Prairies/cultures	25
Prairies en herbes	33
Réseaux routier, ferroviaire et aéroports	77
Forêts	7.5
Chantiers	10
Marais	1
Lit mineur (1D)	22
Berges (1D)	18

Ces valeurs, relativement classiques et en adéquation avec les ordres de grandeur généralement retenus sur des secteurs similaires, ont été ajustées au travers de la phase de calage du modèle sur les événements historiques connus.

3.1.6. Conditions aux limites

La condition limite de sortie du modèle de Julos est une hauteur normale pour une pente de 0,0375 m/m correspondant à la pente observée sur la Geüne en aval de Julos.

En amont, un unique hydrogramme de crue est injecté correspondant aux apports des sous-bassins versants 2 et 3.

La condition limite de sortie du second modèle est une hauteur d'eau normale pour une pente de 0,0032 m/m correspondant à la pente observée sur le profil en long, à l'aval de la confluence entre la Geüne et l'Echez.

Les débits injectés en entrée du modèle sont localisés sur la figure en page suivante :

- Hydrogramme BV4 en amont,

- Hydrogramme BV1 (Montané) au droit du profil le plus proche de la confluence,
- Hydrogramme BV5 (Rieutord) au droit du profil le plus proche de la confluence,
- Hydrogramme d'un BV intermédiaire un peu en aval du cimetière de Louey,
- Hydrogramme de la station de l'Echez à Louey intégré en amont de ce cours d'eau auquel est ajouté un hydrogramme complémentaire en rive droite pour tenir compte des débordements arrivant de l'amont et contournant la station. Cet hydrogramme complémentaire est intégré uniquement pour des débits supérieurs à 30 m³/s soit pour les temps de retour supérieurs ou égal à 20 ans.

Les ruissellements directs en lit majeur ne sont pas représentés.

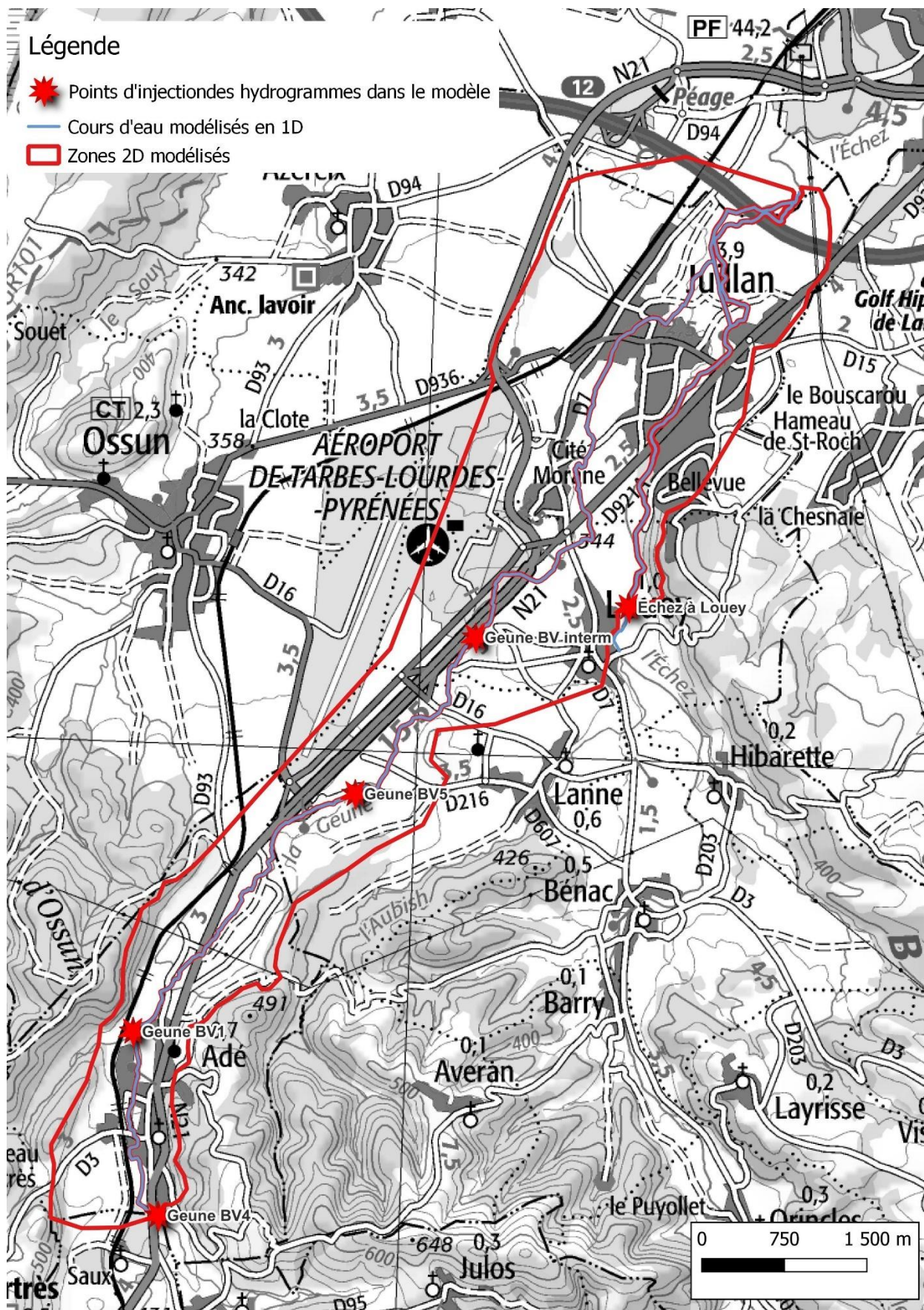


Figure 16 – Points d'injection des débits dans le modèle de Adé à Juillan

3.1.7. Géométrie du modèle

Dans l'étude initiale la géométrie des modèles est principalement basée sur les 150 profils en travers levés par le géomètre, ces profils ont été interpolés pour aboutir :

- à un maillage d'un profil tous les 20 mètres environ pour le modèle de Juillan à Adé, soit 693 profils,
- à un maillage d'un profil tous les 10 mètres environ pour le modèle de Julos, soit 90 profils.

40 ouvrages en travers ont également été intégrés au modèle (2 à Julos et 38 sur le modèle principal). Les figures suivantes présentent le profil en long du modèle et les limites de son emprise.

L'Echez est également intégré au modèle principal sur un linéaire de 3,1 km. Sa géométrie est représentée par 383 profils en travers dont 13 ont été levés par le géomètre et les autres interpolés. 6 ouvrages hydrauliques ont été intégrés à l'Echez.

Dans le cadre du projet de l'hôpital de Tarbes, la société de géomètre ECTAUR a procédé à des levés topographiques sur la zone :

- Un relevé photogrammétriques du Terrain Naturel
- Un relevé de profils en travers et du profil en long de la Geüne.



Figure 17 - Relevé photogrammétrique

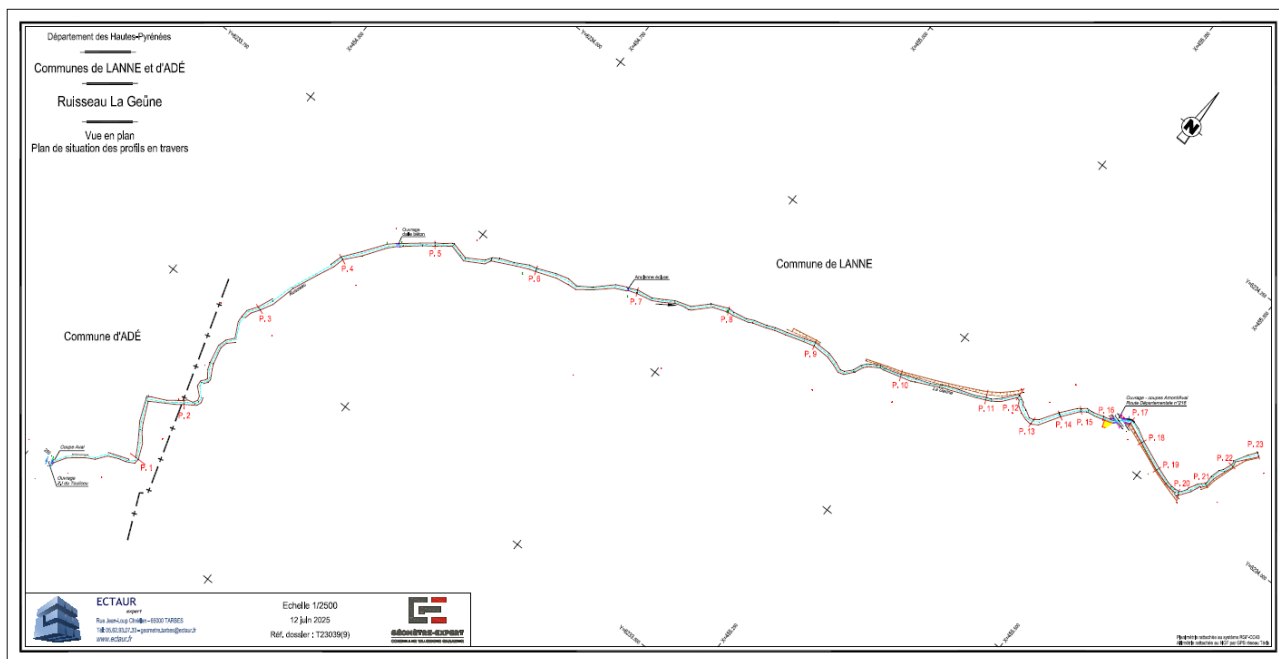


Figure 18 - Profils en travers et profil en long de la Geüne

Le modèle réalisé dans le cadre de l'étude du SMAA a été modifié afin d'intégrer les derniers levés topographiques et ainsi avoir des résultats plus affinés au niveau du secteur du futur hôpital.

3.2. ACTIVATION DU MODELE

3.2.1. Q2

3.2.1.1. Hauteur

La carte des hauteurs d'eau est affichée ci-après.





Figure 19 – Hauteurs d'eau maximales pour une crue biennale (Etat actuel – Crue biennale)

3.2.1.2. Vitesse

La cartes des vitesses est affichée ci-après.





Figure 20 – Vitesses maximales pour une crue biennale

3.2.2. Q5

3.2.2.1. Hauteur

La carte des hauteurs d’eau est affichée ci-après.





Figure 21 – Hauteurs d'eau maximales pour une crue quinquennale (Etat actuel – Crue quinquennale)

3.2.2.2. Vitesse

La cartes des vitesses est affichée ci-après.





Figure 22 – Vitesses maximales pour une crue quinquennale

3.2.3. Q100

3.2.3.1. Hauteur d'eau

La carte des hauteurs d'eau est affichée ci-après.





Figure 23 – Hauteurs d'eau maximales pour une crue centennale (Etat actuel – Crue centennale)

3.2.3.2. Vitesses

La cartes des vitesses est affichée ci-après.





Figure 24 – Vitesses maximales pour une crue centennale

4. HYDRAULIQUE – ETAT PROJET

4.1. CARACTERISTIQUES DU PROJET

4.1.1. Dévoisement

L'élargissement de la RD216 conduit à trois importants changements au droit de la Geüne.

4.1.1.1. Remplacement de l'ouvrage hydraulique

Pour faciliter l'accès routier au nouvel hôpital, le Conseil Départemental 65 envisage un élargissement de la RD216 et la création d'un giratoire en entrée de site.

Cet aménagement routier intégrera également le remplacement du pont existant sur la Geüne et sa substitution par un ouvrage cadre d'un gabarit équivalent.

L'ouvrage hydraulique actuel traversant la RD216 devra être remplacé par un ouvrage plus long. En effet, l'ouvrage actuel a une longueur de 10,20 ml. Ci-dessous la coupe actuelle de l'ouvrage.

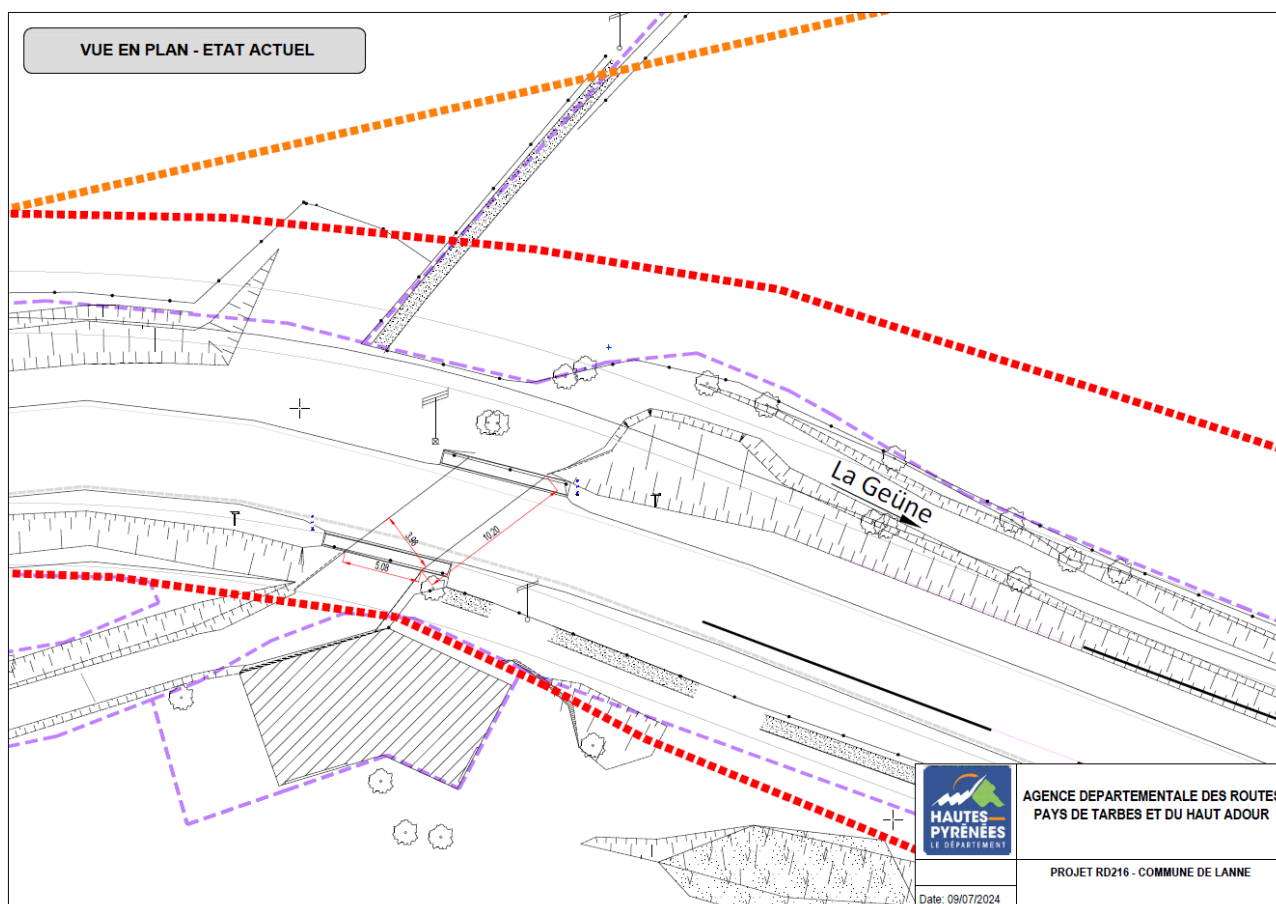


Figure 25 - Vue en plan de l'état actuel

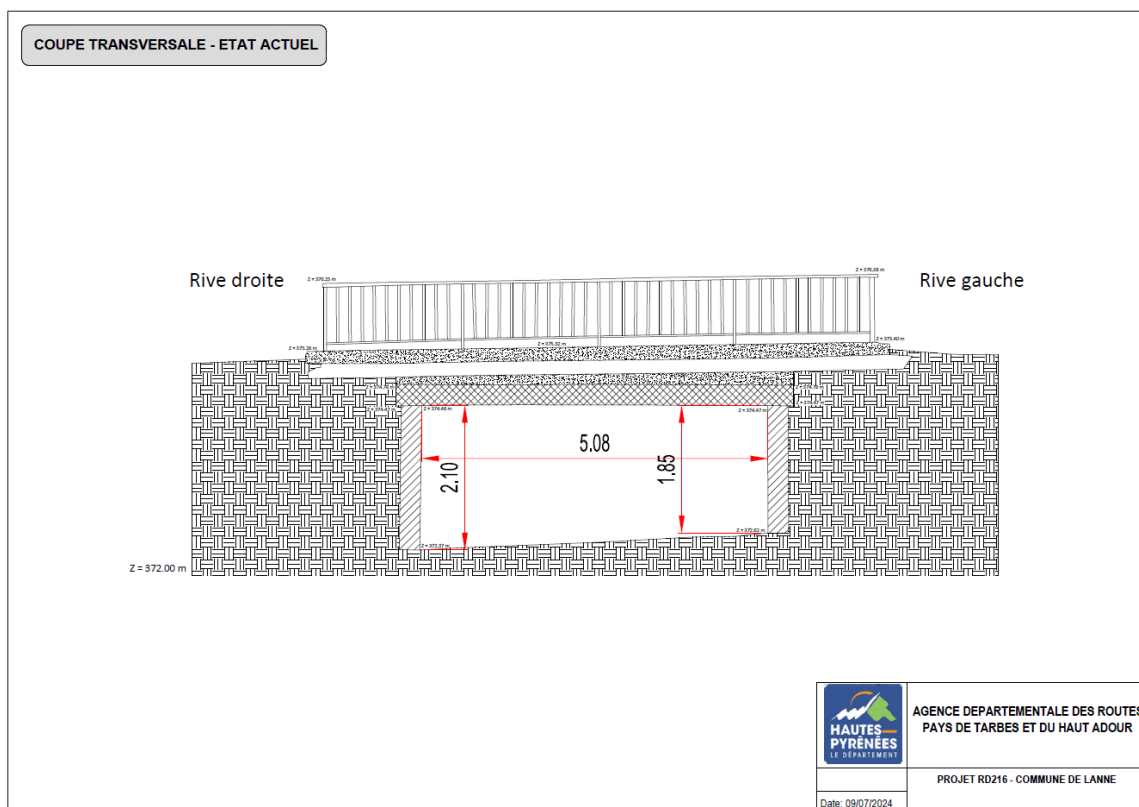


Figure 26 - Ouvrage actuel - RD216

L'ouvrage va donc être remplacé par un dalot d'une longueur de 16,50 ml. De plus, l'ouvrage sera repositionné pour qu'il soit plus droit. La vue en plan ci-dessous présente l'état projet de l'ouvrage.

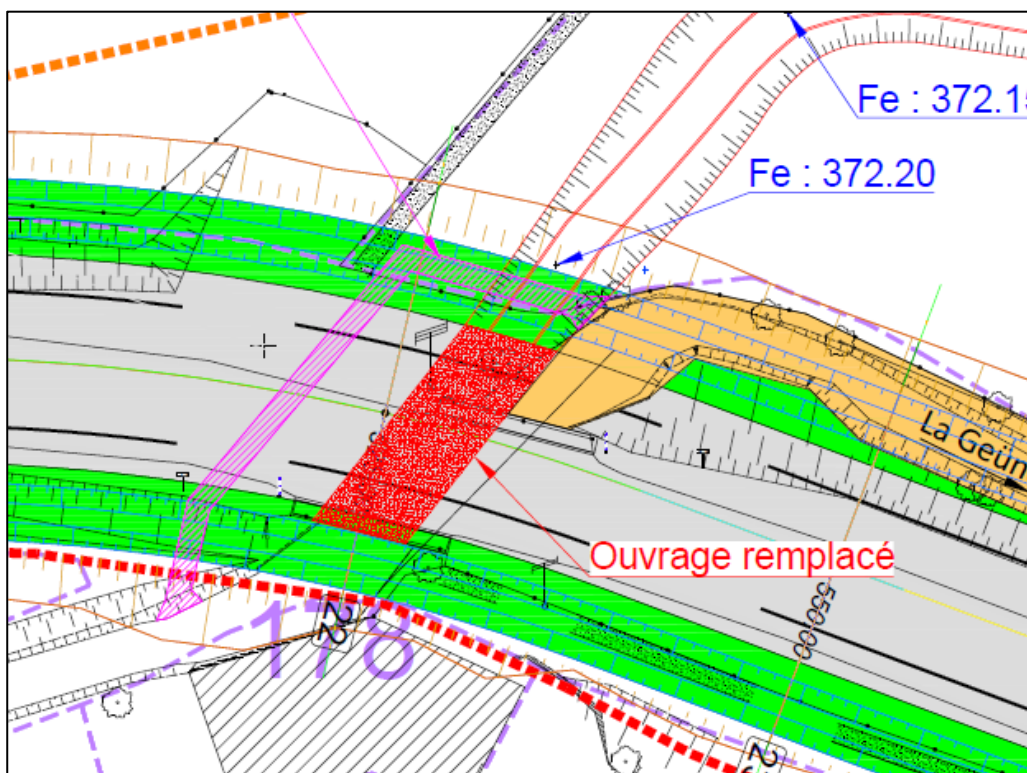


Figure 27 - Vue en plan de l'ouvrage projet

Les dimensions du dalot resteront semblables à l'ouvrage actuel pour ne pas modifier ou du moins, impacter le moins possible les écoulements en crue par rapport à l'état actuel.

De plus, un aménagement de type banquette sera mis en place pour garantir la continuité écologique en permettant le passage de la faune semi aquatique et la petite faune.

Conformément au Guide *Note d'information du Sétra – Petit ouvrages hydrauliques et continuités écologiques – Cas de la faune piscicole (Décembre 2013)*, la largeur des banquettes sera au minimum de 0.4 m.

Les banquettes sont dimensionnées telles que le transit du débit moyen (module) du cours d'eau ne vienne pas submerger celles-ci.

Les banquettes sont dimensionnées de la façon suivante :

Gabarit de l'ouvrage	Dimensionnement du fond de l'ouvrage sous la banquette	Q capable	Module du cours d'eau	Remarque
Hutite = 2,10 m L = 5,10 m	Forme trapézoïdale H = 0,40 m L = 5,10 m	1,6 m ³ /s	0.28 m ³ /s (données IRSTEA)	Q capable > Module Le dimensionnement est donc correct.

Ci-dessous la coupe transversale de l'ouvrage projet.

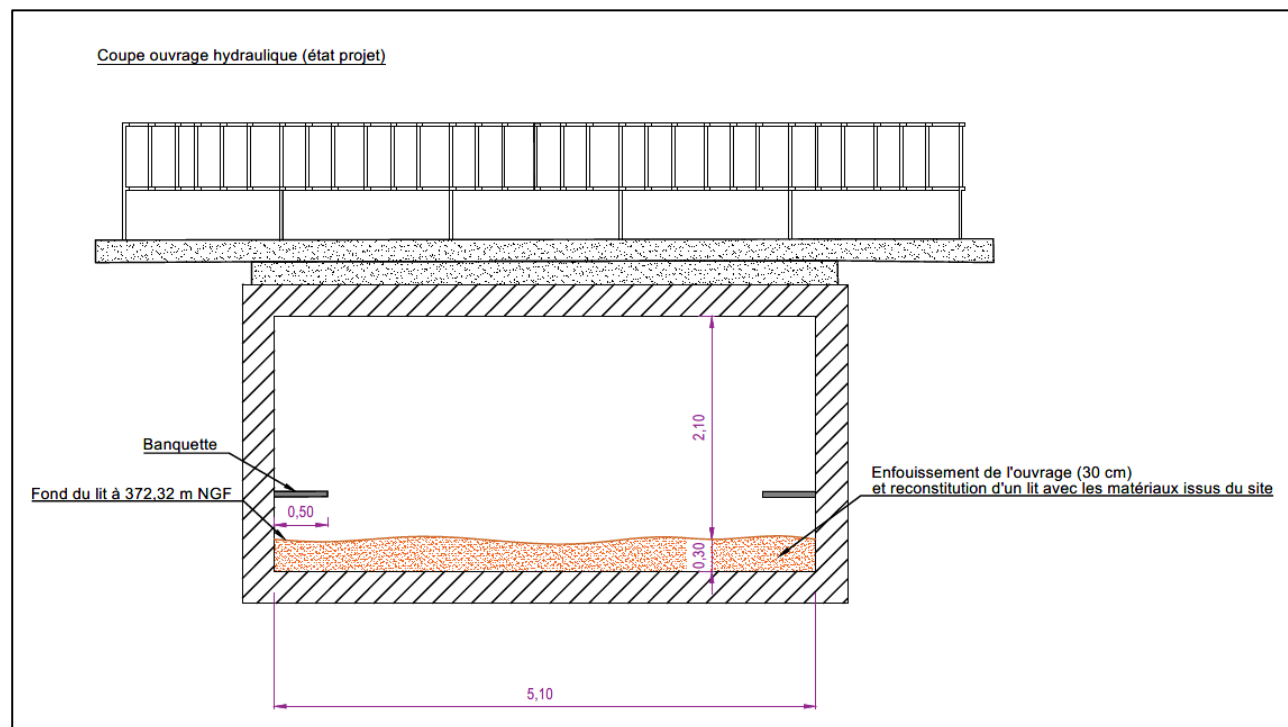


Figure 28 - Coupe de l'ouvrage projet

4.1.1.2. Dévoisement de la Geüne

L'élargissement de la RD216 conduit au remblai de la Geüne le long de la route. Afin de palier à ce problème, il est envisagé de dévier le lit de la Geüne sur un linéaire d'environ 200m.

L'objectif est de :

- Proposer un aménagement du lit et des berges respectueux des contraintes environnementales et de la présence du Desman, qui garantissent une continuité écologique et sédimentaire,
- Créer un nouveau lit de la Geüne, méandriforme et plus favorable à la biodiversité, à l'aval de l'ouvrage.

Dimensionnement

Pour dimensionner le dévoiement du projet, les profils en travers de la Geüne au droit du dévoiement ont été comparé afin d'avoir une coupe type du cours d'eau et avoir une estimation de la capacité hydraulique de celle-ci.

Ci-dessous la localisation des profils en travers.



Figure 29 - Localisation des profils en travers

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques des profils en travers allant du PT9 au PT1.

Tableau 17 - Caractéristiques des profils en travers

PT	Fe (mNGF)	Aire (m ²)	Profondeur (m)	Largeur en fond (m)	Qcap (m ³ /s)
9	372.55	1.6	0.95	1.45	2.29
7	372.22	1.66	0.52	2.2	2.04
6	371.97	1.34	0.6	2.2	1.71
5	371.59	2.12	0.8	2.7	3.14
4	371.09	3.7	1	3.5	6.71
3	371.06	1.92	0.73	1.82	2.79
2	370.78	1.66	0.67	1.61	2.27
1	370.43	3.33	0.95	2.49	5.72
Moyenne		2.2	0.8	2.2	3.3

La figure ci-dessous présente le profil en long de la Geüne au droit du dévoiement. La pente est de 0,9%.

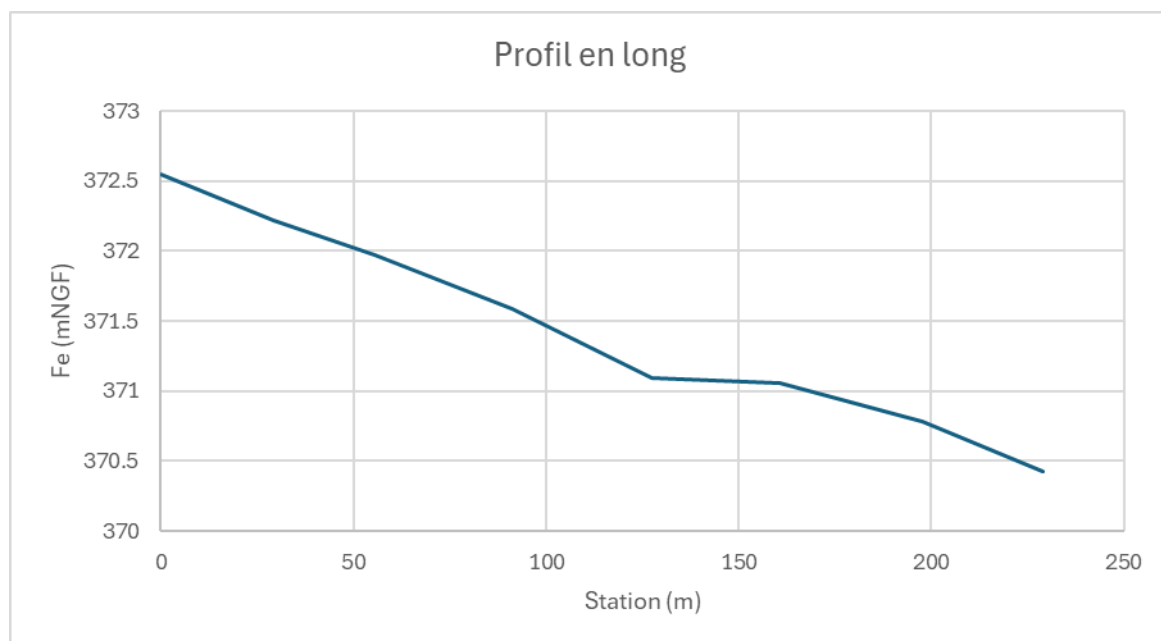


Figure 30 - Profil en long de la Geüne

Dans le cadre du projet de dévoiement du cours d'eau, il a été décidé de profiter de cette opération pour mettre en œuvre une reconfiguration morphologique complète, intégrant un méandrage naturel et une renaturation du lit mineur et de ses berges. L'objectif est de retrouver une dynamique fluviale plus naturelle, tout en préservant le régime hydraulique existant et en favorisant la biodiversité rivulaire.

Le tracé du cours d'eau a été pensé sous la forme d'un méandrage régulier, avec un espacement moyen de 40 mètres entre deux méandres, ce qui permet de créer environ cinq sinuosités sur le linéaire étudié.

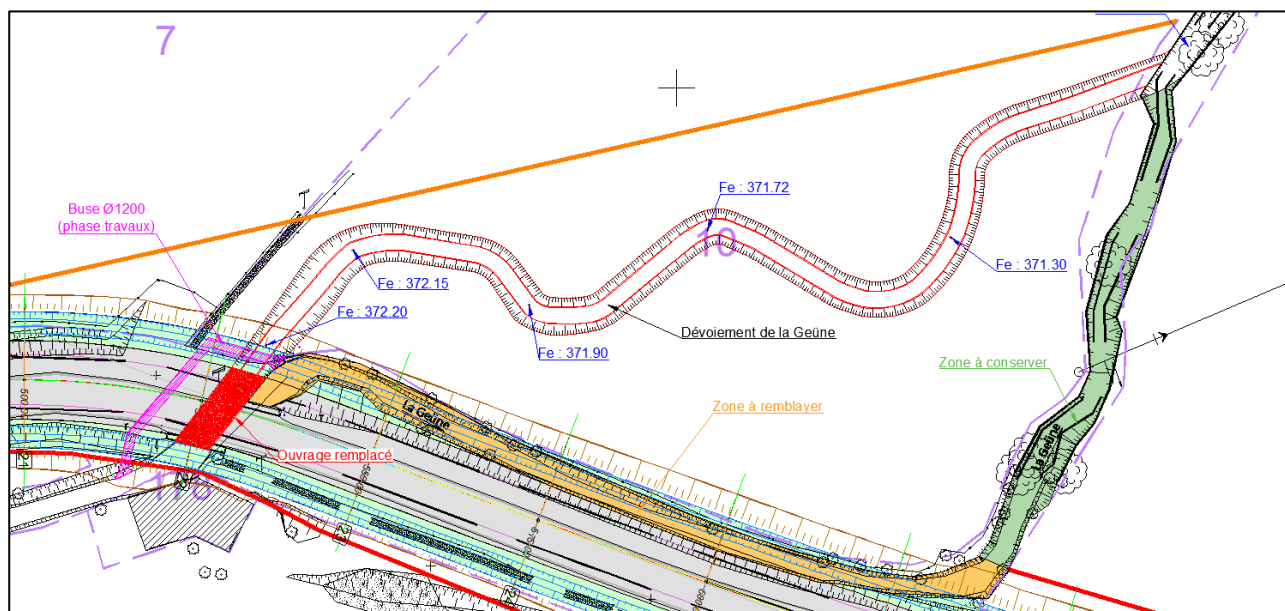


Figure 31 - Vue en plan du dévoiement de la Geüne

Le cours d'eau sera configuré en lit emboîté, structuré en deux niveaux distincts :

1. Un premier lit correspondant à la bande active, d'une profondeur d'environ 30 à 40 cm. Ce lit est conçu pour accueillir les petites crues fréquentes. Les berges y sont quasi verticales, permettant de contenir ces écoulements tout en assurant une mise en eau régulière.

2. Des berges externes à pentes douces (3H/1V) rejoignent le terrain naturel (TN). Ces pentes permettent un étagement progressif de la végétation. Cet étagement favorise la diversité floristique et faunistique, stabilise naturellement les berges et renforce la résilience écologique du système.

Le dimensionnement du profil a été établi de manière à ne pas modifier la capacité hydraulique globale du cours d'eau. En haut de berge, la capacité d'écoulement est de 3,3 m³/s, équivalente à celle du lit actuel. Ainsi, le régime hydraulique existant est conservé, garantissant l'absence d'impact sur les zones situées en aval et évitant tout risque d'érosion ou d'inondation supplémentaire.

Le choix de ne pas concevoir un premier lit calibré pour une crue biennale (Q2) s'explique par le fait que, actuellement, le cours d'eau déborde déjà pour ce débit. Ainsi, le lit mineur a été volontairement limité à la Q1mois, permettant une mise en eau fréquente des berges à pente douce. Cette mise en eau régulière favorisera la stabilisation végétale, le développement de zones humides rivulaires et la réduction de l'érosion.

Voici les caractéristiques du profil en travers du dévoiement :

- La largeur du fond du lit est de 2.2 m,
- La première berge quasi sub-verticale est à 40 cm du fond du lit
- Les berges ont ensuite une pente douce (3H/1V)
- La capacité hydraulique du profil en travers en haut de berge est de 3.2 m³/s (nous avons donc la même capacité hydraulique que le ruisseau actuellement)
- La largeur du cours d'eau en haut de berge est de 4.8m. Le fil d'eau est calé par rapport au TN du raccordement.

La figure ci-dessous présente la section en travers type du dévoiement de la Geüne. A noter que le linéaire projet est le même que le linéaire actuel.

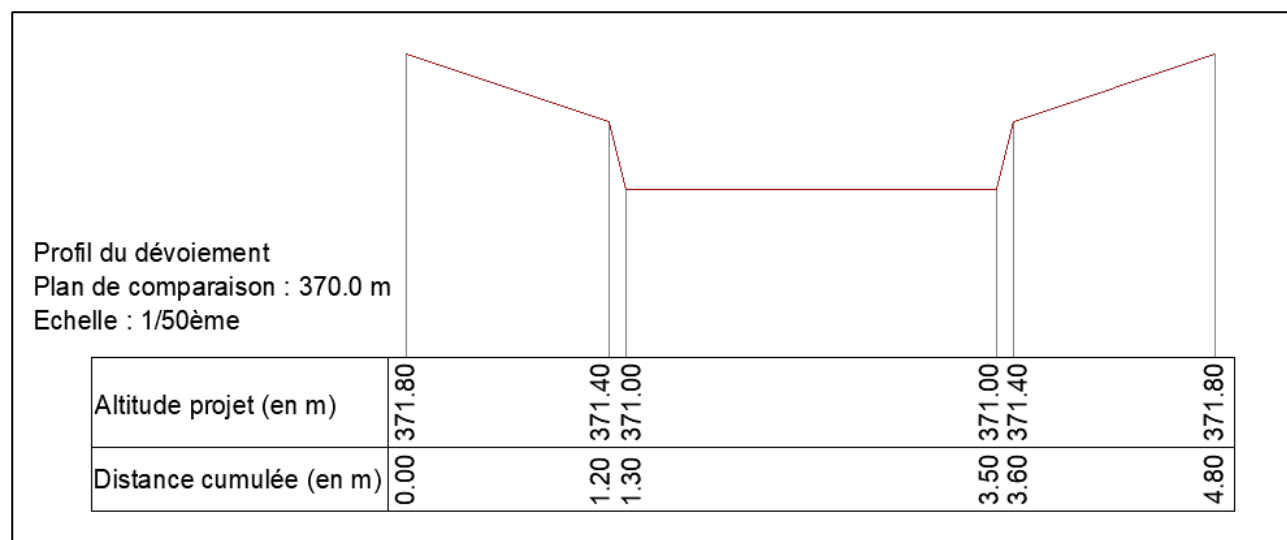


Figure 32 - Coupe type du projet

Le terrain du projet a été modifié sur le logiciel HEC-RAS afin de modéliser l'état projet.

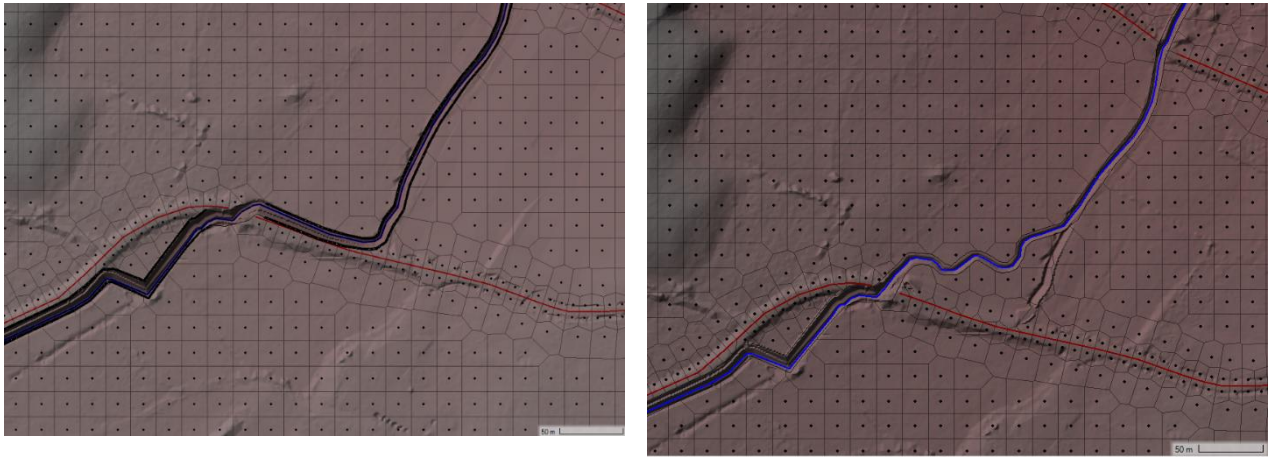


Figure 33 - Modification du terrain dévoiement (Droite état actuel, gauche état projet)

4.1.1.3. Rehaussement de la RD216

Dans la continuité de l'élargissement de la RD216, il est prévu de rehausser la route. En effet, la route actuelle présente des points bas qui conduisent à des débordements des crues sur la route.

Le profil en long ci-dessous présente le rehaussement défini par le conseil départemental :

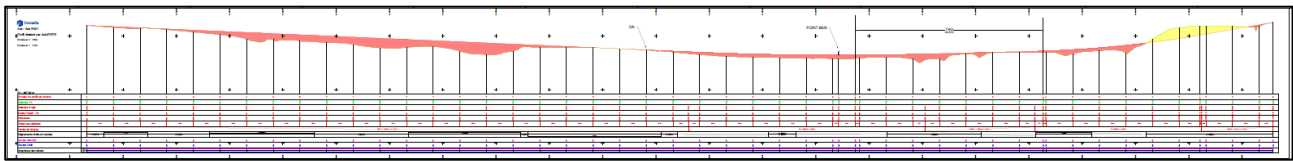


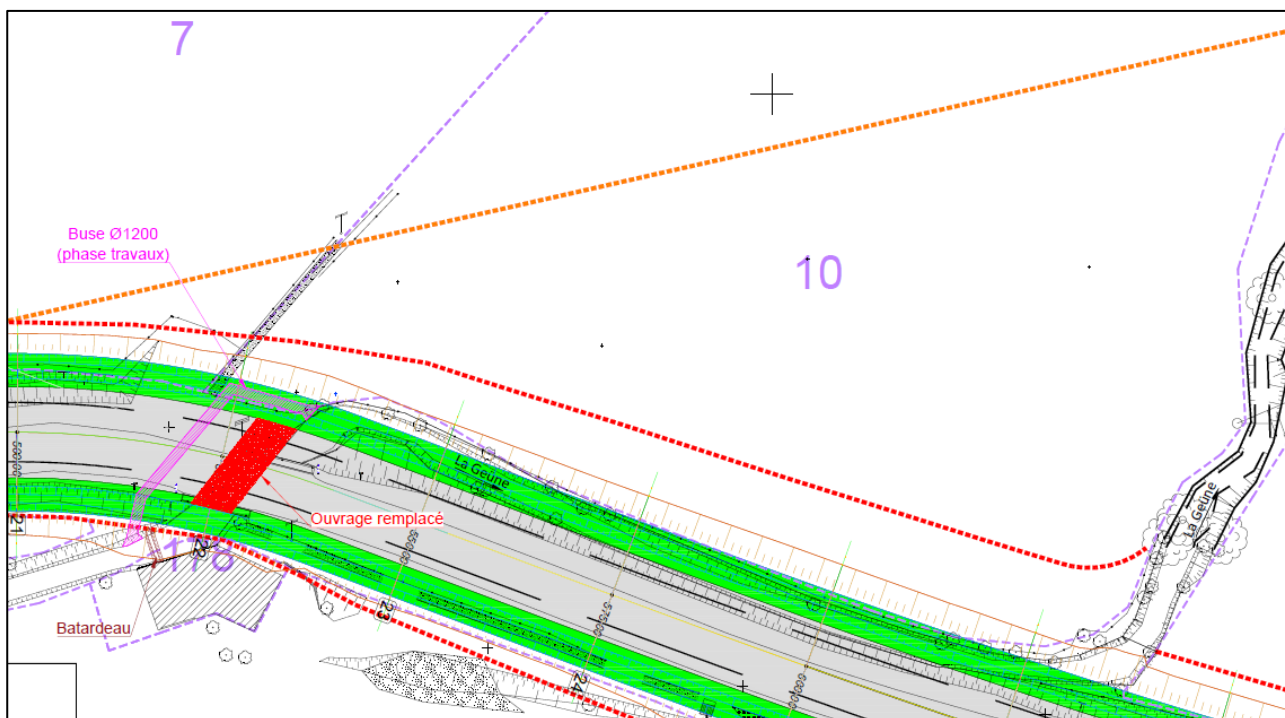
Figure 34 - Profil en long projet - CD65

Le rehaussement a été modélisé dans le cadre du projet.

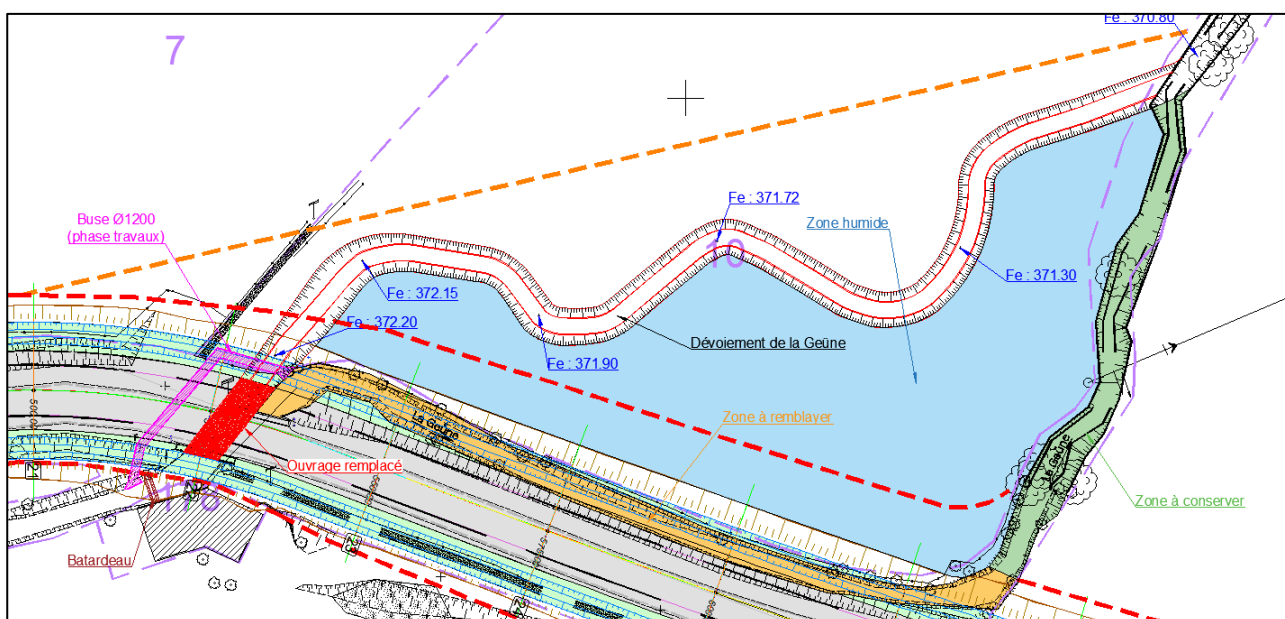
4.1.1.4. Phasage travaux

Les travaux de remplacement de l'ouvrage et du dévoiement de la Geüne sont prévus comme ceci :

- Fermeture de la RD216 pour 3 mois en avril 2027
- Mise en place d'une déviation du cours d'eau avec une buse Ø1200 mm de l'amont de l'ouvrage vers la Geüne actuel à l'aval de la RD216
- La capacité hydraulique de 3,6 m³/s correspondant à une crue annuelle
- Mise en place d'un batardeau en amont de l'ouvrage pour raccord du lit à la buse
- Démolition hors d'eau de l'ouvrage existant
- Pose hors d'eau du nouveau pont cadre
- Maintien de la déviation du cours d'eau



- Travaux sur l'hôpital
- Travaux de préparation du futur lit de la Geune pour reméandrage en été/automne 2027
- Levée du batardeau et raccordement de la Geune avec son nouveau lit
- Levée de la buse Ø1200 mm
- Elargissement de la plateforme de la RD216 notamment sur l'ancien lit de la Geune



4.1.2. Remblai

[illegible]

Afin de s'assurer que la nouvelle topographie n'impacte pas les zones inondables, le remblaiement a été intégré au terrain de la modélisation en état projet.

Les figures ci-dessous présentent le terrain de la modélisation en état actuel et en état projet.

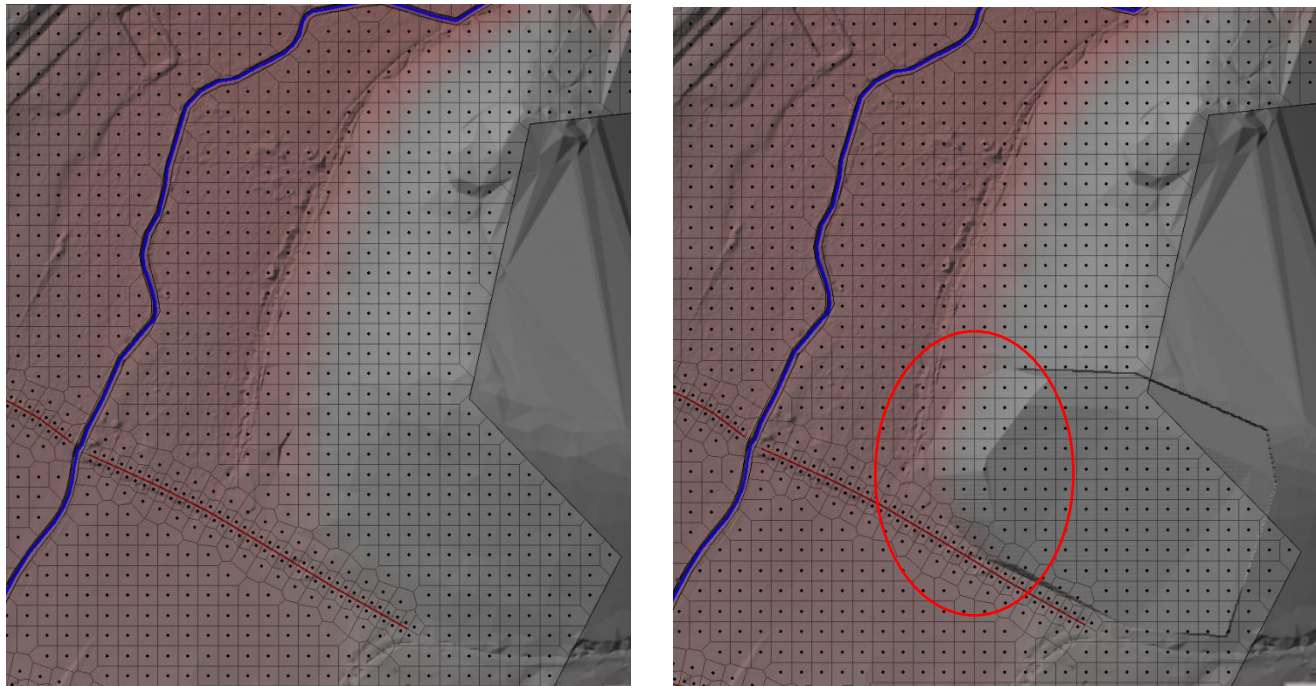


Figure 36 - Modification du terrain remblai (Droite état actuel, gauche état projet)

4.2. RESULTATS ETAT PROJET

4.2.1. Q2

4.2.1.1. Impact sur l'emprise inondée

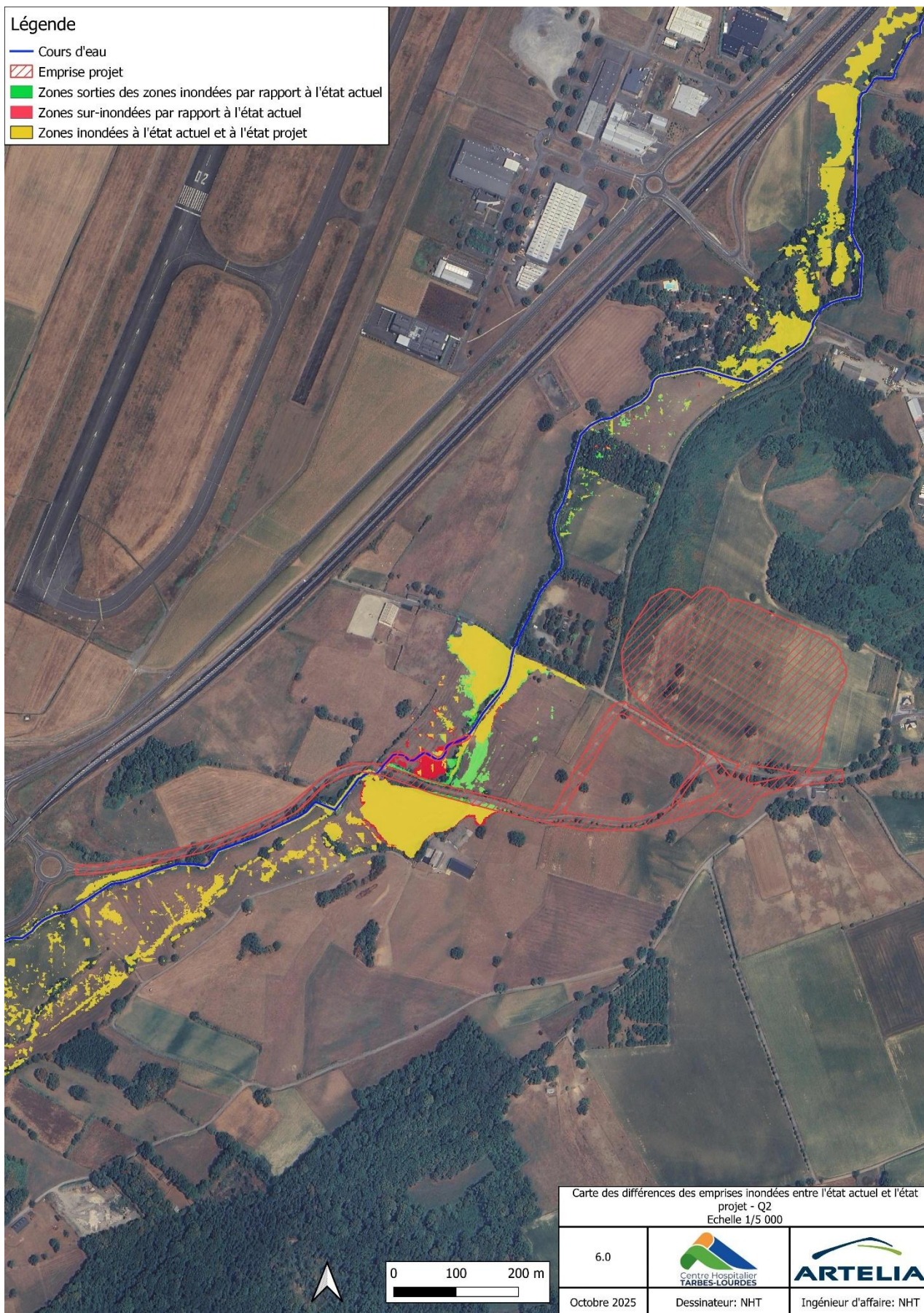
On observe une modification de l'emprise inondée en phase projet.

En effet, la route étant réhaussée et les ouvrages de traversé supprimé, l'emprise inondée en état actuel à l'aval de la route n'est plus inondée (zone en vert). Le débit qui ne déborde plus sous la route passe par l'ouvrage hydraulique. Ainsi, le débit dans le dévoiement est plus important est déborde au droit de l'aménagement (zone en rouge).

Toutefois, l'impact reste assez faible car l'ouvrage de traversé de la Rue de las Carreres a aussi un effet d'écèlement et limite le débit à l'aval. Ainsi, l'impact reste concentré entre la RD216 et la Rue de las Carreres.

Légende

- Cours d'eau
- Emprise projet
- Zones sorties des zones inondées par rapport à l'état actuel
- Zones sur-inondées par rapport à l'état actuel
- Zones inondées à l'état actuel et à l'état projet



Carte des différences des emprises inondées entre l'état actuel et l'état projet - Q2
Echelle 1/5 000

6.0	 Centre Hospitalier TARBES-LOURDES	 ARTELIA
Octobre 2025	Dessinateur: NHT	Ingénieur d'affaire: NHT

4.2.1.2. Impact sur les niveaux d'eau

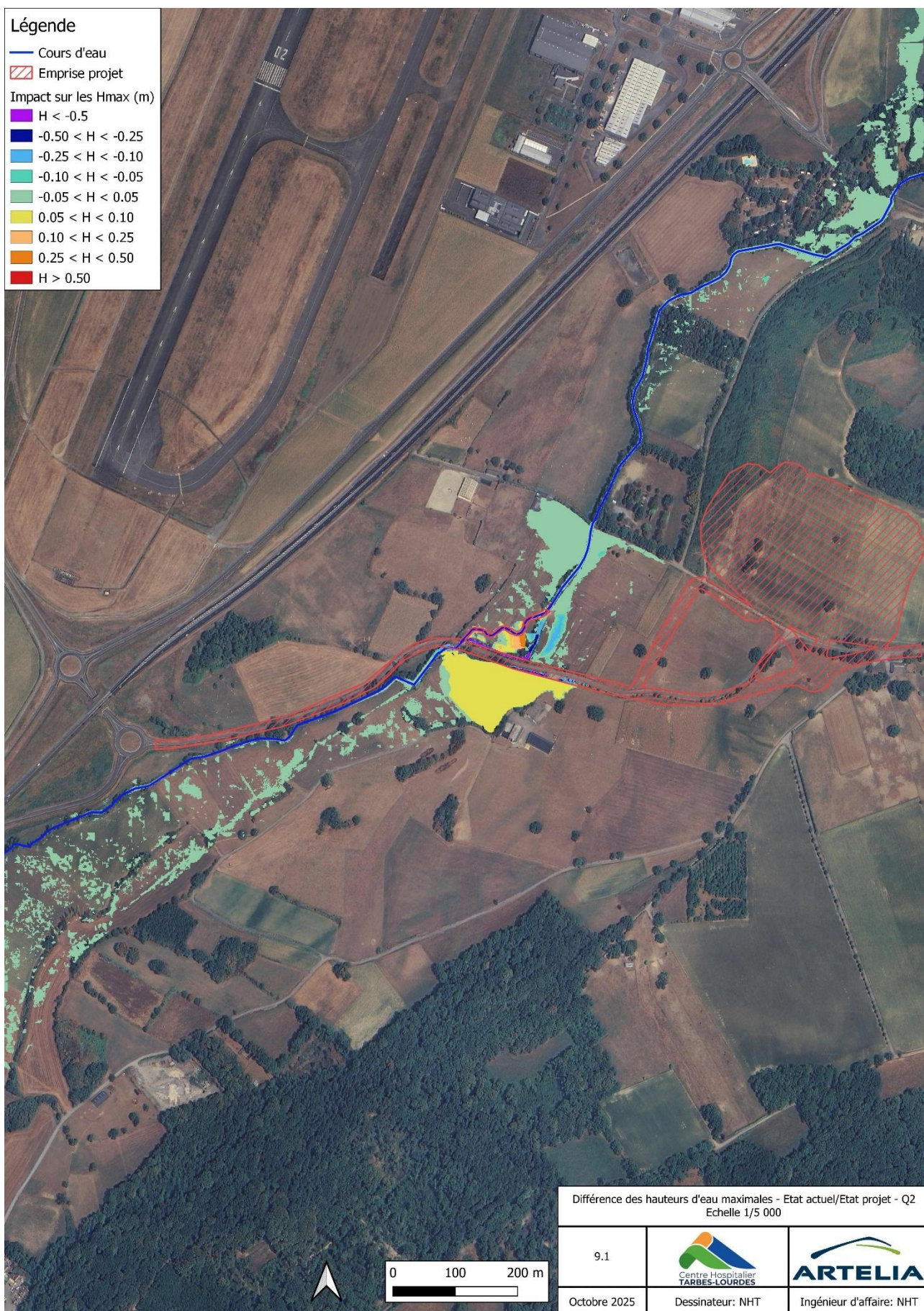
Les résultats des impacts sur les hauteurs d'eau montrent des différences pour la Q2.

Le rehaussement de la route implique l'augmentation de la hauteur d'eau en amont de la RD216 ainsi que la suppression des ouvrages de traversé. La hauteur d'eau augmente d'environ 5cm.

Des différences de hauteurs se localisent à l'aval de la RD216, ainsi l'emprise inondée en état actuel à l'aval de la route n'est plus inondée. Le débit qui ne passe plus sous la route passe par l'ouvrage hydraulique. Ainsi, le débit dans le dévoiement est plus important est déborde au droit de l'aménagement.

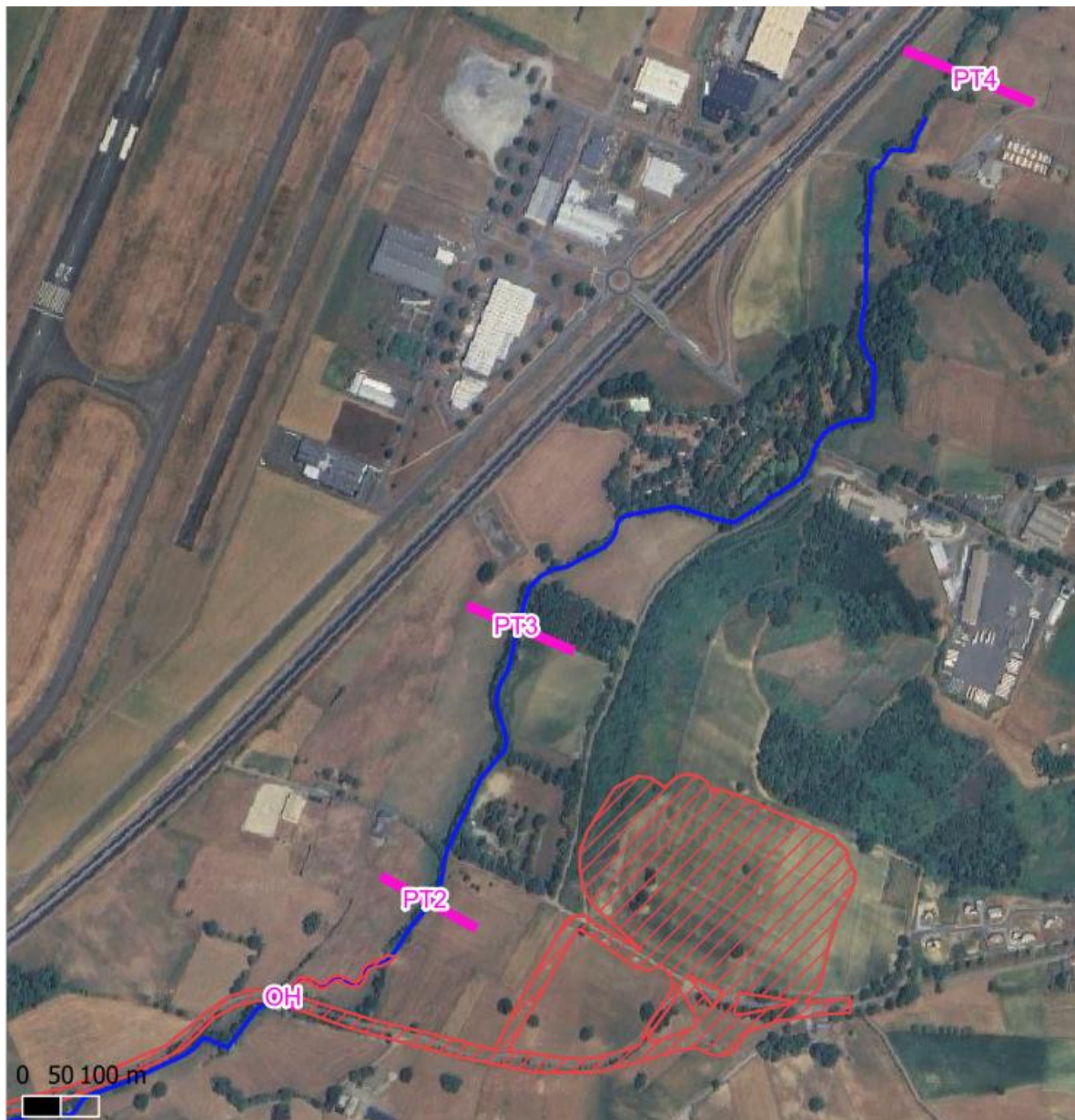
L'impact reste localisé entre la RD216 et la Rue de las Carreres.

Les cartes ci-après indiquent l'impact du projet sur les niveaux d'eaux.



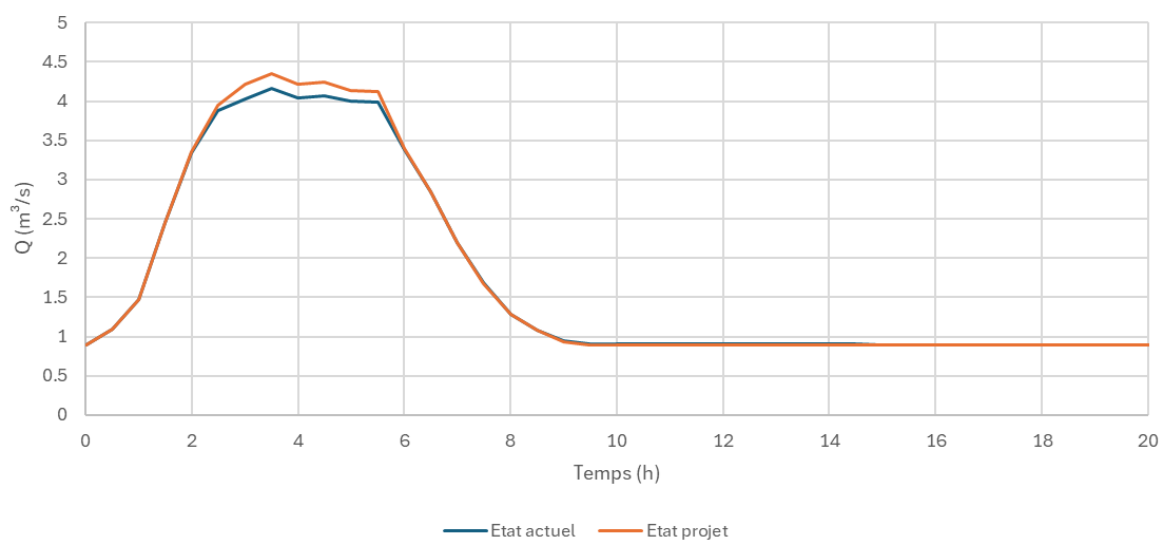
4.2.1.3. Hydrogrammes

Outre les hauteurs, les hydrogrammes actuels et projets ont été comparés à différentes localisations de la Geüne. Les hydrogrammes sont localisés sur la figure ci-dessous.

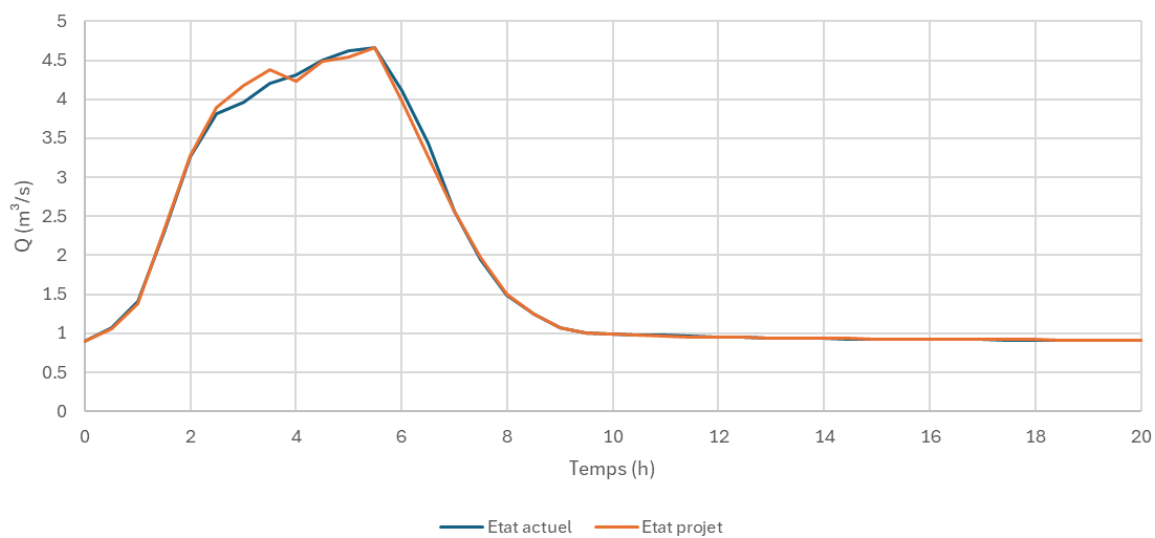


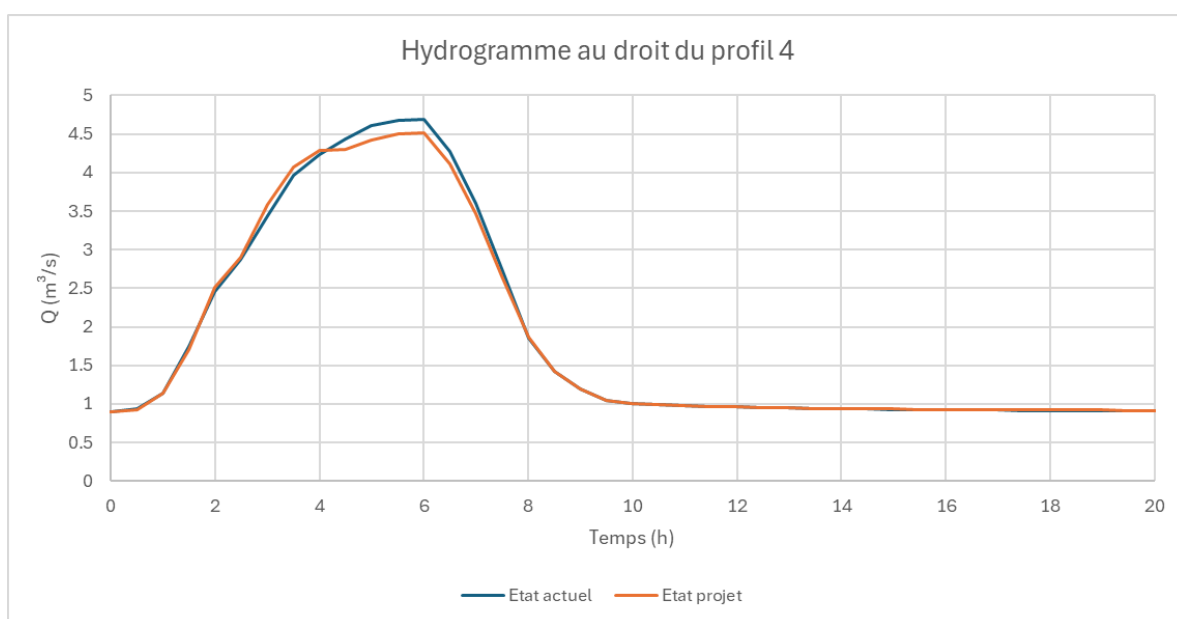
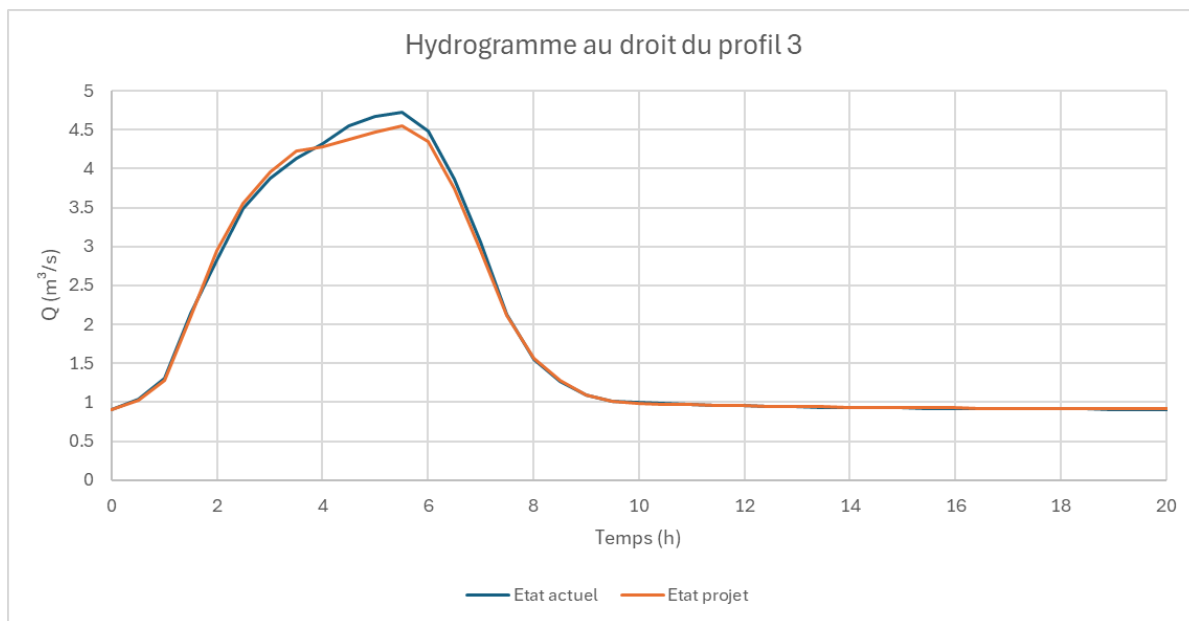
Les hydrogramme sont présentés ci-dessous.

Hydrogramme au droit de l'ouvrage de la RD216



Hydrogramme au droit du profil 2





On remarque une petite différence entre l'état actuel et l'état projet au niveau de l'ouvrage. En effet, le débit augmente dans l'ouvrage et donc dans le dévoiement de la Geüne car la route est réhaussée et que les ouvrages de traversés sont supprimés. Cependant, cette différence reste faible, sans enjeux pour la zone.

Puis, au droit des profils 2, 3 et 4, l'hydrogramme est quasi identique. Le projet (dévoiement, rehaussement et le remblai) ne modifie pas les conditions d'écoulement du secteur. En effet, entre le profil 2 et le profil 3, la rue de las Carreres et son ouvrage hydraulique limitent le débit à l'aval et ainsi, les hydrogrammes sont identiques.

4.2.2. Q5

4.2.2.1. Impact sur l'emprise inondée

On observe une modification de l'emprise inondée en phase projet.

En effet, la route étant réhaussée, il n'y a plus de débordement, ainsi l'emprise inondée à l'aval de la route n'est plus inondée (zone en vert). Le débit qui ne déborde plus sur la route passe par l'ouvrage hydraulique. Ainsi, le débit dans le dévoiement est plus important est déborde au droit de l'aménagement (zone en rouge).

Toutefois, l'impact reste assez faible car l'ouvrage de traversé de la Rue de las Carreres a aussi un effet d'écèlement et limite le débit à l'aval. Ainsi, l'impact reste concentré entre la RD216 et la Rue de las Carreres.

Légende

- Cours d'eau
- Emprise projet
- Zones sorties des zones inondées par rapport à l'état actuel
- Zones sur-inondées par rapport à l'état actuel
- Zones inondées à l'état actuel et à l'état projet



Carte des différences des emprises inondées entre l'état actuel et l'état projet - Q5
Echelle 1/5 000

5.0



Octobre 2025

Dessinateur: NHT

Ingénieur d'affaire: NHT

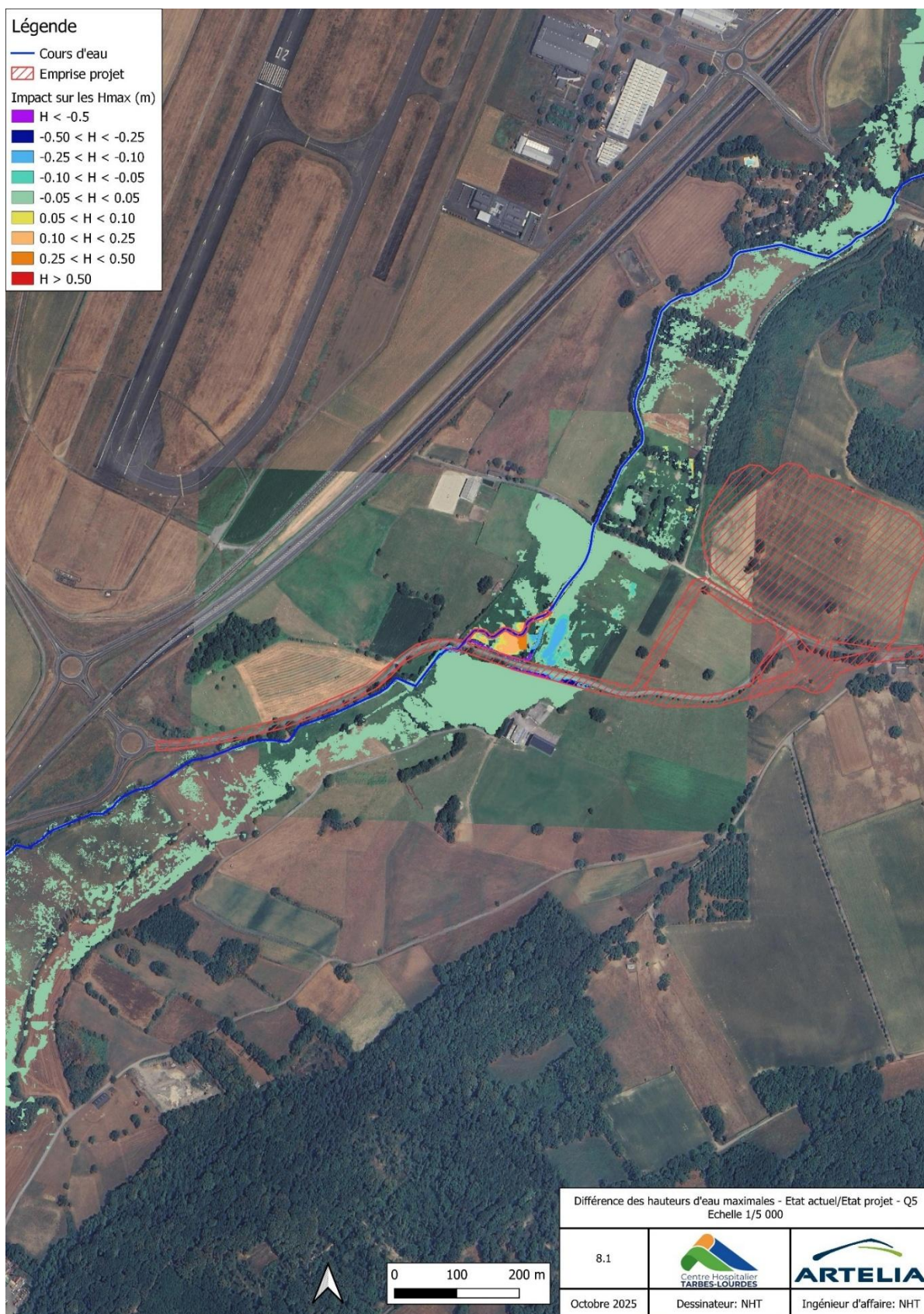
4.2.2.2. Impact sur les niveaux d'eau

Les résultats des impacts sur les hauteurs d'eau montrent des différences négligeables pour la Q5.

Les plus grandes différences de hauteurs se localisent à l'aval de la RD216. En effet, la route étant réhaussée, il n'y a plus de débordement, ainsi l'emprise inondée en état actuel à l'aval de la route n'est plus inondée. Le débit qui ne déborde plus sur la route passe par l'ouvrage hydraulique. Ainsi, le débit dans le dévoiement est plus important est déborde au droit de l'aménagement.

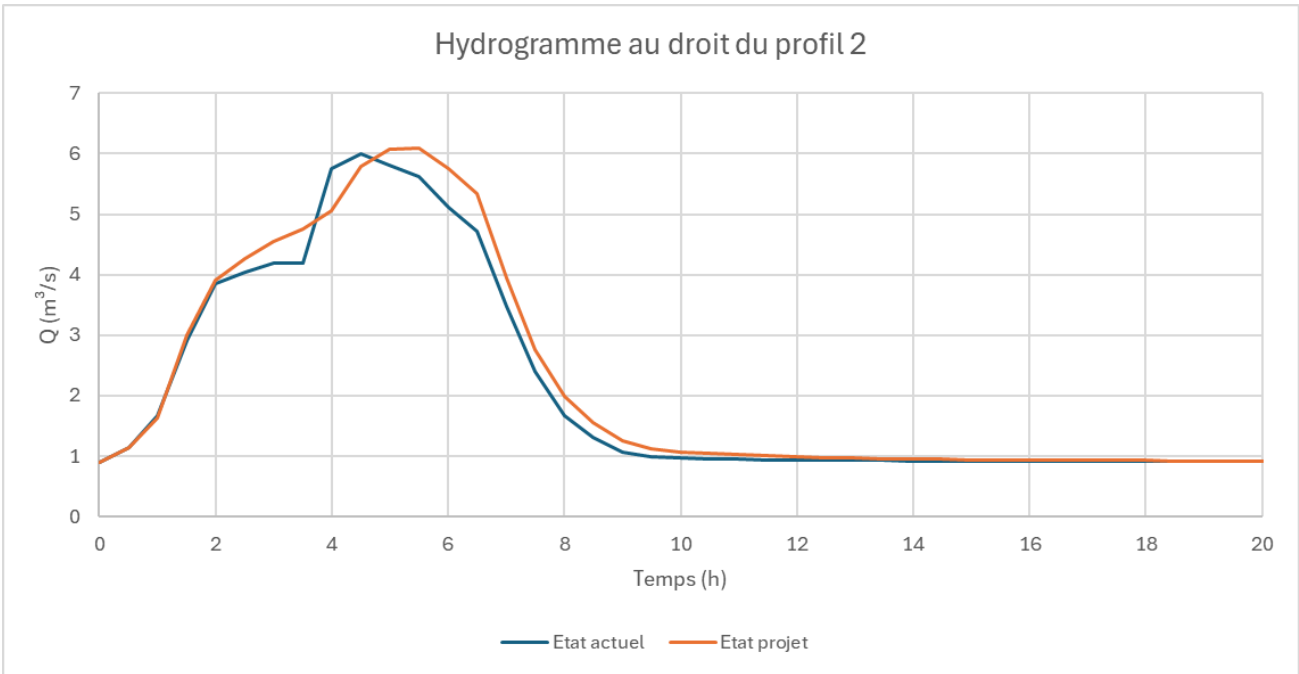
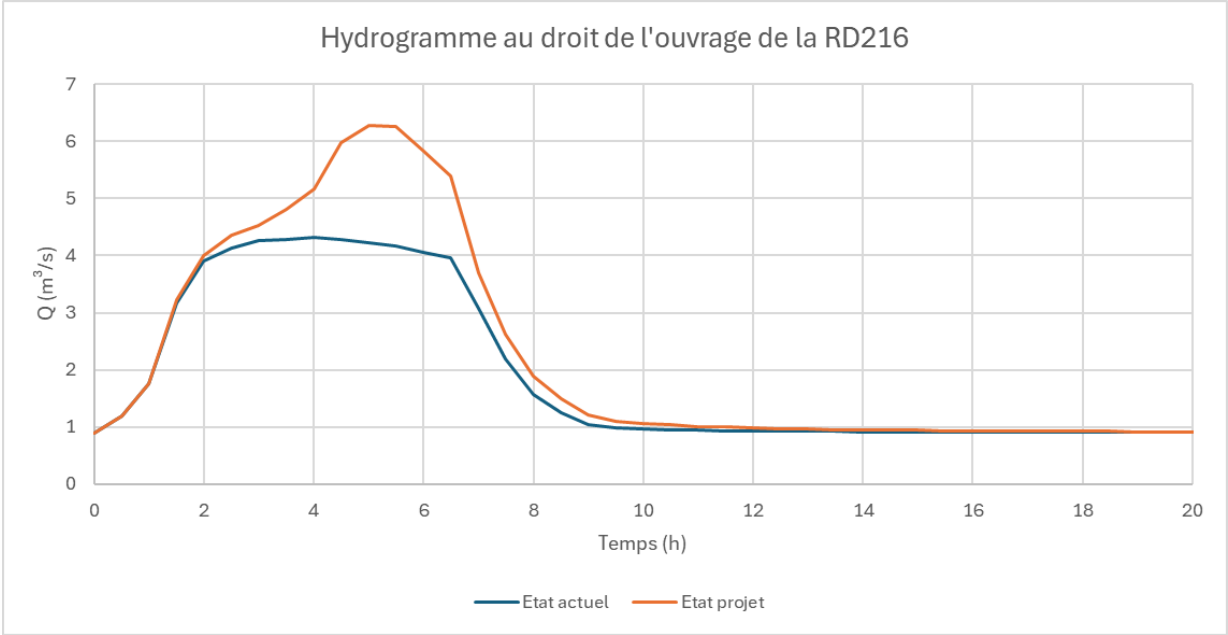
L'impact reste localisé entre la RD216 et la Rue de las Carreres.

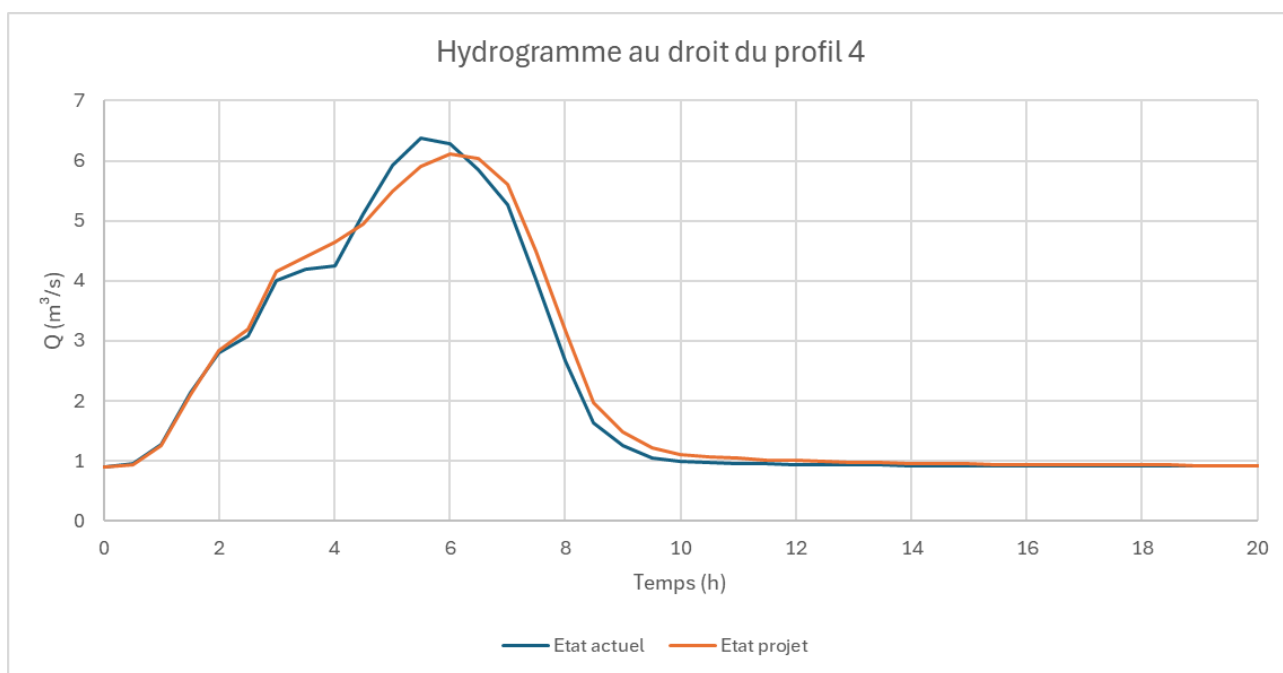
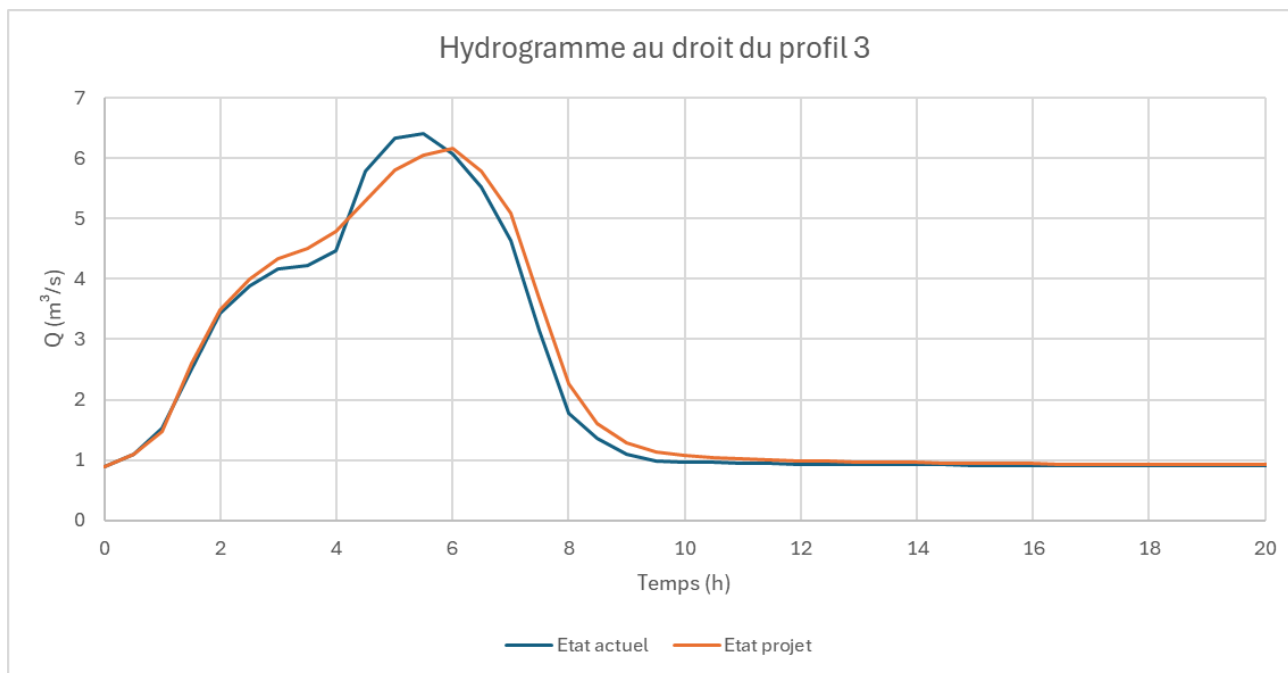
Les cartes ci-après indiquent l'impact du projet sur les niveaux d'eaux.



4.2.2.3. Hydrogrammes

Outre les hauteurs, les hydrogrammes actuels et projets ont été comparés à différentes localisations de la Geüne. Les hydrogramme sont présentés ci-dessous.





On remarque une petite différence entre l'état actuel et l'état projet au niveau de l'ouvrage. En effet, le débit augmente dans l'ouvrage et donc dans le dévoiement de la Geüne car la route est réhaussée. Le débit qui débordait avant passe maintenant par l'ouvrage hydraulique.

Puis, au droit des profils 2, 3 et 4, l'hydrogramme est quasi identique. Le projet (dévoisement, rehaussement et le remblai) ne modifie pas les conditions d'écoulement du secteur. En effet, entre le profil 2 et le profil 3, la rue de las Carreres et son ouvrage hydraulique limitent le débit à l'aval et ainsi, les hydrogrammes sont identiques.

4.2.3. Q100

4.2.3.1. Impact sur l'emprise inondée

On observe une modification de l'emprise inondée en phase projet.

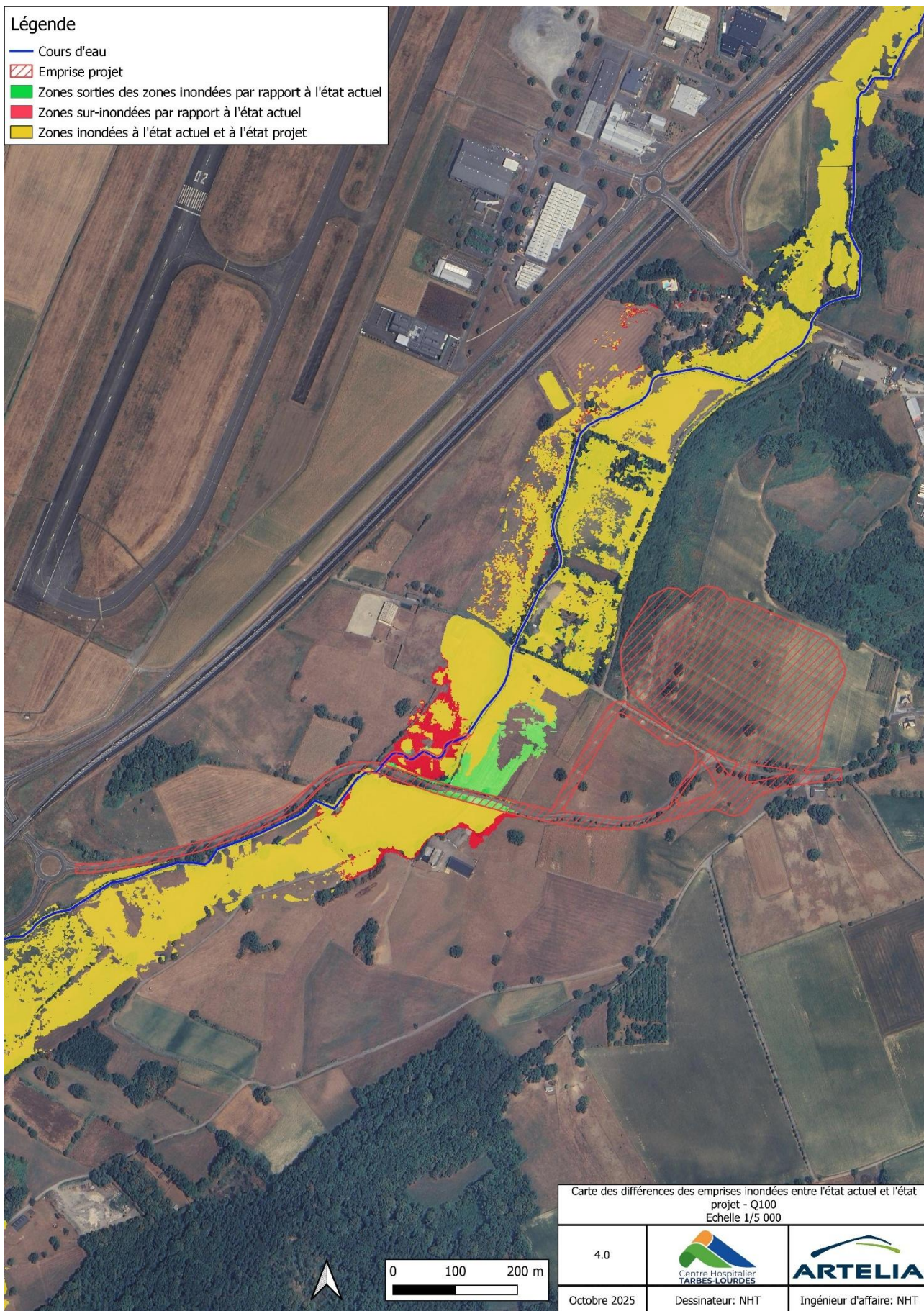
En effet, la route étant réhaussée, il n'y a plus de débordement, ainsi l'emprise inondée en état actuel à l'aval de la route n'est plus inondée (zone en vert). Le débit qui ne déborde plus sur la route passe par l'ouvrage hydraulique. Ainsi, le débit dans le dévoiement est plus important est déborde au droit de l'aménagement (zone en rouge).

De plus, la route étant réhaussée, les hauteurs d'eau augmentent en amont de la RD2161 et l'emprise aussi.

Toutefois, l'impact reste assez faible car l'ouvrage de traversé de la Rue de las Carreres a aussi un effet d'écrêtement et limite le débit à l'aval. Ainsi, l'impact reste concentré entre la RD216 et la Rue de las Carreres.

Légende

-  Cours d'eau
-  Emprise projet
-  Zones sorties des zones inondées par rapport à l'état actuel
-  Zones sur-inondées par rapport à l'état actuel
-  Zones inondées à l'état actuel et à l'état projet



Carte des différences des emprises inondées entre l'état actuel et l'état
projet - Q100
Echelle 1/5 000

4.0



Octobre 2025

Dessinateur: NHT

Ingénieur d'affaire: NHT

4.2.3.2. Impact sur les niveaux d'eau

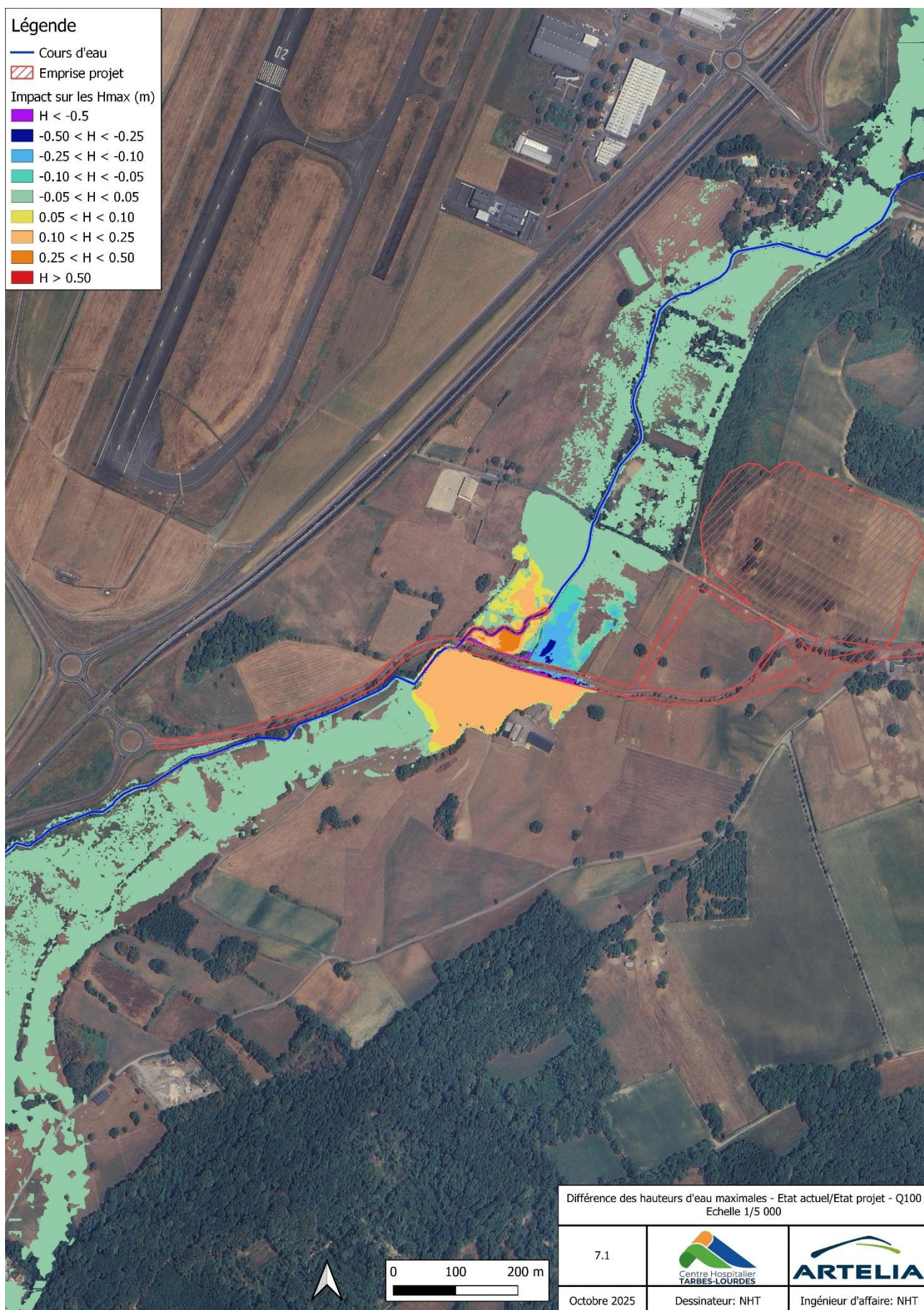
Les résultats des impacts sur les hauteurs d'eau montrent des différences notables pour la Q100.

Le rehaussement de la route implique l'augmentation de la hauteur d'eau en amont de la RD216. La hauteur d'eau augmente d'environ 25cm.

Des différences de hauteurs se localisent à l'aval de la RD216. En effet, la route étant réhaussée, il n'y a plus de débordement, ainsi l'emprise inondée en état actuel à l'aval de la route n'est plus inondée. Le débit qui ne déborde plus sur la route passe par l'ouvrage hydraulique. Ainsi, le débit dans le dévoiement est plus important est déborde au droit de l'aménagement.

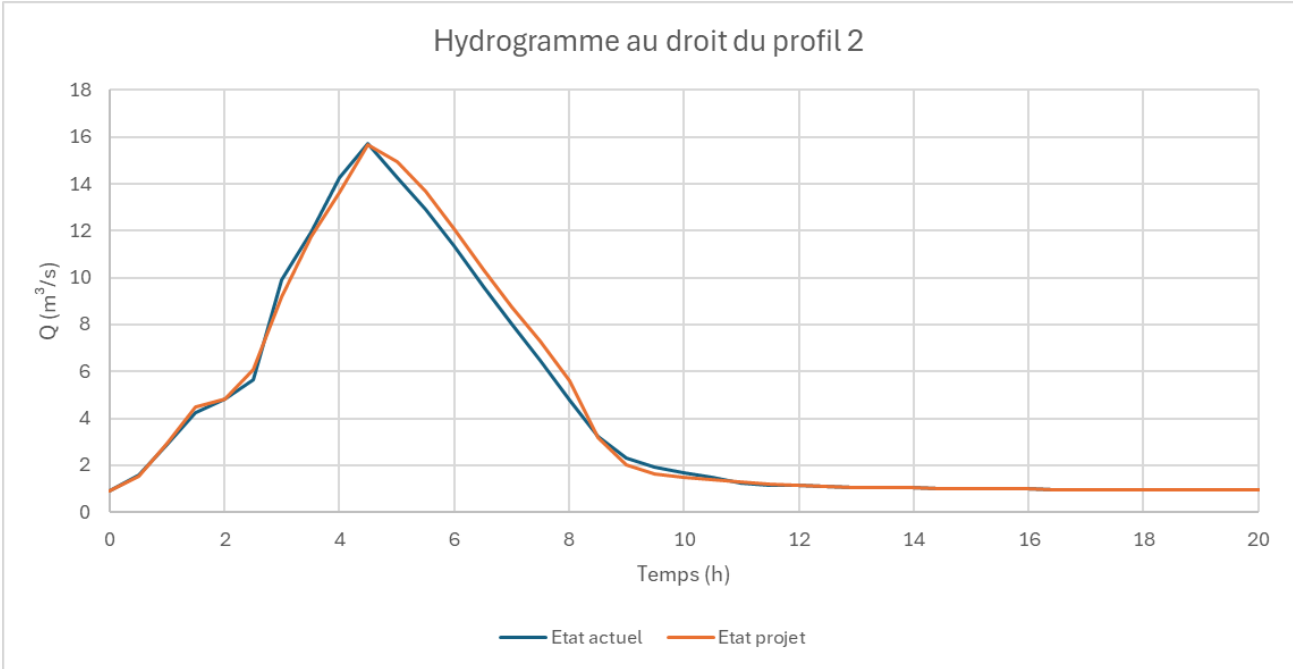
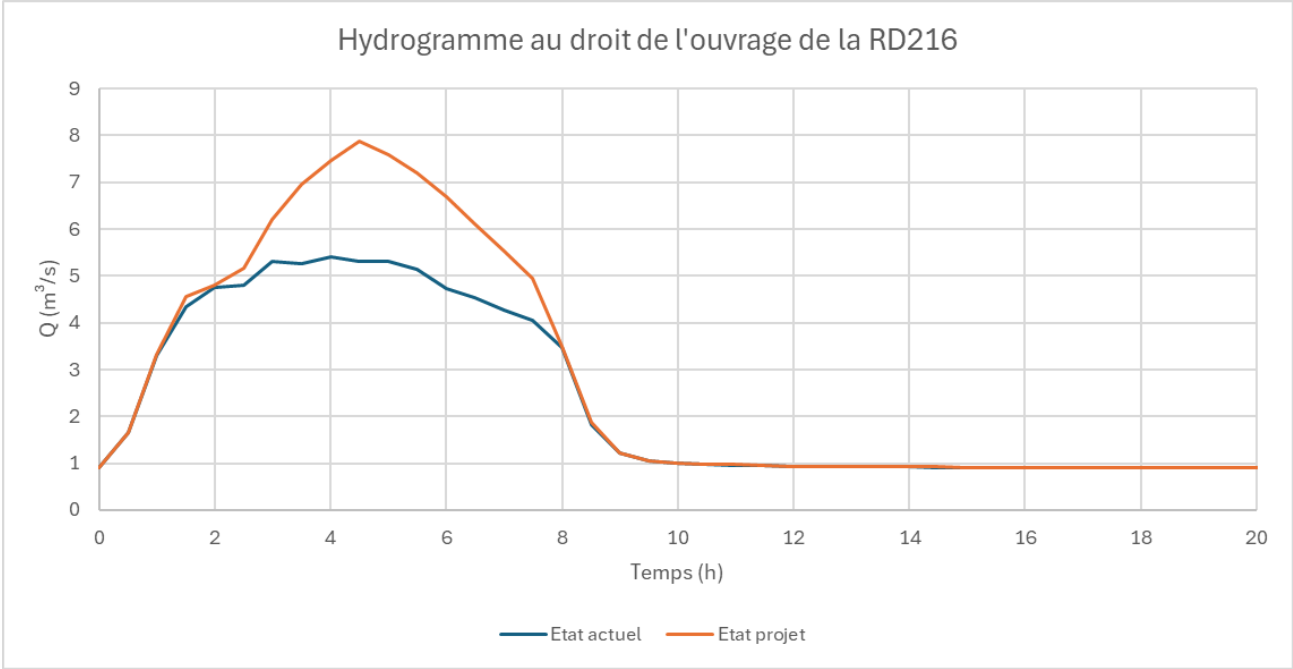
L'impact reste localisé entre la RD216 et la Rue de las Carreres.

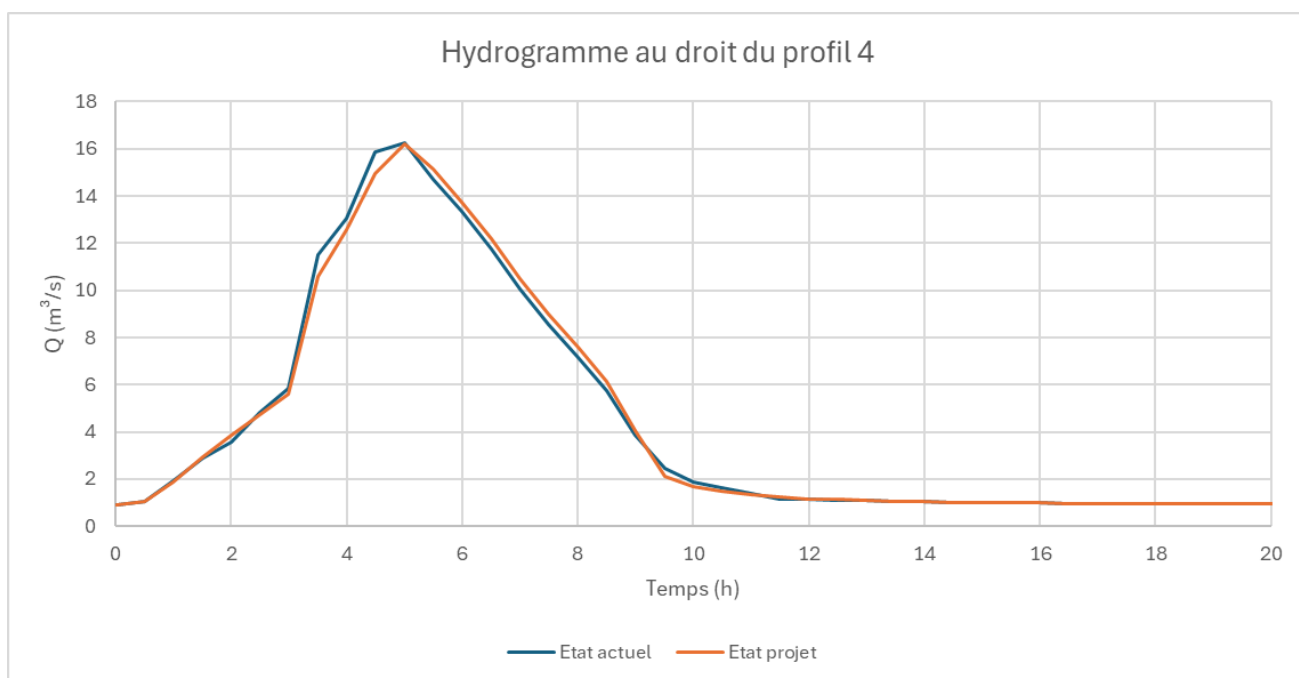
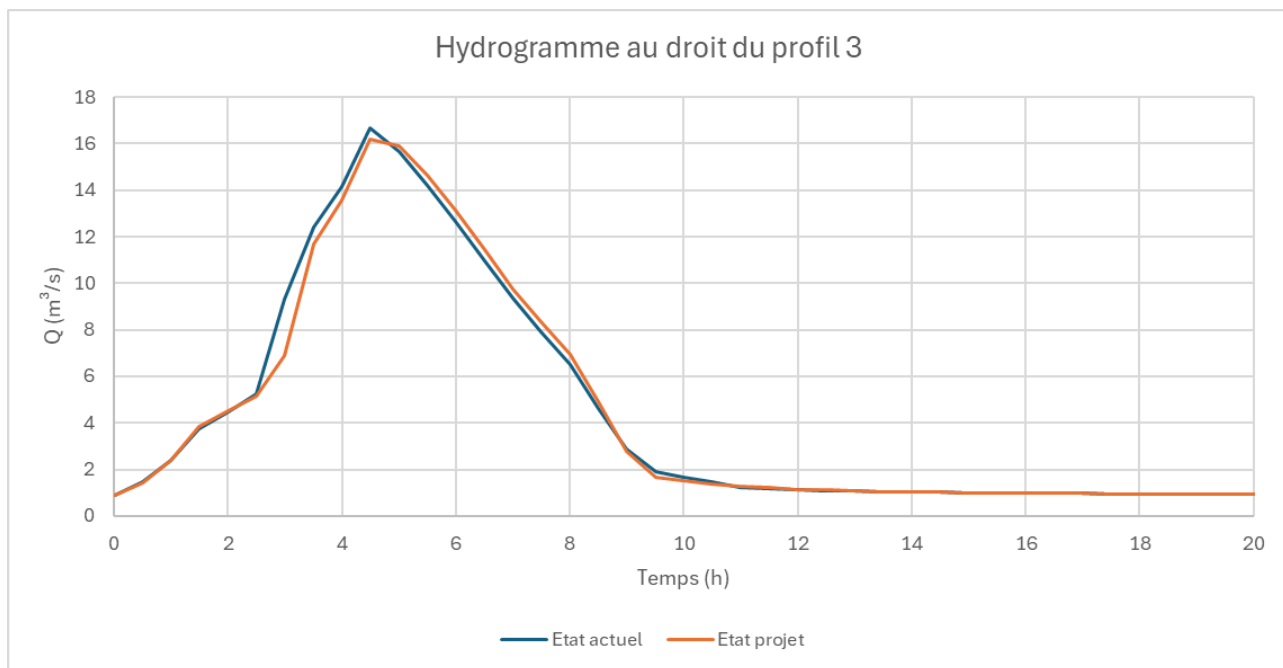
Les cartes ci-après indiquent l'impact du projet sur les niveaux d'eaux.



4.2.3.3. Hydrogrammes

Outre les hauteurs, les hydrogrammes actuels et projets ont été comparés à différentes localisations de la Geüne. Les hydrogrammes sont localisés sur la figure ci-dessous.





On remarque une petite différence entre l'état actuel et l'état projet au niveau de l'ouvrage. En effet, le débit augmente dans l'ouvrage et donc dans le dévoiement de la Geüne car la route est réhaussée. Le débit qui débordait avant passe maintenant par l'ouvrage hydraulique.

Puis, au droit des profils 2, 3 et 4, l'hydrogramme est quasi identique. Le projet (dévoisement, rehaussement et le remblai) ne modifie pas les conditions d'écoulement du secteur. En effet, entre le profil 2 et le profil 3, la rue de las Carreres et son ouvrage hydraulique limitent le débit à l'aval et ainsi, les hydrogrammes sont identiques.

4.2.4. Mise en place de transparence hydraulique

Afin de diminuer l'impact du projet sur l'emprise inondée et sur les hauteurs d'eau, il est envisagé de mettre en place une transparence hydraulique au droit de la RD216.

4.2.4.1. Projet

Dans le cadre de la réhausse de la route, deux dalots de 3 mètres de large pour 1 mètre de hauteur seront installés afin d'assurer la continuité hydraulique et de préserver les échanges naturels entre les milieux situés de part et d'autre de l'ouvrage.

Le premier dalot débouche à l'aval directement dans la zone humide, au niveau du terrain naturel. Pour protéger ce milieu sensible et éviter toute érosion localisée, un confortement du sol en blocs en saillie est mis en place. Ces blocs, disposés de manière à dissiper progressivement l'énergie des écoulements, permettent de stabiliser le pied de talus tout en maintenant l'aspect naturel du site. Leur intégration respecte la microtopographie de la zone humide et n'altère pas son fonctionnement hydraulique, ce qui garantit le maintien des conditions favorables à la biodiversité propre à ce type de milieu.

Le second dalot est orienté vers un bras de la Geüne, dans lequel il se rejette directement dans le lit mineur. À cet endroit, les aménagements visent à canaliser et ralentir le flux tout en assurant la compatibilité écologique du dispositif. Un pavage de fond en enrochement appareillé est installé, complété par des blocs en saillie jouant un rôle de brise-flux. Il peut également être constitué d'enrochements liaisonnés, soigneusement positionnés pour conserver une structure poreuse et offrir des interstices utilisables par la faune aquatique.

Une attention particulière est portée à la présence du Desman des Pyrénées, espèce protégée dont les exigences en matière d'habitats sont élevées. Les aménagements prévus, notamment les blocs en saillie et les enrochements à porosité contrôlée, visent à maintenir des zones de cache, des microtourbillons et des circulations d'eau adaptées, indispensables au déplacement et à la respiration de l'espèce.

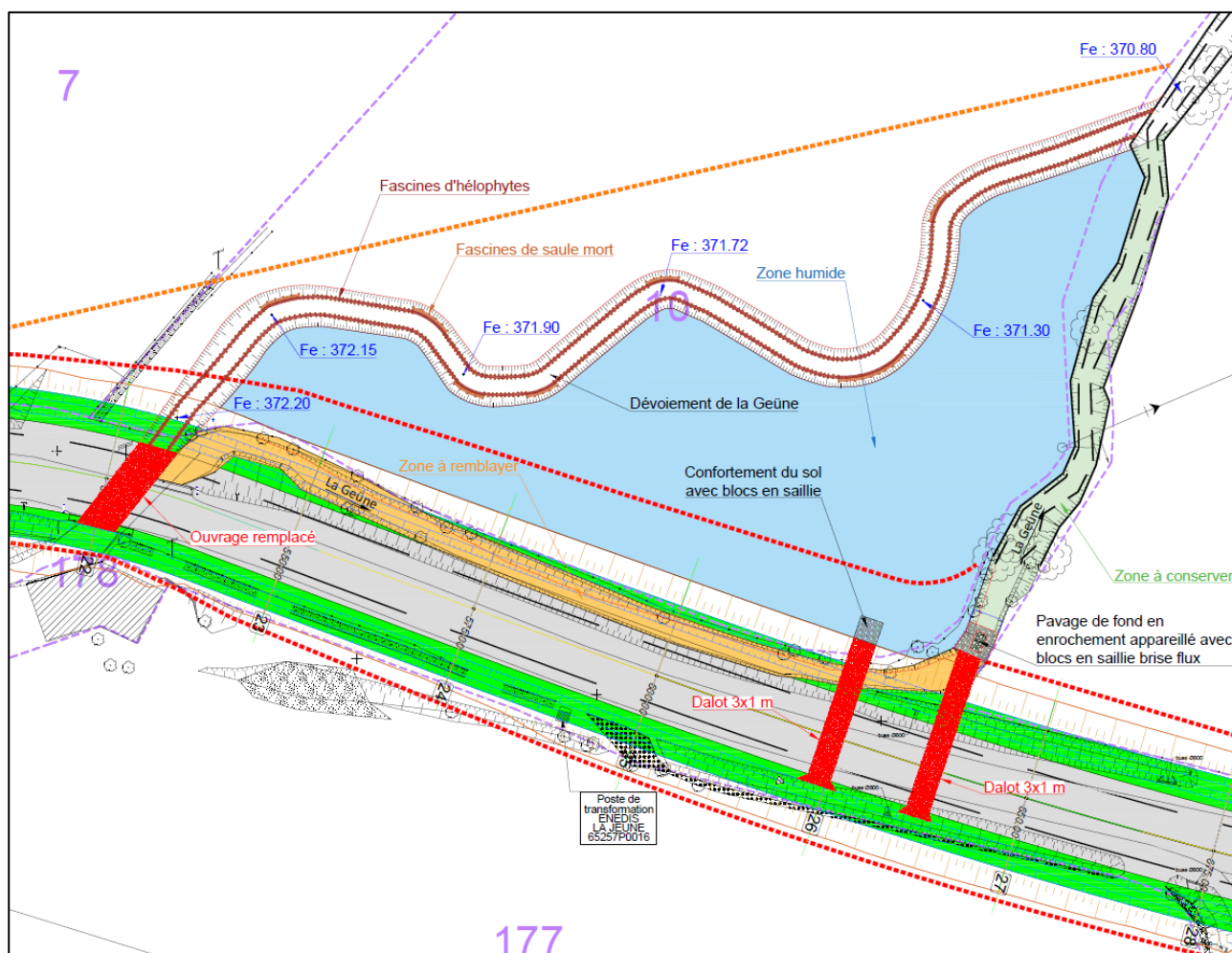


Figure 37 - Plan projet avec la transparence hydraulique

La figure ci-dessous présente le positionnement des dalots par rapport au profil en long envisagé de la RD216 :

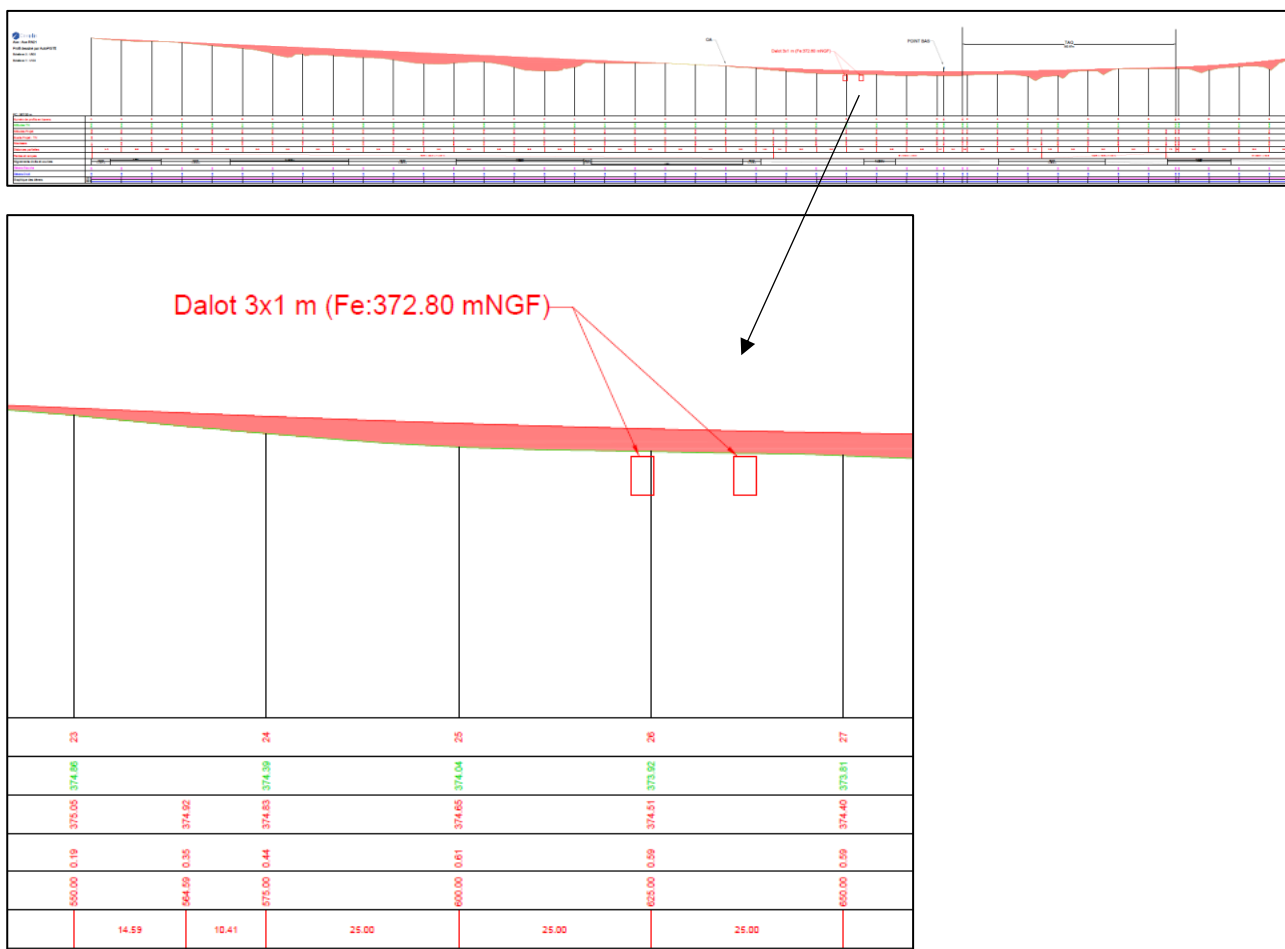


Figure 38 - Positionnement des dalots

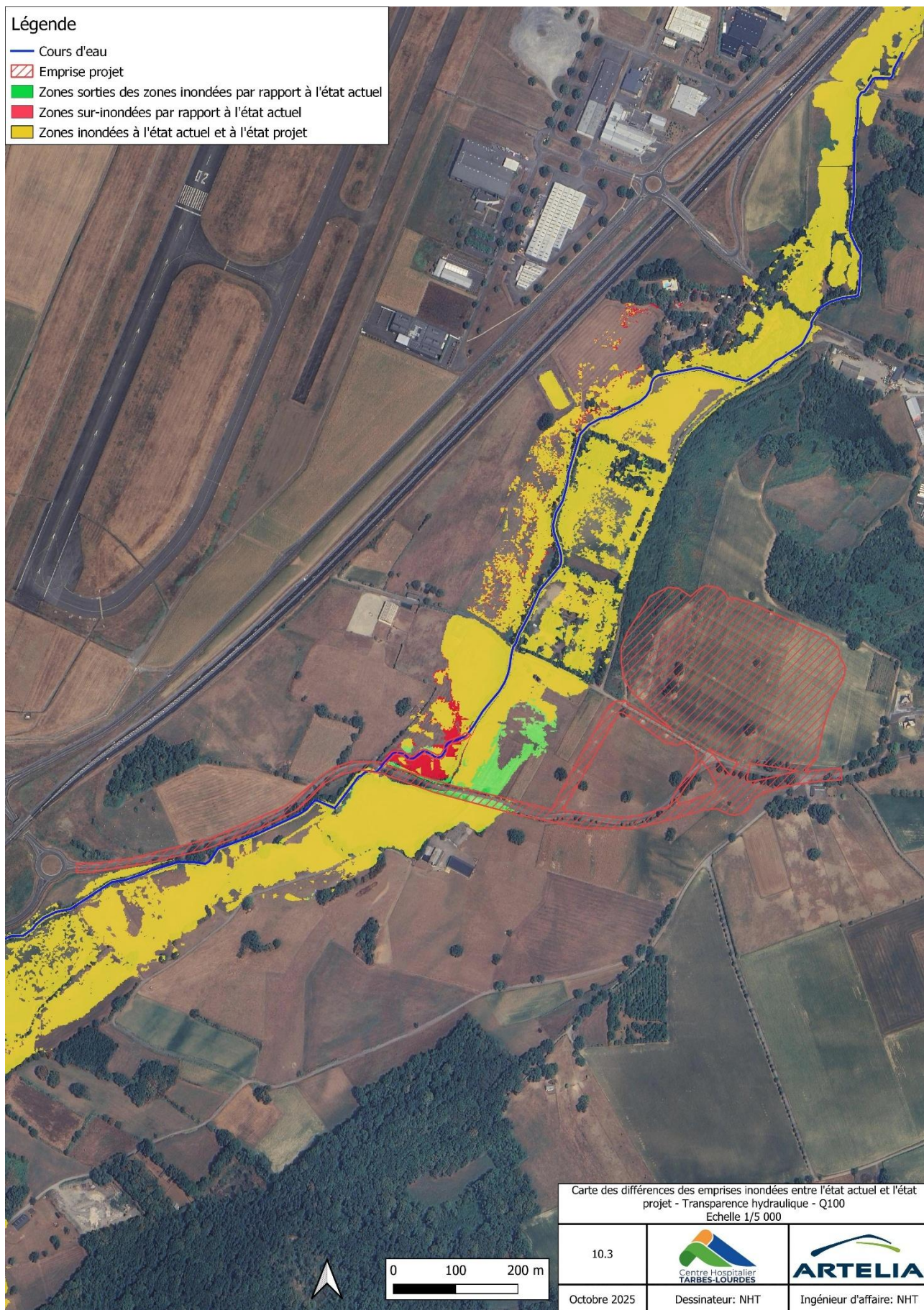
4.2.4.2. Résultats

Ces dalots permettent de faire transiter le débit de débordements dans ces ouvrages. Ainsi, l'impact sur les hauteurs d'eau en amont de la RD216 est diminué.

La cartographie ci-dessous présente l'impact sur l'emprise inondée par rapport à l'état actuel.

Légende

- Cours d'eau
- Emprise projet
- Zones sorties des zones inondées par rapport à l'état actuel
- Zones sur-inondées par rapport à l'état actuel
- Zones inondées à l'état actuel et à l'état projet



Carte des différences des emprises inondées entre l'état actuel et l'état projet - Transparence hydraulique - Q100
Echelle 1/5 000

10.3

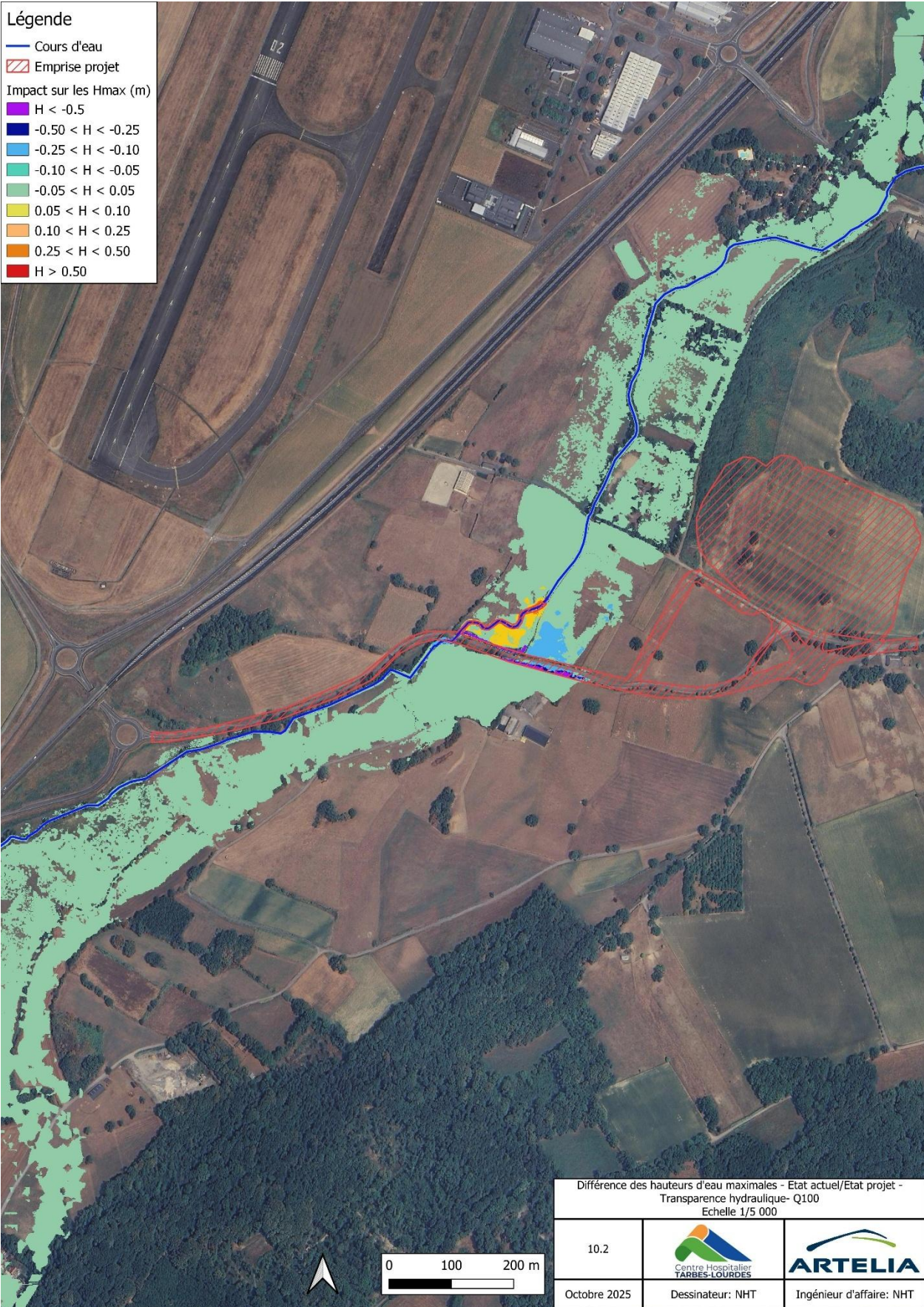


Octobre 2025

Dessinateur: NHT

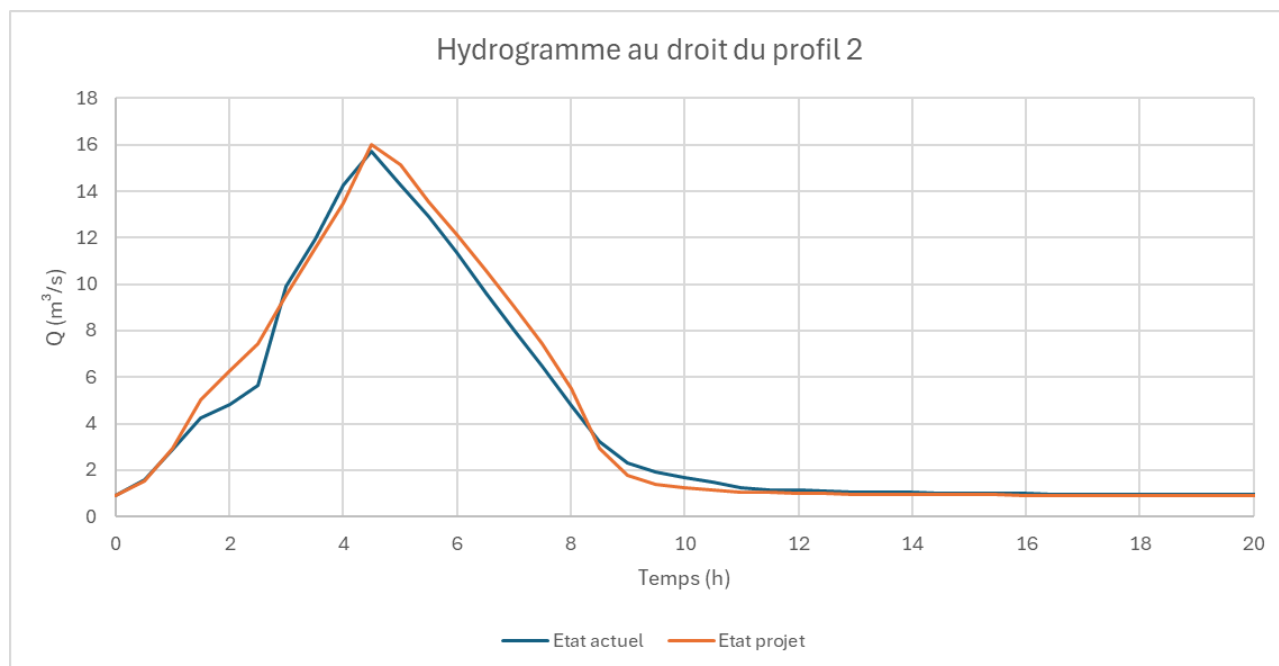
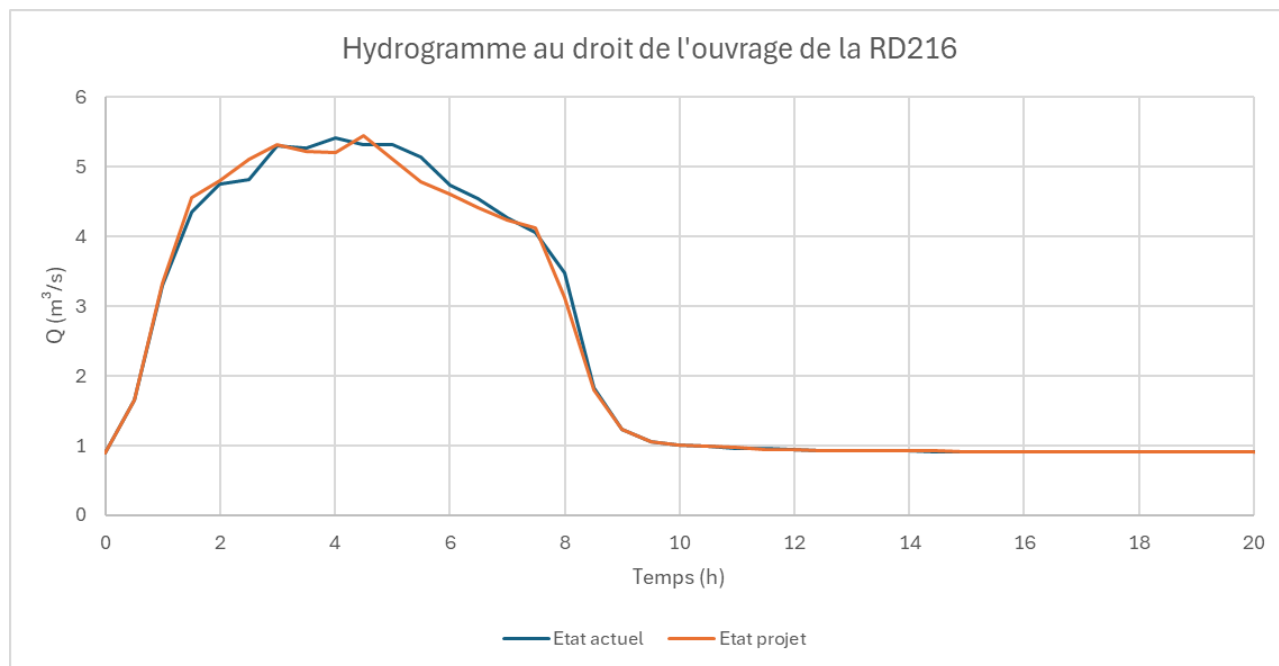
Ingénieur d'affaire: NHT

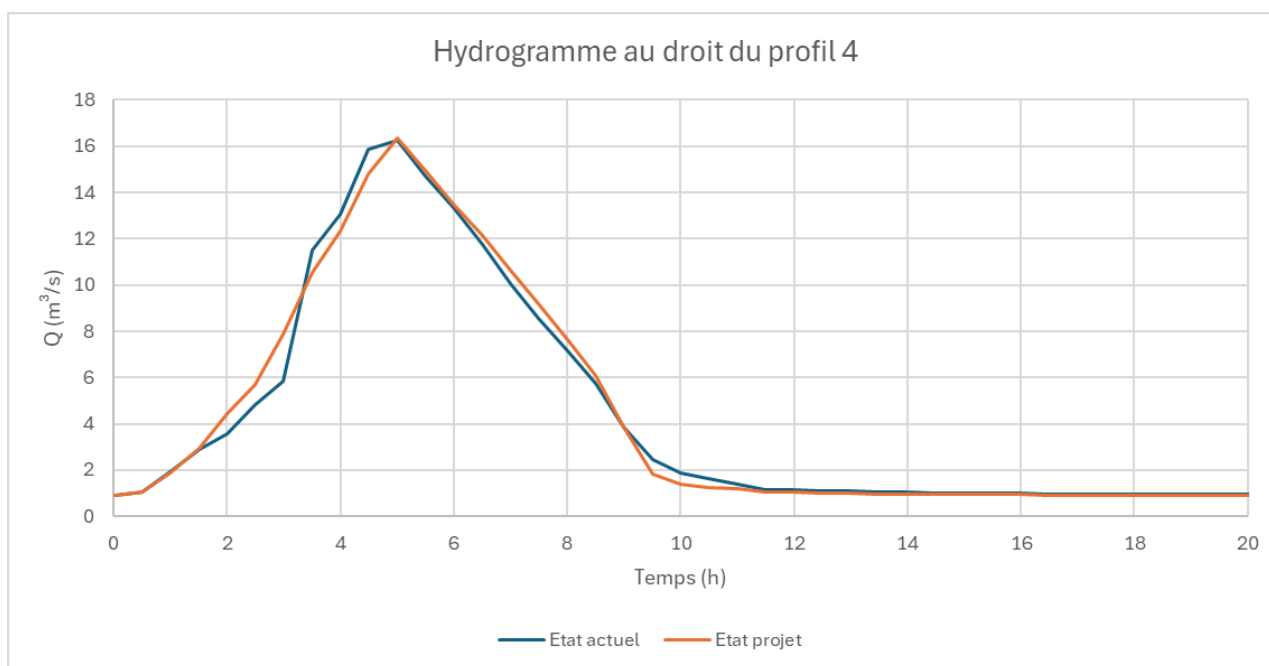
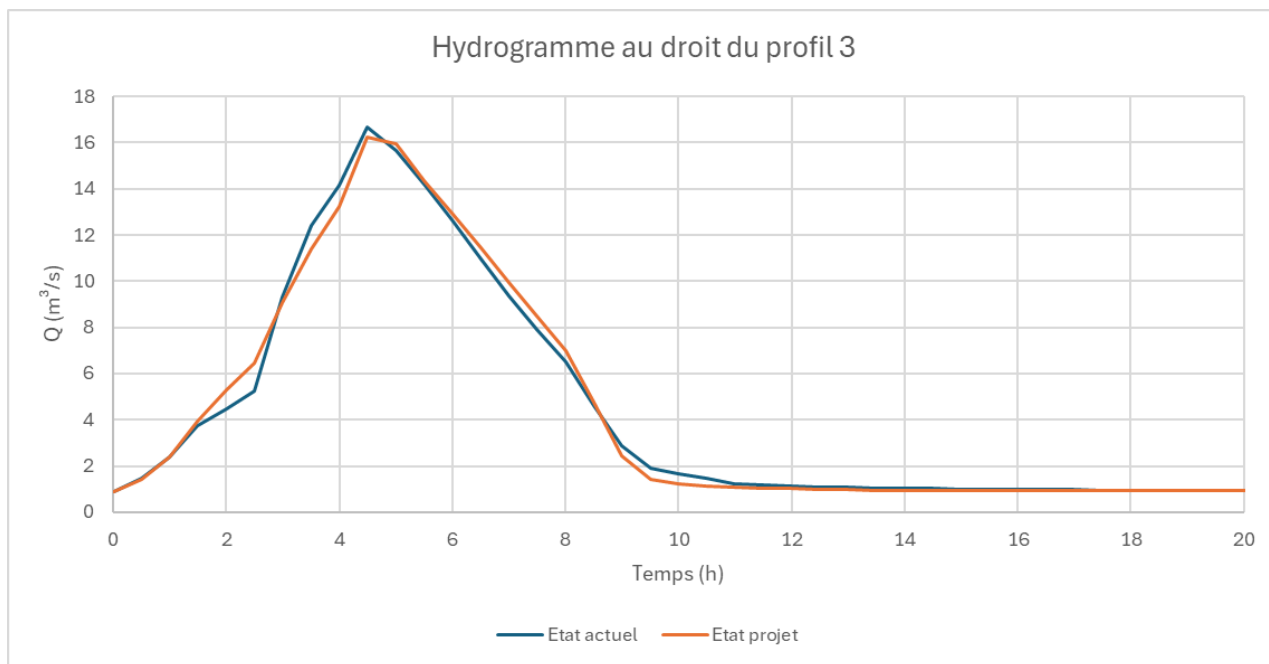
La cartographie ci-dessous présente l'impact sur les hauteurs d'eau par rapport à l'état actuel.



On remarque que l'impact est beaucoup moins important avec les ouvrages de transparence hydraulique. En effet, le projet n'a plus d'impact en amont de la RD216. L'impact est localisé à l'aval de la RD216 : il n'y a plus de débordement sur la route et la zone entre le dévoiement de la Geüne et la RD216 est inondée. Ainsi, le projet a un impact faible sur les inondations pour la crue Q100.

Outre les hauteurs, les hydrogrammes actuels et projets avec transparence hydraulique ont été comparés à différentes localisations de la Geüne.





On remarque qu'il n'y a plus de différence entre l'état actuel et l'état projet au niveau de l'ouvrage. En effet, le débit qui débordait sur la route, passe désormais par les ouvrages de transparence hydraulique. Ainsi, le débit dans l'ouvrage remplacé de la RD216 est identique au débit de l'état actuel.

Puis, au droit des profils 2, 3 et 4, l'hydrogramme est quasi identique. Le projet (dévoisement, rehaussement, la transparence hydraulique et le remblai) ne modifie pas les conditions d'écoulement du secteur.

5. CONCLUSION

Le projet de l'Hôpital de Tarbes comprend le remblaiement de la zone ainsi que l'élargissement de la RD216. L'élargissement de la RD216 conduit au remplacement de l'ouvrage de traversée de la Geüne par un ouvrage plus long, ainsi que le dévoiement du cours d'eau.

Afin de quantifier les impacts, l'état actuel a été modélisé à partir de l'étude d'inondabilité réalisé par Artelia pour le compte du SMAA en affinant le secteur d'étude pour une crue biennale, quinquennale et une crue centennale.

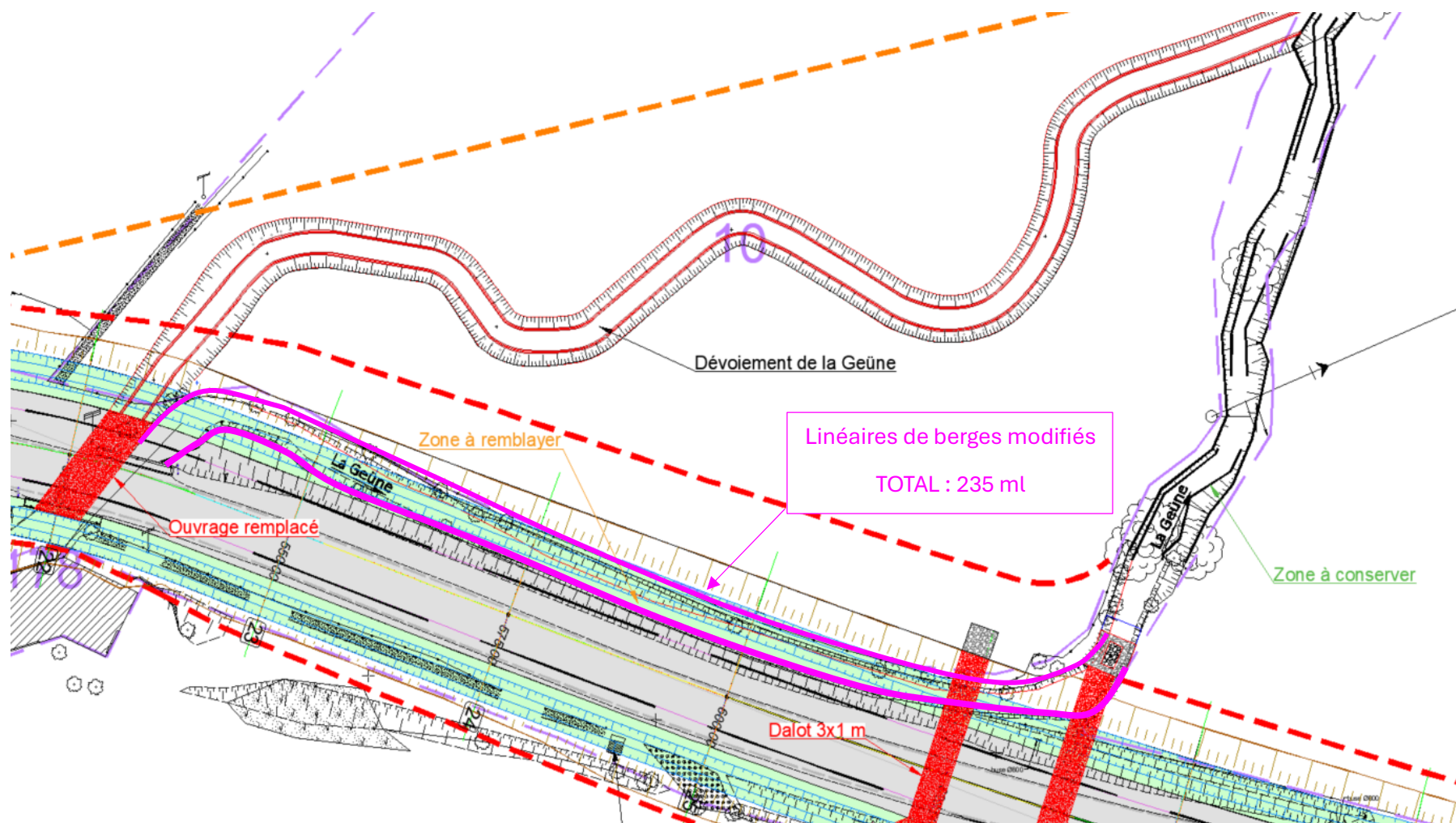
Puis, l'état projet qui comprend la modification de l'ouvrage de traversée de la RD216, le dévoiement de la Geüne ainsi que le remblaiement a été modélisée pour les mêmes crues.

La comparaison des hauteurs et vitesses maximales et des hydrogrammes a montré que l'impact est très minime pour des crues faibles (Q2 et Q5) et que le projet ne modifie pas les conditions d'écoulement.

Cependant, la modélisation de l'état projet avec la crue centennale a montré que l'impact sur les hauteurs d'eau est important en amont de la RD216.

La mise en place d'une transparence hydraulique avec des ouvrages dalots de 3m de largeur pour une hauteur de 1m a montré la diminution de l'impact du projet sur les écoulements hydrauliques. Ainsi, l'impact est très faible.

De plus, l'ouvrage de traversée de la Rue de las Carreres (en remblai) limite les écoulements à l'aval, ainsi le projet ne peut pas avoir un impact important au-delà.

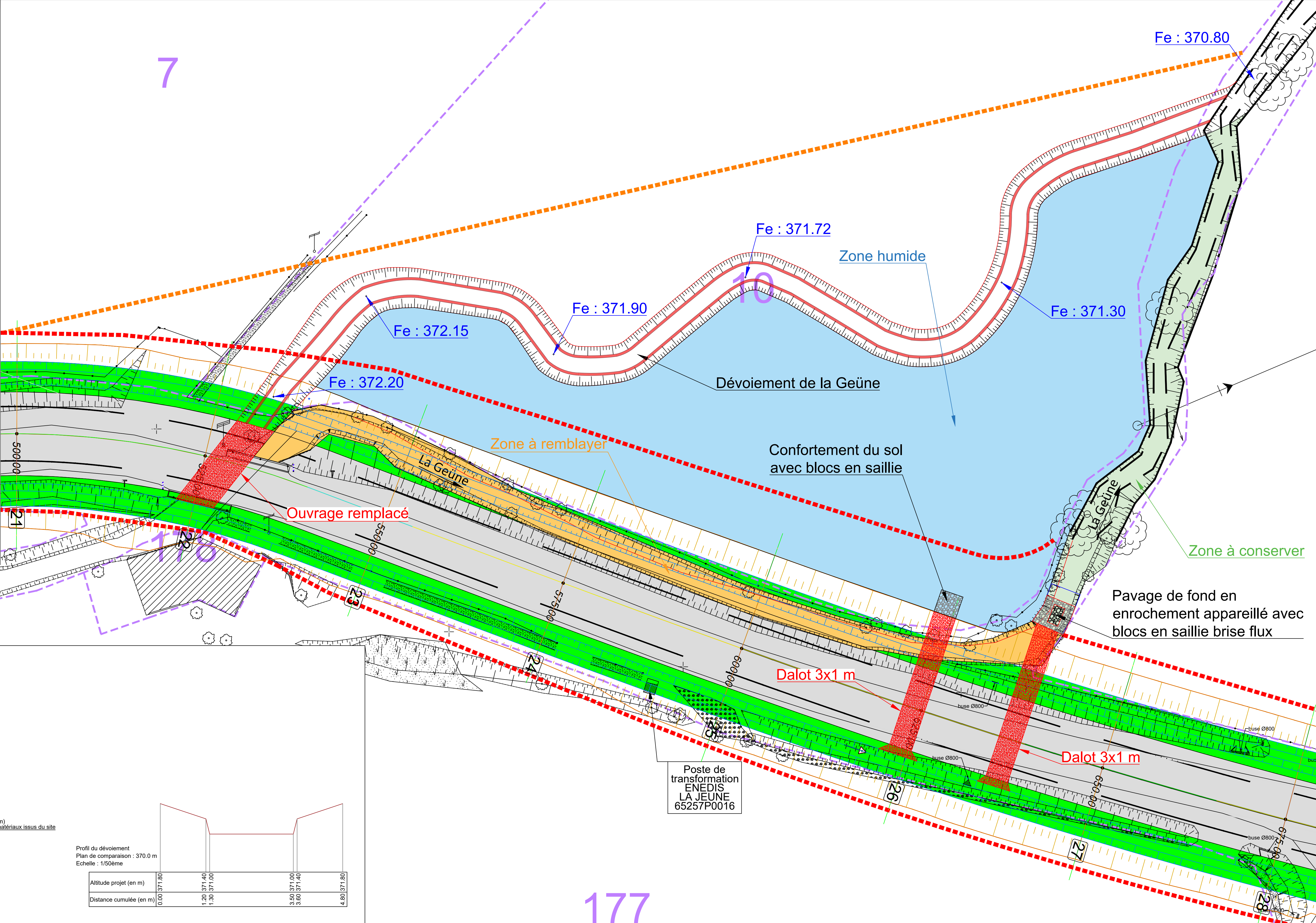




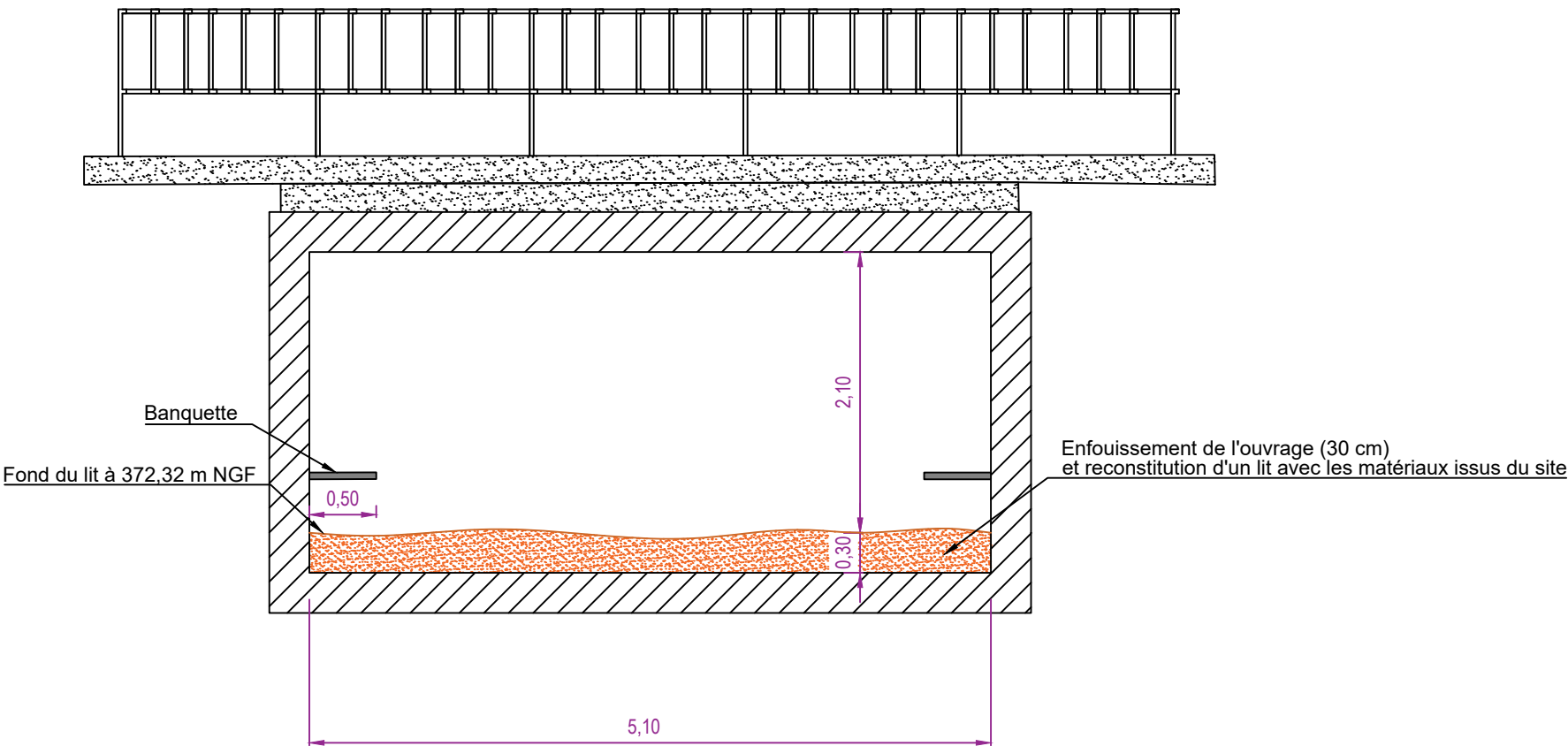
Indice	Objet de la modification	Date	Visa réalisation	Visa contrôle
1	Plan initial	13/11/2025	DSE	NHT
Nom du Fichier :		4362820-Vue en plan et coupes_V2.dwg		



ARTELIA - Région Sud-Ouest
Hélioparc, 2 Avenue Anglot - CS 8011 - 64053 Pau Cedex 9
Tél : +33 (0)5 59 84 23 50
www.arteliagroup.com



Coupe ouvrage hydraulique (état projet)



Profil du dévoiement
Plan de comparaison : 370.0 m
Echelle : 1/50ème

Altitude projet (en m)	0.00 371.80	1.20 371.40	1.30 371.00	3.50 371.00	3.60 371.40	4.80 371.80
Distance cumulée (en m)	0.00	1.20	1.30	3.50	3.60	4.80



Indice	Objet de la modification	Date	Visa réalisation	Visa contrôle
1	Plan initial	13/11/2025	DSE	NHT
Nom du Fichier :		4362820-Vue en plan et coupes_V2.dwg		



ARTELIA - Région Sud-Ouest
Hélioparc, 2 Avenue Anglot - CS 8011 - 64053 Pau Cedex 9
Tél : +33 (0)5 59 84 23 50
www.arteliagroup.com

