



Construction du nouveau centre hospitalier

Saint-Jacques Les Andelys

ETUDE HYDRAULIQUE

Version 3

TABLE DES MATIÈRES

1.	PREAMBULE.....	3
2.	ETUDE HYDROLOGIQUE	4
2.1	Méthodologie	4
2.2	Pluviométrie	5
2.2.1	Données statistiques Météo France	5
2.2.2	Pluies de projet.....	5
2.3	Caractéristiques des sous-bassins versants.....	7
2.3.1	Caractéristiques physiques	7
2.3.2	Géologie.....	8
2.3.3	Occupation du sol	10
2.3.4	Curve Number	11
2.3.5	Lag time	13
2.4	Modélisation hydrologique	14
2.4.1	Logiciel de modélisation	14
2.4.2	Résultats de la modélisation hydrologique.....	15
2.4.3	Calage du modèle	16
3.	ETUDE HYDRAULIQUE DU RUISSEAU DE PAIX.....	17
3.1	Logiciel de modélisation.....	17
3.2	Construction du modèle.....	17
3.2.1	Géométrie et topographie.....	17
3.2.2	Conditions limites	19
3.2.3	Coefficients de rugosité.....	19
3.3	Modélisation de l'état initial	20
3.3.1	Résultats de la modélisation d'un évènement décennal.....	20
3.3.2	Résultats de la modélisation d'un évènement centennal.....	23
3.4	Modélisation de l'état aménagé sans compensation	28
3.4.1	Adaptation du modèle hydraulique.....	28
3.4.2	Résultats de la modélisation d'un évènement décennal	29
3.4.3	Résultats de la modélisation d'un évènement centennal.....	30
3.5	Modélisation de l'état aménagé avec compensation	31
3.5.1	Mesures compensatoires proposées	31
3.5.2	Adaptation du modèle hydraulique.....	31
3.5.3	Résultats de la modélisation d'un évènement décennal	32
3.5.4	Résultats de la modélisation d'un évènement centennal.....	33
3.6	Conclusion	36
4.	ETUDE HYDRAULIQUE DU BASSIN VERSANT AMONT	37
	ANNEXE 1 : CARTOGRAPHIES DES ZONES INONDABLES	39

1. PREAMBULE

L'hôpital de Saint-Jacques des Andelys prévoit la création d'un nouveau centre hospitalier. L'emplacement du projet est situé au Nord de la commune des Andelys au niveau de la route de Paix (D1).

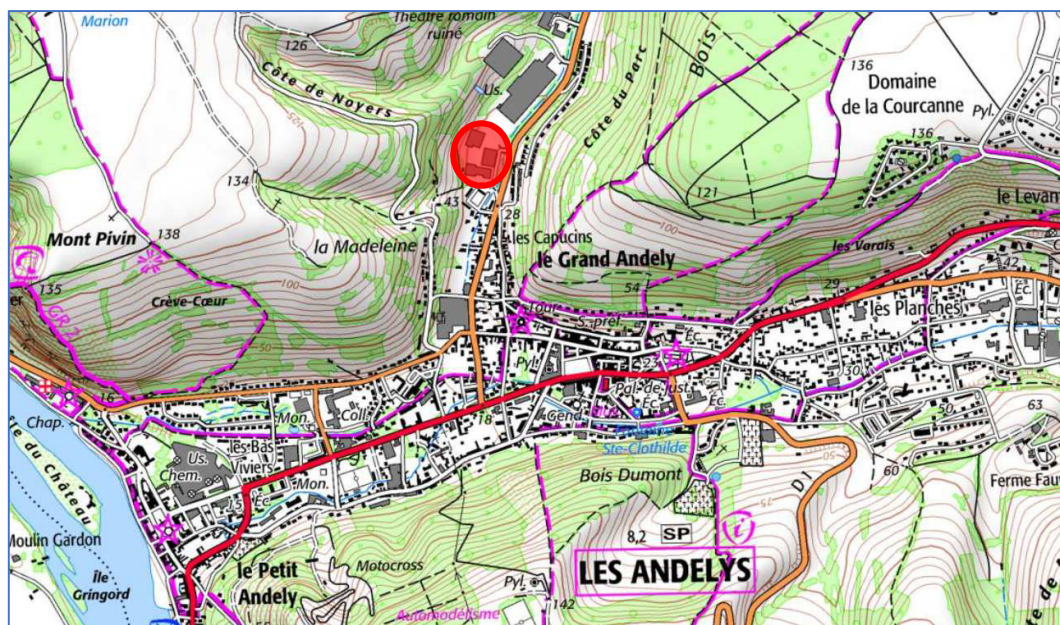


Figure 1: Localisation géographique du projet (Source : www.geoportail.gouv.fr)

Les parcelles prévues pour la construction du nouveau centre hospitalier sont situées en rive droite du ruisseau de Paix dont la zone inondable n'a pas été cartographiée. **Un des objectifs de la présente étude est de définir la zone inondable par débordement du ruisseau de Paix au droit du projet et de proposer des aménagements permettant de réduire le risque d'inondation.**

En parallèle, le projet intercepte sur son versant Ouest un bassin versant amont d'une superficie de 0,6 km². **Le second objectif de la présente étude est préciser le gabarit minimal de l'ouvrage hydraulique qui permettra d'intercepter les eaux provenant de ce bassin versant amont.**

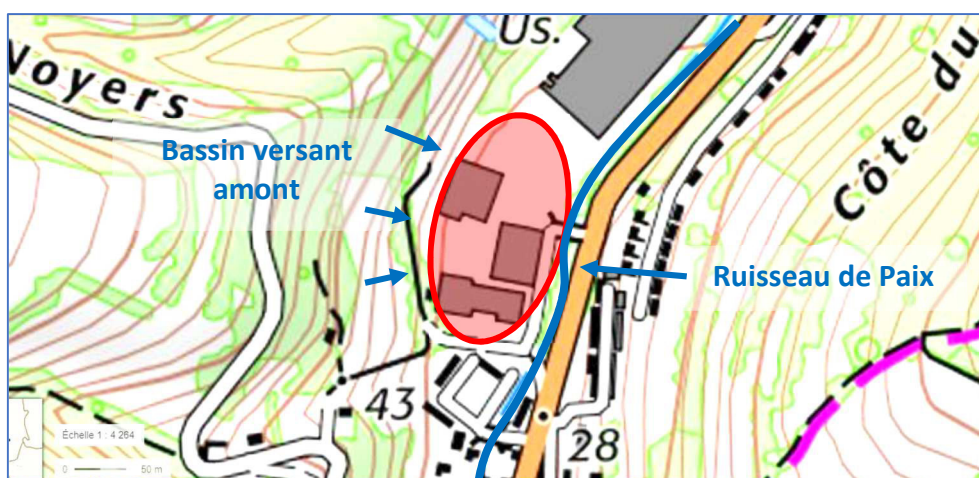


Figure 2: Contexte de l'étude hydraulique

2. ETUDE HYDROLOGIQUE

L'étude hydrologique menée au sein de ce paragraphe permet de définir les débits à prendre en compte pour la modélisation hydraulique du ruisseau de Paix et pour le dimensionnement de l'ouvrage d'interception des eaux du bassin versant amont.

2.1 METHODOLOGIE

Dans le cadre de cette étude, les débits sont estimés via un modèle conceptuel de transformation pluie-débit. Ce type de modèle représente le bassin versant comme plusieurs réservoirs interconnectés. Le modèle fonctionne en deux temps : une première étape transforme la pluie brute en pluie nette, c'est la fonction de production ; la seconde transforme la pluie nette en volume ruisselé à l'exutoire, c'est la fonction de transfert.

La méthodologie repose sur la définition d'une pluie de projet, l'analyse des caractéristiques des sous-bassins versants étudiés et le choix des fonctions de production et transfert.

Plus spécifiquement, il sera utilisé pour le modèle pluie-débit la méthode SCS pour les fonctions de production et de transfert.

La méthode SCS (Soil Conservation Service) est choisie pour sa fiabilité et sa simplicité de mise en œuvre. Elle est largement utilisée pour prédire le volume de ruissellement direct pour un événement donné des précipitations. Elle est basée sur la détermination de 2 paramètres principaux : le Curve Number (CN) utilisé dans la fonction de production (transformation pluie-ruissellement) et le Lag Time utilisé dans la fonction de transfert (transformation ruissellement-débit).

La fonction de production de la méthode SCS pour estimer le ruissellement est la suivante :

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S}$$

Et : $I_a = 0.2 * S$ et $S = 25.4 \frac{1000}{CN} - 10$

Avec : Q = ruissellement cumulé (mm)
P = précipitation cumulée (mm)
I_a = pertes initiales (mm)
S = rétention maximale du sol (mm)

La fonction de transfert est la méthode de l'hydrogramme unitaire SCS. Elle repose sur un hydrogramme défini par son temps de réponse ou lag time et l'instant du maximum de l'hydrogramme (T_p), défini de manière suivante :

$$T_p = \frac{D_t}{2} + T_{lag}$$

Avec : D_t = pas de temps des données de pluies
T_{lag} = temps de réponse du bassin versant

La propagation de l'onde de crue dans le cours d'eau est déterminée à partir de la méthode de Muskingum-Cunge.

2.2 PLUVIOMETRIE

2.2.1 Données statistiques Météo France

Les données statistiques Météo France de Rouen comportent un suivi de toutes les pluies au pas de temps de 6 min sur une période suffisamment longue pour un traitement statistique (1989 à 2016 soit 28 années de mesures).

Les coefficients de Montana de cette station seront donc utilisés pour la construction des pluies de projet. Ces coefficients sont les suivants pour des pluies de durée de 2 heure à 24 heures :

Durée de retour	a	b
10 ans	12.039	0.805
100 ans	25.363	0.863

Tableau 1 : Coefficients de Montana de la station de Rouen sur la période 1989-2016 (Source : Météo France)

2.2.2 Pluies de projet

Les pluies de projet étudiées sont des pluies de Keifer de 24 h.

Pour une pluie de retour de 10 ans, la pluie de projet en fonction de sa durée est la suivante :

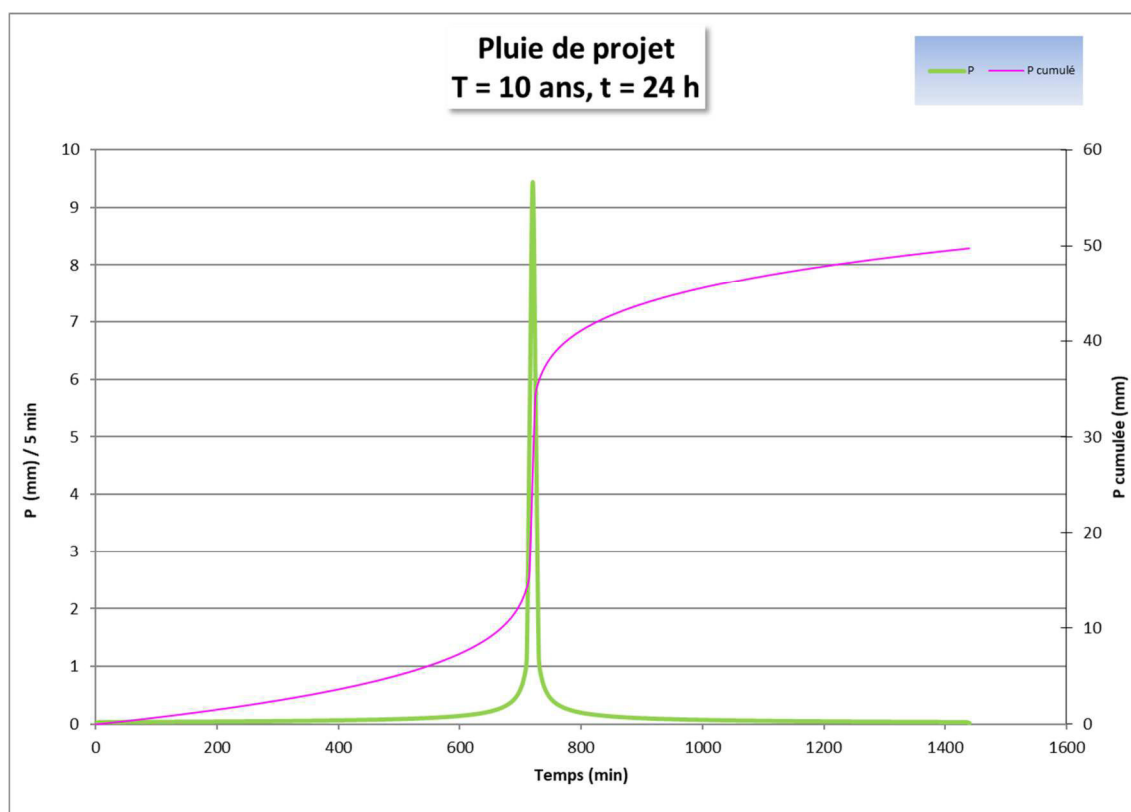


Figure 3: Hyétogramme d'une durée de 24 heures pour $T = 10$ ans à la station de Rouen

Pour une pluie de retour de 100 ans, la pluie de projet en fonction de sa durée est la suivante :

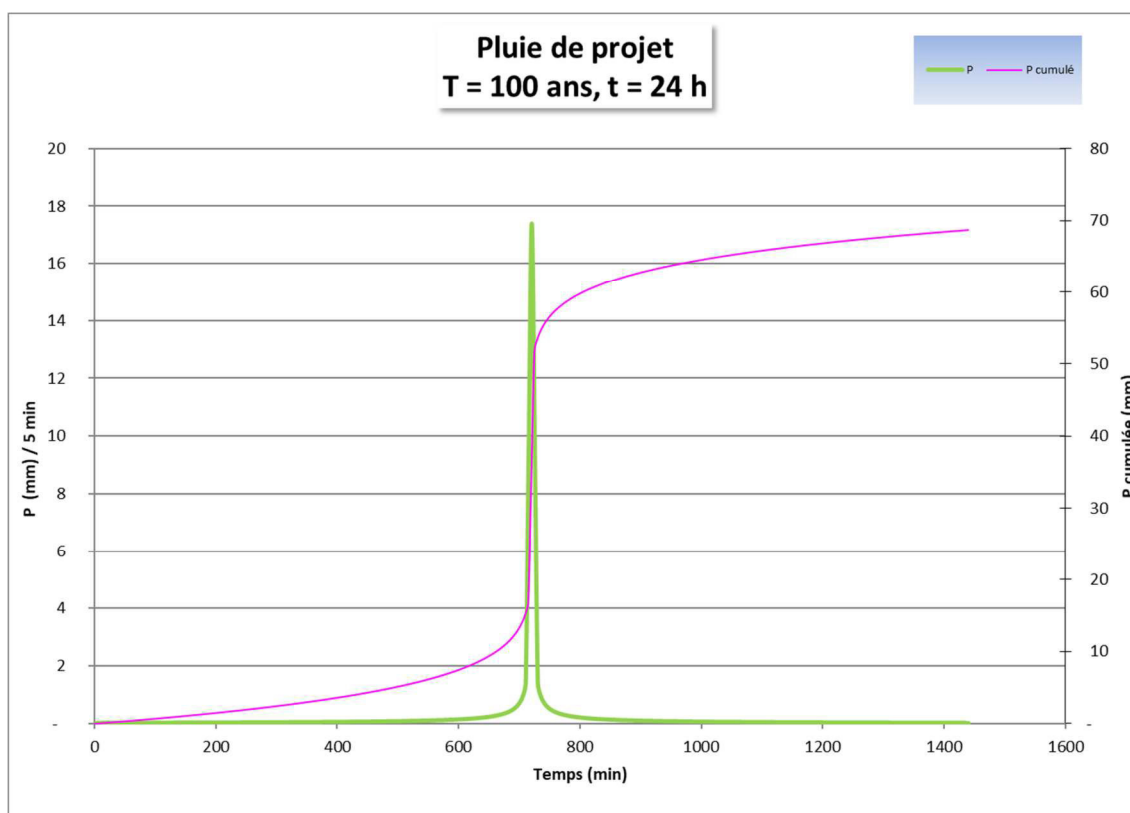


Figure 4: Hyétogramme d'une durée de 24 heures pour T = 100 ans à la station de Rouen

2.3 CARACTERISTIQUES DES SOUS-BASSINS VERSANTS

2.3.1 Caractéristiques physiques

Le bassin versant du ruisseau de Paix au droit du projet a été découpé en cinq sous-bassins versants afin de mieux apprécier son fonctionnement hydrologique.

La figure ci-dessous présente les cinq sous-bassins versants du ruisseau de Paix dont le bassin versant amont (nommé E).

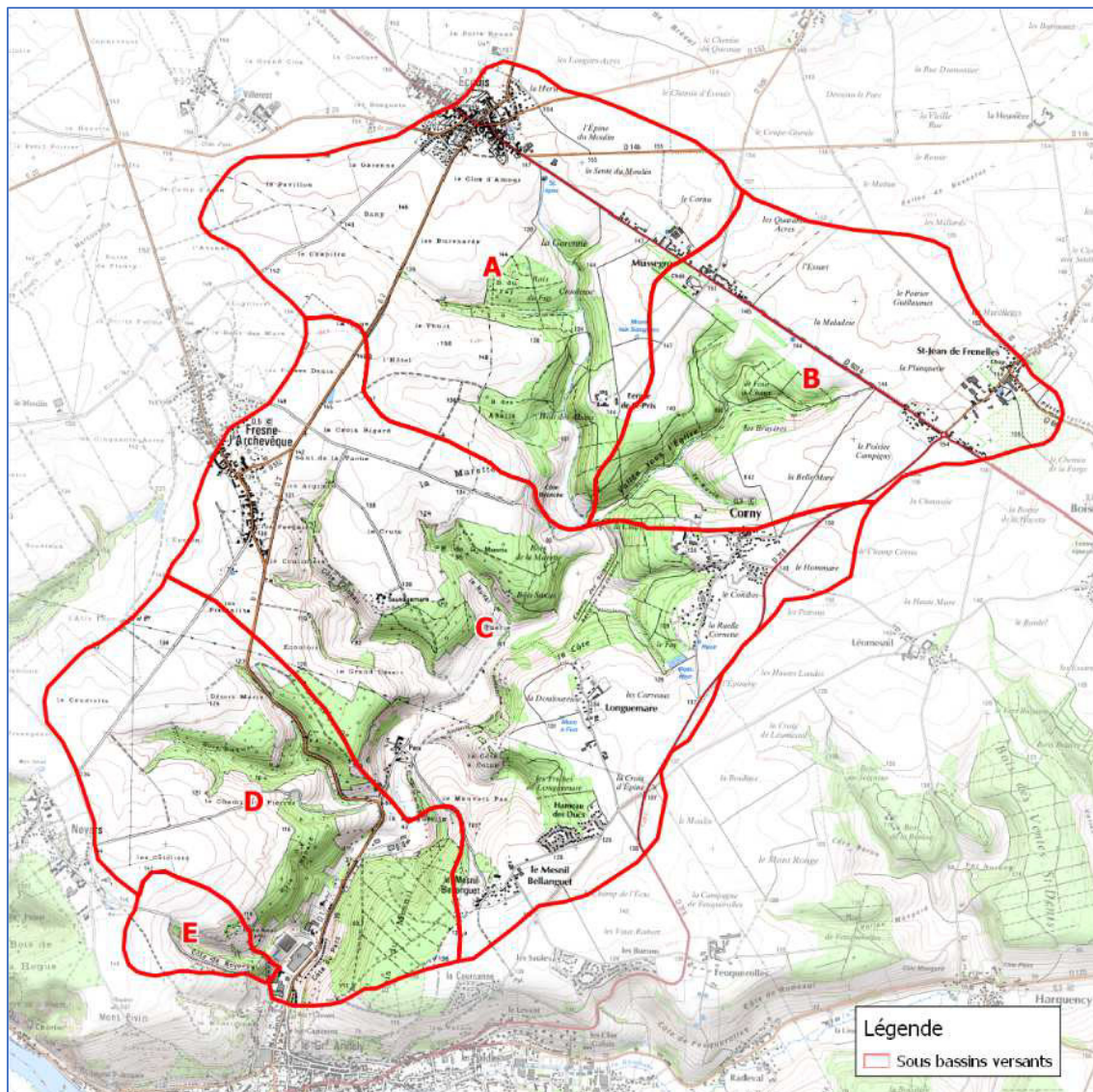


Figure 5: Sous bassins versants du ruisseau de Paix et bassin versant amont

Les caractéristiques physiques des sous bassins versants ont été déterminées à l'aide de la photo aérienne et du scan 25 de l'IGN.

Pour chaque sous-bassin versant, sont calculés le plus long chemin hydraulique (L), la pente moyenne pondérée du terrain (qui joue un rôle dans l'accélération des phénomènes de ruissellement) et la surface. Ces caractéristiques sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Bassin versant	Superficie (km ²)	Longueur (km)	Pente moyenne pondérée
A	7,1	4,7	1,5 %
B	5,4	3,4	1,8 %
C	10,2	3,6	2,3 %
D	5,3	3,0	3,2 %
E	0,6	1,4	6,8 %

Tableau 2 : Caractéristiques des sous bassins versants

2.3.2 Géologie

Afin de prendre en compte les caractéristiques géologiques de la zone d'étude, les cartes géologiques ont été analysées à partir des données du BRGM.

Le Curve Number de la méthode SCS dépend du type de sol classé selon la méthode américaine HSG (Hydrologic Soil Group) en quatre classes :

Groupe A	Peu de potentiel de ruissellement. Infiltration forte même lorsque le sol est humide. Sol excessivement bien drainé, avec une conductivité hydraulique élevée	Perméabilité forte
Groupe B	Sol avec un taux d'infiltration modéré lorsqu'il est humide. Sol bien drainé de granulométrie fine à grossière, avec une conductivité hydraulique modérée	Perméabilité moyenne
Groupe C	Sol avec un taux d'infiltration faible lorsqu'il est humide. Sol à granulométrie fine à très fine avec une conductivité hydraulique faible	Perméabilité faible
Groupe D	Grand potentiel de ruissellement. Infiltration très faible lorsque le sol est humide. Sol composé essentiellement d'argile avec une conductivité hydraulique très faible.	Perméabilité très faible

Tableau 3 : Classification des sols

Les caractéristiques géologiques des bassins versants ont été simplifiées afin d'être exploitables en terme de perméabilité. Dans le cadre de la modélisation, la simplification du contexte lithologique des bassins versants retient six types de sol. Pour chaque type de sol, un code HSG (Hydrologic Soil Group) a été affecté. Il représente la capacité d'infiltration du sol.

Type de sol	HSG
Sables	A
Colluvions	A
Craie à silex	B
Craie marneuse	C
Limons	C
Silex, argiles et sables	C

Tableau 4 : Types de sol retenus et classes HSG

La carte lithologique considérée pour le bassin versant du ruisseau de Paix est présentée ci-dessous :

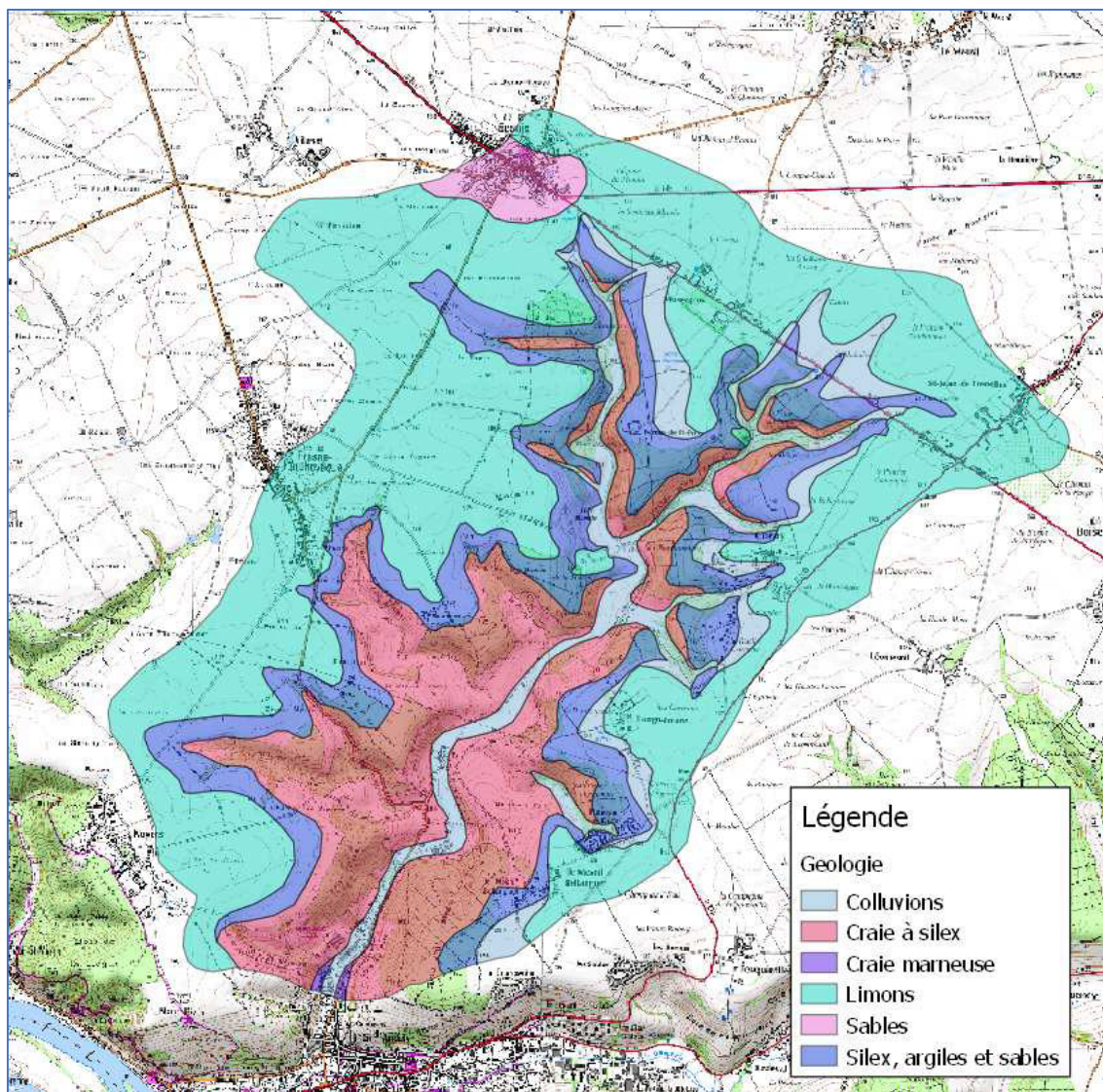


Figure 6: Carte lithologique

2.3.3 Occupation du sol

La définition de l'occupation du sol a été réalisée sur la base des données de Corinne Land Cover. Quatre occupations du sol ont ainsi été délimitées :

Occupation du sol	Superficie (km ²)
Cultures	18,9
Forêts	5,4
Prairies	2,6
Tissu urbain discontinu	1,7

Tableau 5 : Types d'occupation du sol

La carte d'occupation du sol est présentée ci-dessous :

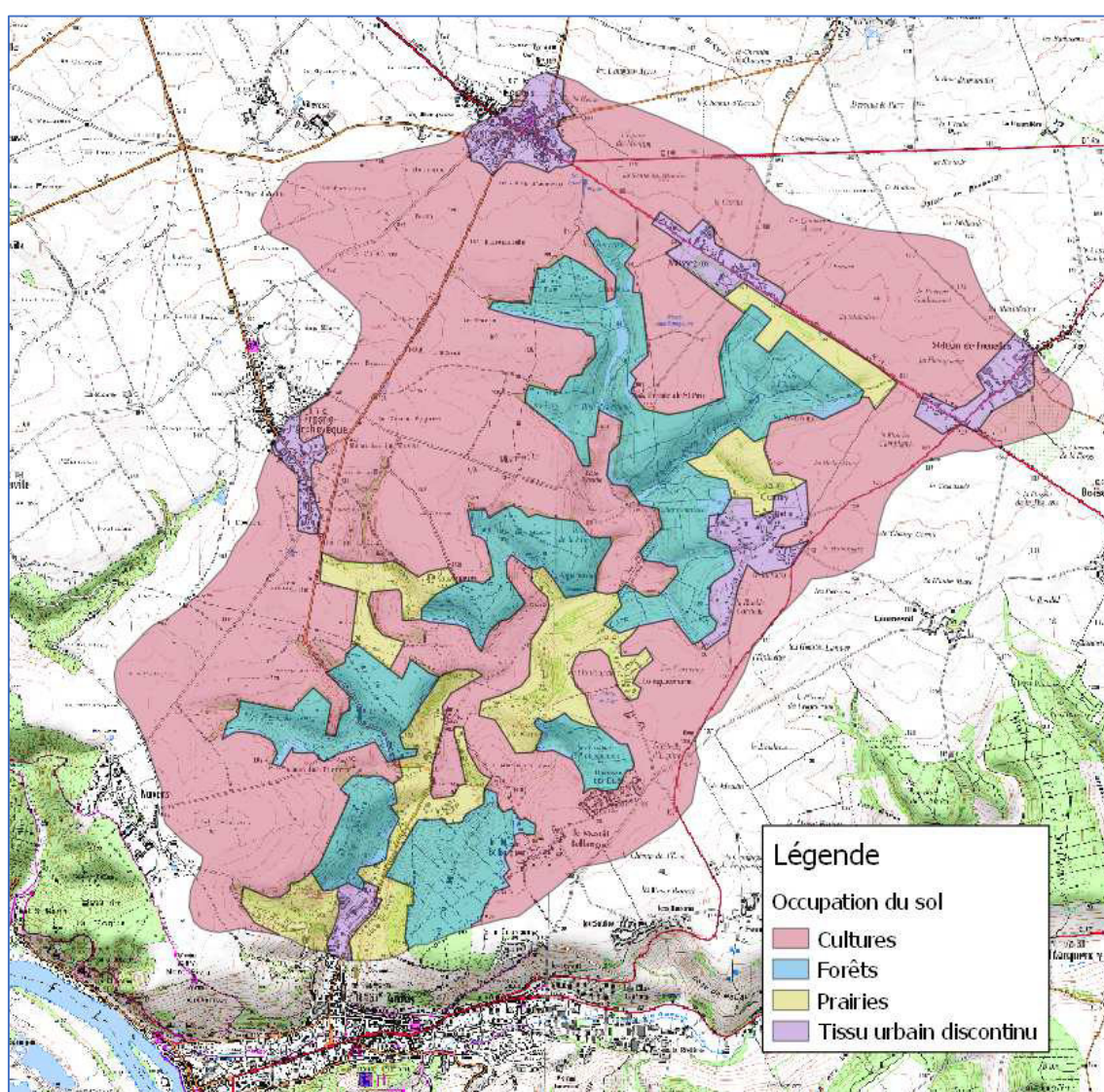


Figure 7: Carte d'occupation du sol

2.3.4 Curve Number

La réalisation de la modélisation hydrologique passe par l'affectation d'une valeur de Curve Number à chacun des cinq sous-bassins versants modélisés. Le Curve Number (CN) est fonction de l'occupation du sol, du type de sol et de l'humectation du sol (conditions sèches, moyennes ou humides).

Le tableau ci-après présente les valeurs du Curve Number qui ont été retenues à l'issue de la procédure de calage en fonction de l'occupation du sol et du type de sol. Elles correspondent à une condition moyenne d'humectation du sol (CNII) :

Curve Number			
Occupation du sol	Hydrologic Soil Group (HSG)		
	A	B	C
Cultures	56	70	78
Forêts	29	57	71
Prairies	35	45	73
Tissu urbain discontinu	53	69	80

Tableau 6 : Valeurs de Curve Number en fonction de l'occupation et du type de sol

Le CN à affecter par sous-bassin versant est la moyenne pondérée par la surface des CN des différentes parties de ce sous-bassin.

La carte des Curve-Number est fournie ci-dessous :

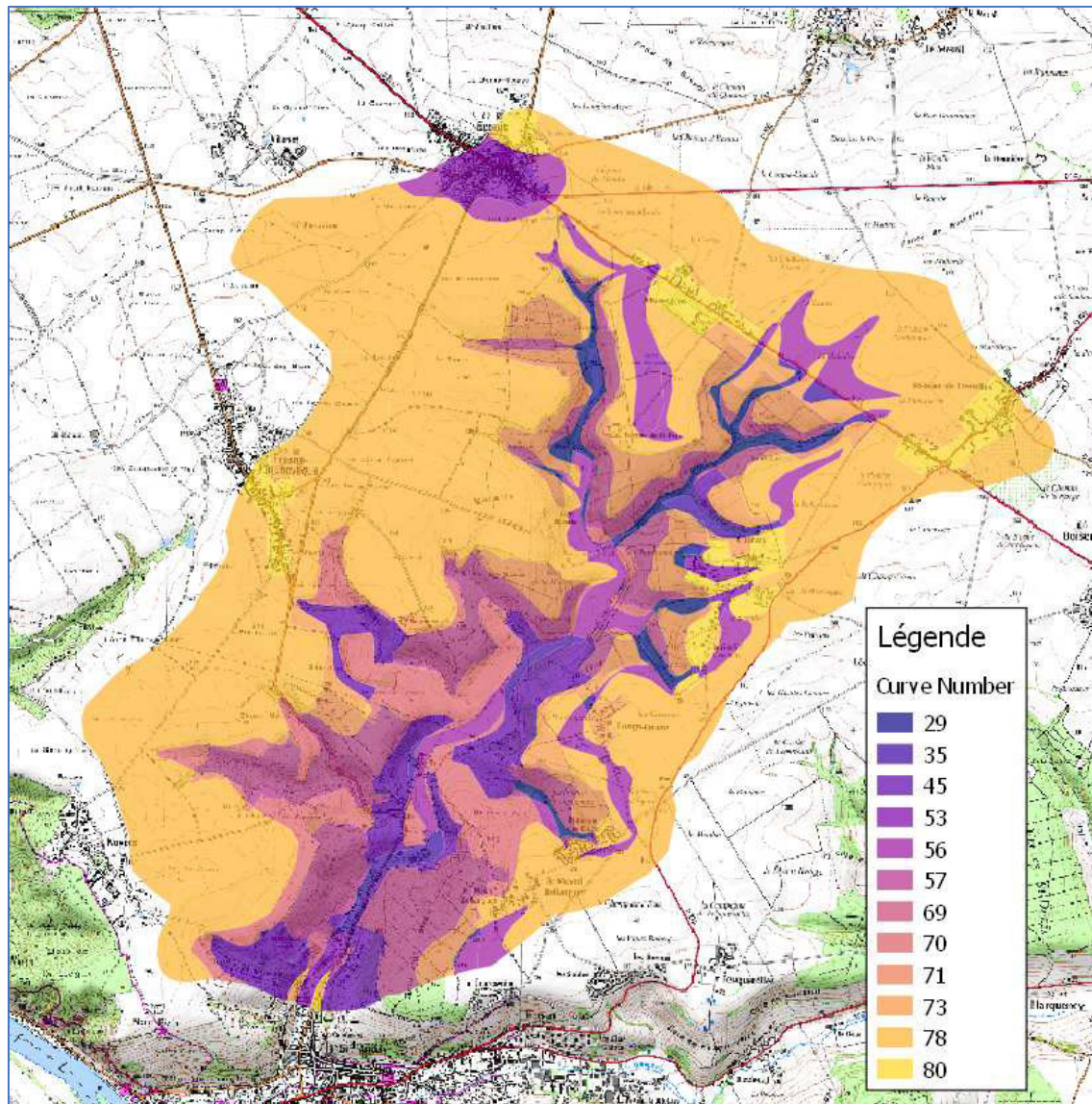


Figure 8: Carte des Curve Number

2.3.5 Lag time

Les lag time ont été déterminés à partir des temps de concentration estimés à l'aide des formules empiriques de Ventura et/ou de la formule présentée dans le guide de l'assainissement routier du SETRA en fonction de la taille du bassin versant.

Le tableau suivant regroupe les valeurs retenues pour chaque sous-bassin versant :

Bassin versant	Lag time (min)
A	205
B	154
C	197
D	93
E	21

Tableau 7 : Valeurs des lag time par sous bassin versant

2.4 MODELISATION HYDROLOGIQUE

2.4.1 Logiciel de modélisation

Pour déterminer le fonctionnement hydrologique de la zone d'étude, le logiciel HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System) a été utilisé.

Ce logiciel de transformation pluie – débit a été développé aux Etats-Unis par l'« US Army Corps of Engineers ». Il permet de calculer le débit de bassins versants à travers les processus de ruissellement, de transfert, de confluence et de dérivation. Les hydrogrammes de crue sont calculés à partir des données de précipitations, de pertes (infiltration), etc.

Il est donc possible de sommer plusieurs hydrogrammes générés par chaque bassin versant en tenant compte du laminage des débits dans le réseau de transit et des temps de propagation de l'onde de crue.

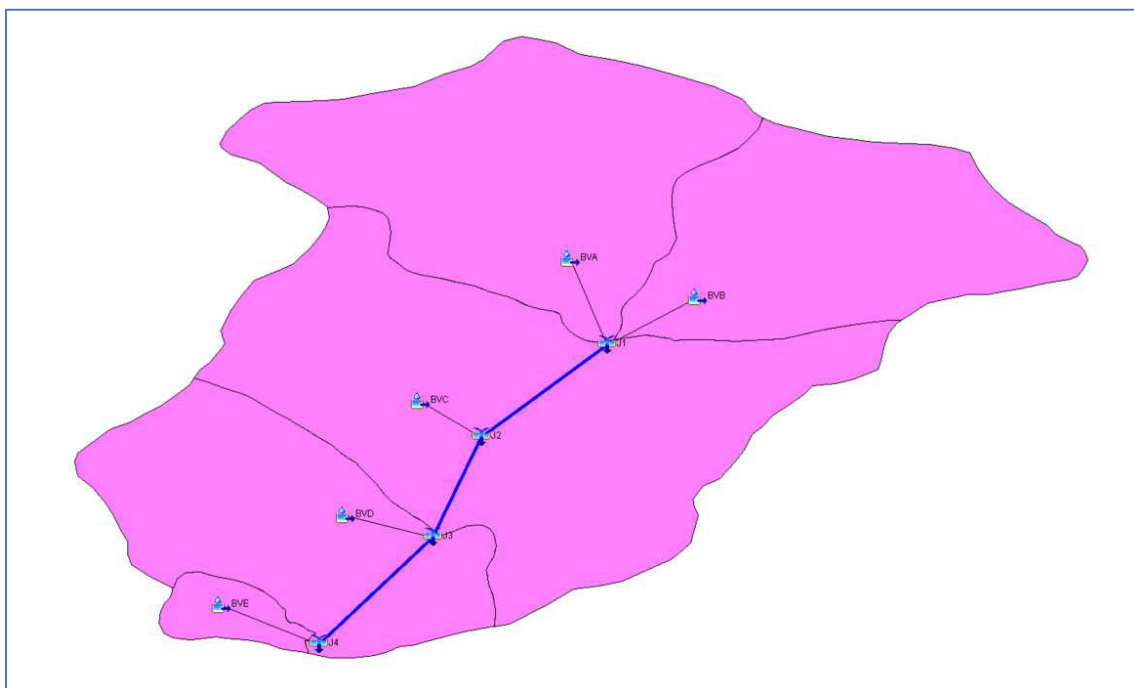


Figure 9: Structure du modèle HEC-HMS

Légende :



Sous-bassin versant



Point de caractérisation des débits



Tronçon de transit et de propagation de l'onde de crue

2.4.2 Résultats de la modélisation hydrologique

Les pluies de projet pour des événements décennal et centennal ont été modélisés.

Les résultats du modèle hydrologique pour chaque sous bassin versant, puis au droit du projet sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Bassin versant	Débit de pointe (m ³ /s)	
	Période de retour décennale	Période de retour centennale
A	2,2	5,9
B	1,8	5,3
C	2,3	6,9
D	1,5	5,7
E	0,4	2,0
Exutoire ruisseau de Paix	7,0	19,8

Tableau 8 : Débits de pointe des sous bassins versants

Les hydrogrammes de crue pour les périodes de retour décennale et centennale du ruisseau de Paix au droit du projet sont les présentés dans la figure ci-dessous :

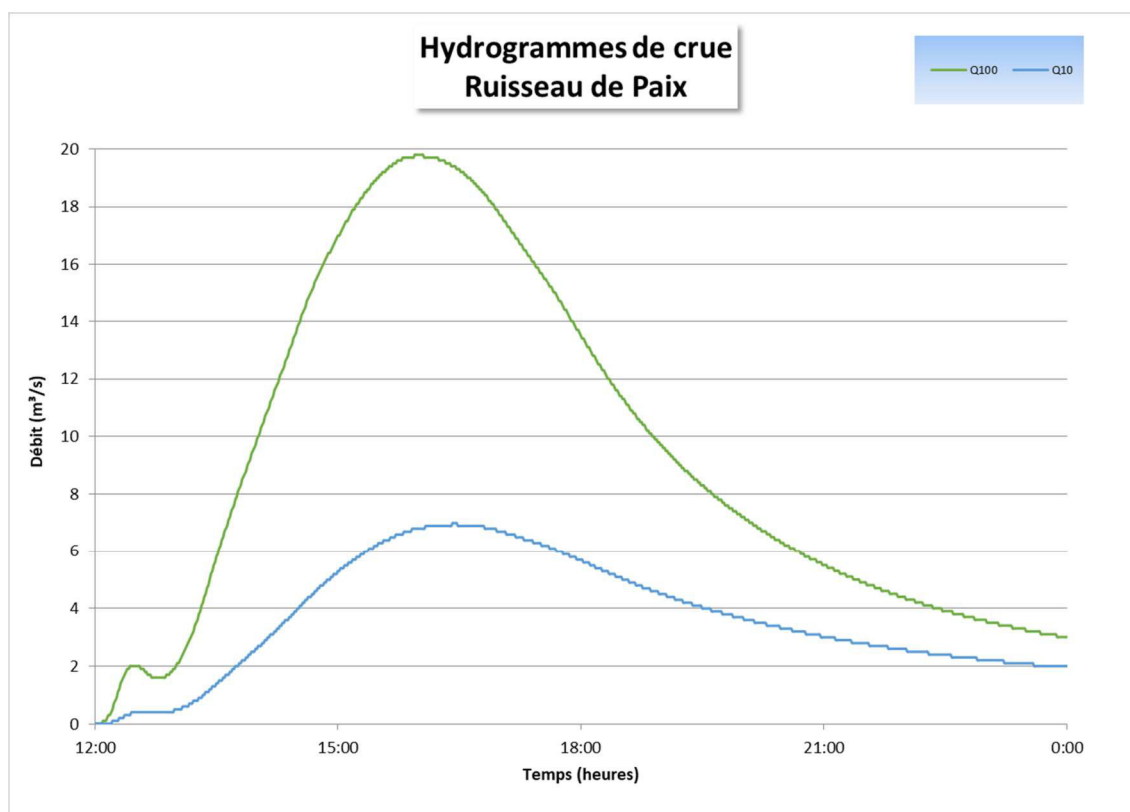


Figure 10: Hydrogrammes de crue du ruisseau de Paix pour T = 10 ans et T = 100 ans au droit du projet

2.4.3 Calage du modèle

Le ruisseau de Paix ne possède pas de station de mesures hydrométriques. A défaut de ces données sur le bassin versant étudié, une comparaison avec les débits de crue des bassins versants jaugés situés à proximité et de tailles comparables a été réalisée afin de caler le modèle.

Les quatre stations de mesures de la banque hydro présentant une superficie proche de celle du bassin versant étudié et situées à proximité de celui-ci sont les suivantes :

Station de mesure	Epte à Saumont la Poterie	Andelle à Rouvray Catillon	Epte à Saumont la Poterie	Le Cailly à Cailly
Période de mesures disponible	1989 - 2006	1989 – 2019	2004 - 2019	1998 – 2019
Superficie du bassin versant	23 km ²	30 km ²	41 km ²	22 km ²
Distance par rapport à la zone d'étude	40 km	37 km	40 km	39 km
Débit de crue décennal	5,6 m ³ /s	6,8 m ³ /s	8,4 m ³ /s	3,3
Débit surfacique décennal	0,24 m ³ /s/km	0,23 m ³ /s/km	0,20 m ³ /s/km	0,12 m ³ /s/km

Tableau 9 : Caractéristiques des stations de mesure hydrométriques à proximité du projet

La station de mesures jugée la plus représentative du bassin versant étudié est celle d'Epte à Saumont la Poterie (1989 - 2006).

Les valeurs de CN et de lag time du modèle hydrologique ont été ajustées afin que le débit surfacique du ruisseau de Paix pour une période de retour décennale soit cohérent avec les valeurs observées au droit de la station de mesures d'Epte à Saumont la Poterie.

	Ruisseau de Paix
Superficie du bassin versant	28,6 km ²
Débit décennal issu du modèle HEC-HMS	7,0 m ³ /s
Débit surfacique décennal	0,24 m ³ /s/km

Tableau 10 : Débit surfacique décennal pour le ruisseau de Paix

3. ETUDE HYDRAULIQUE DU RUISSEAU DE PAIX

3.1 LOGICIEL DE MODELISATION

La simulation hydraulique a été réalisée avec le logiciel Mike Flood développé par le Danish Hydraulic Institute.

Ce logiciel 1D modélise des écoulements unidimensionnels et permet de calculer et de représenter les lignes d'eau, d'estimer les hauteurs d'eau ainsi que les vitesses d'écoulement d'un cours d'eau en fonction des débits de crues.

3.2 CONSTRUCTION DU MODELE

3.2.1 Géométrie et topographie

La modélisation du secteur s'étire sur un linéaire de 950 mètres.

Les profils en travers et les ouvrages modélisés s'appuient sur un relevé topographique réalisé en juin 2017 pour les parcelles du projet et en octobre 2018 pour le lit mineur du ruisseau de Paix par le cabinet de Géomètre-Experts Euclid Eurotop. L'état initial rend compte de la situation après démolition des bâtiments existants et avant la destruction des dalles béton. La construction des profils en lit majeur a été réalisée à l'aide des données IGN.

Les profils P10 à P17 ont été dissociés afin d'affiner les résultats dans le lit majeur en rive droite en amont et au droit du projet.

Les six ouvrages hydraulique présents sur le linéaire étudié ont été intégrés dans le modèle.

La localisation des profils en travers et des ouvrages modélisés est présentée dans la figure page suivante.

Les profils Pajout_1 et Pajout_2 ont été ajoutés lors de la phase de modélisation afin de mieux apprécier le fonctionnement hydraulique au droit du projet. Ils ont été construits sur la base des données topographiques ou des données IGN pour le lit majeur et d'une interpolation entre profils pour le lit mineur.



Figure 11: Localisation des profils en travers et des ouvrages modélisés

3.2.2 Conditions limites

La condition limite amont du modèle correspond aux hydrogrammes de crue décennal ou centennal du ruisseau de Paix présentés dans le paragraphe 2.4.2.

La condition limite aval est donnée par une loi hauteur/débit calculée au dernier profil.

3.2.3 Coefficients de rugosité

Les coefficients de rugosité définis en fonction de l'occupation du sol retenus dans la présente étude sont les suivants :

- Lit mineur : coefficient de Manning-Strickler correspondant à 20,
- Lit majeur :
 - o Route départementale : coefficient de Manning-Strickler correspondant à 30,
 - o Prairies : coefficient de Manning-Strickler correspondant à 25,
 - o Zones agricoles : coefficient de Manning-Strickler correspondant à 15,
 - o Zones urbanisées : coefficient de Manning-Strickler correspondant à 15,
- Ouvrages :
 - o Ponts et passerelles : coefficient de Manning-Strickler correspondant à 30,
 - o Arches en pierre : coefficient de Manning-Strickler correspondant à 50,
 - o Dalot en béton : coefficient de Manning-Strickler correspondant à 60,
 - o Buse Arco : coefficient de Manning-Strickler correspondant à 70.

3.3 MODELISATION DE L'ETAT INITIAL

Le présent chapitre vise à préciser les conditions d'écoulements sur le secteur tel qu'observé actuellement pour les crues décennale et centennale.

3.3.1 Résultats de la modélisation d'un évènement décennal

Les résultats de la modélisation sont présentés dans la figure et les tableaux suivants :

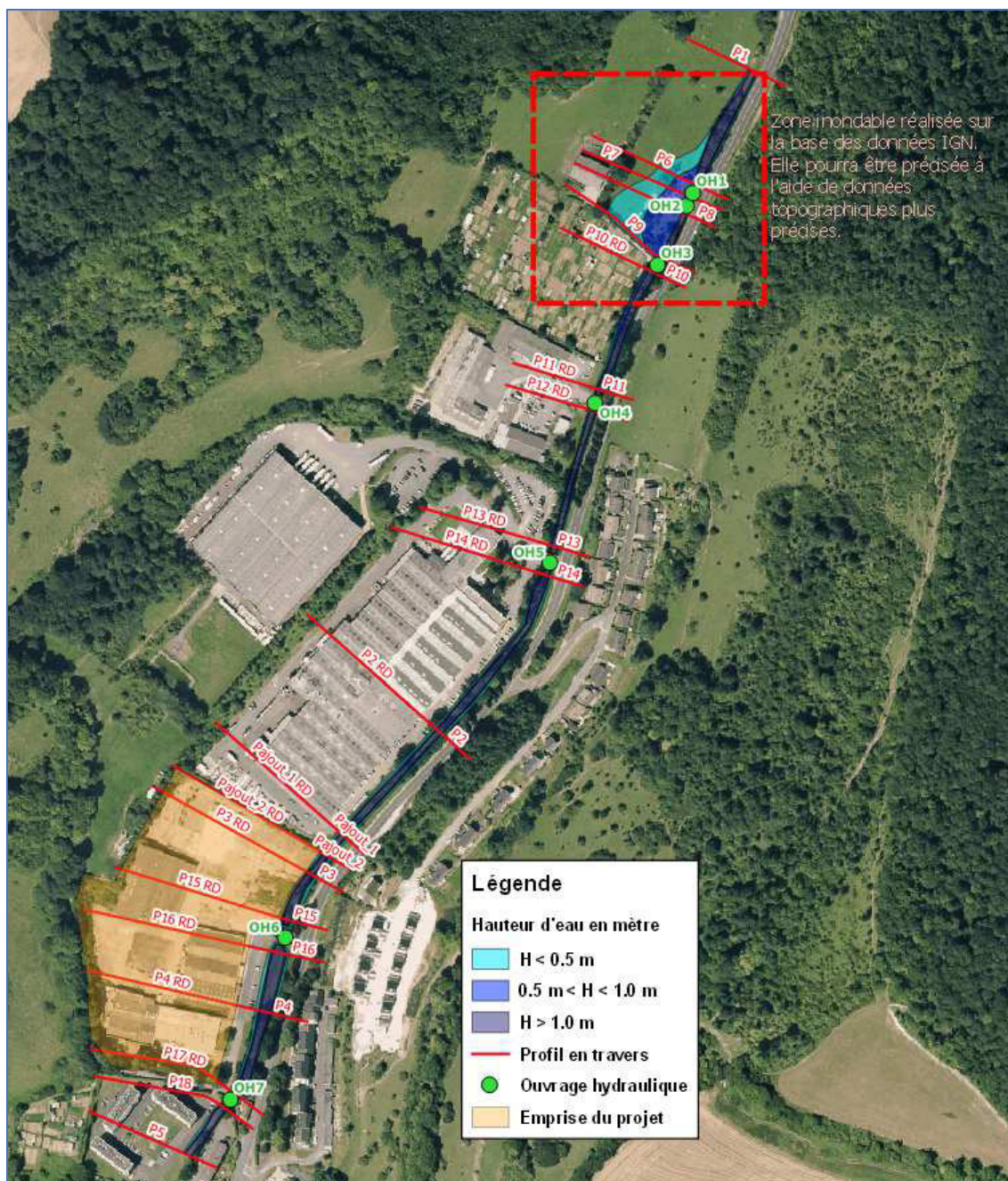


Figure 12: Cartographie des hauteurs d'eau pour une crue décennale – état initial

Profils en travers lit mineur						Profils en travers lit majeur en rive droite	
Profils	PK (m)	Niveau d'eau (m)	Hauteur d'eau (m)	Revanche avant débordement (m)	Vitesse (m/s)	Niveau d'eau (m)	Hauteur d'eau maximum (m)
P1	0	32.06	1.29	0.32	1.5	-	-
P6	99	31.80	2.06	Débordement	2.1	31.80	0.70
P7	108	31.68	2.00		1.6	31.68	0.58
P8	121	31.63	2.14		0.8	31.63	0.73
P9	159	31.63	2.39		0.7	31.63	0.73
P10	171	30.42	1.25	0.48	1.5	-	-
P11	270	29.61	1.55	1.61	2.0	-	-
P12	287	29.53	1.56	1.23	1.5	-	-
P13	395	29.28	2.36	0.86	1.1	-	-
P14	416	28.46	1.56	1.28	1.4	-	-
P2	561	27.89	1.64	1.57	1.5	-	-
Pajout_1	672	27.62	1.16	1.18	1.1	-	-
Localisation du projet	Pajout_2	686	27.61	1.11	0.79	1.0	-
	P3	703	27.60	1.95	0.94	1.1	-
	P15	747	27.54	2.00	1.02	1.6	-
	P16	772	26.05	1.16	1.90	1.3	-
	P4	817	25.88	1.34	2.13	1.0	-
	P17	886	25.47	1.22	1.02	1.7	-
	P18	899	25.46	1.40	1.15	3.1	-
	P5	945	25.04	1.39	0.36	3.3	-

Tableau 11 : Résultats de la modélisation de la crue décennale de l'état initial

Ouvrages			
Nom	Hauteur hydraulique de l'ouvrage (m)	Hauteur d'eau (m)	Tirant d'air (m)
OH1	1.54	2.06	En charge Débordement par-dessus la passerelle
OH2	1.73	2.00	En charge
OH3	1.90	2.39	En charge
OH4	2.34	1.55	0.79
OH5	2.26	2.36	En charge
OH6	2.60	2.00	0.60
OH7	1.85	1.22	0.63

Tableau 12 : Résultats de la modélisation de la crue décennale de l'état initial

Des débordements sont observés uniquement au niveau des profils P6 à P9 en rive droite. Ils sont dus à l'exhaussement de la ligne d'eau provoqué par les ouvrages n°1, n°2 et n°3 qui se mettent en charge. La route en remblais au droit de l'ouvrage n°3 fait barrage aux écoulements. Les hauteurs d'eau dans le lit majeur au droit des profils P6 à P9 sont comprises entre 0,5 m et 0,8 m.

L'ouvrage n°5 se met également en charge. Cependant l'exhaussement de la ligne d'eau est contenu dans le lit mineur. Aucun débordement n'est observé.

Au droit du projet de construction du nouvel hôpital, les écoulements restent concentrés dans le lit mineur. L'ouvrage hydraulique permettant d'accéder aux parcelles du projet (OH6) présente un tirant d'air de 60 cm.

3.3.2 Résultats de la modélisation d'un évènement centennal

Les résultats de la modélisation sont présentés dans la figure et les tableaux ci-dessous et pages suivantes :

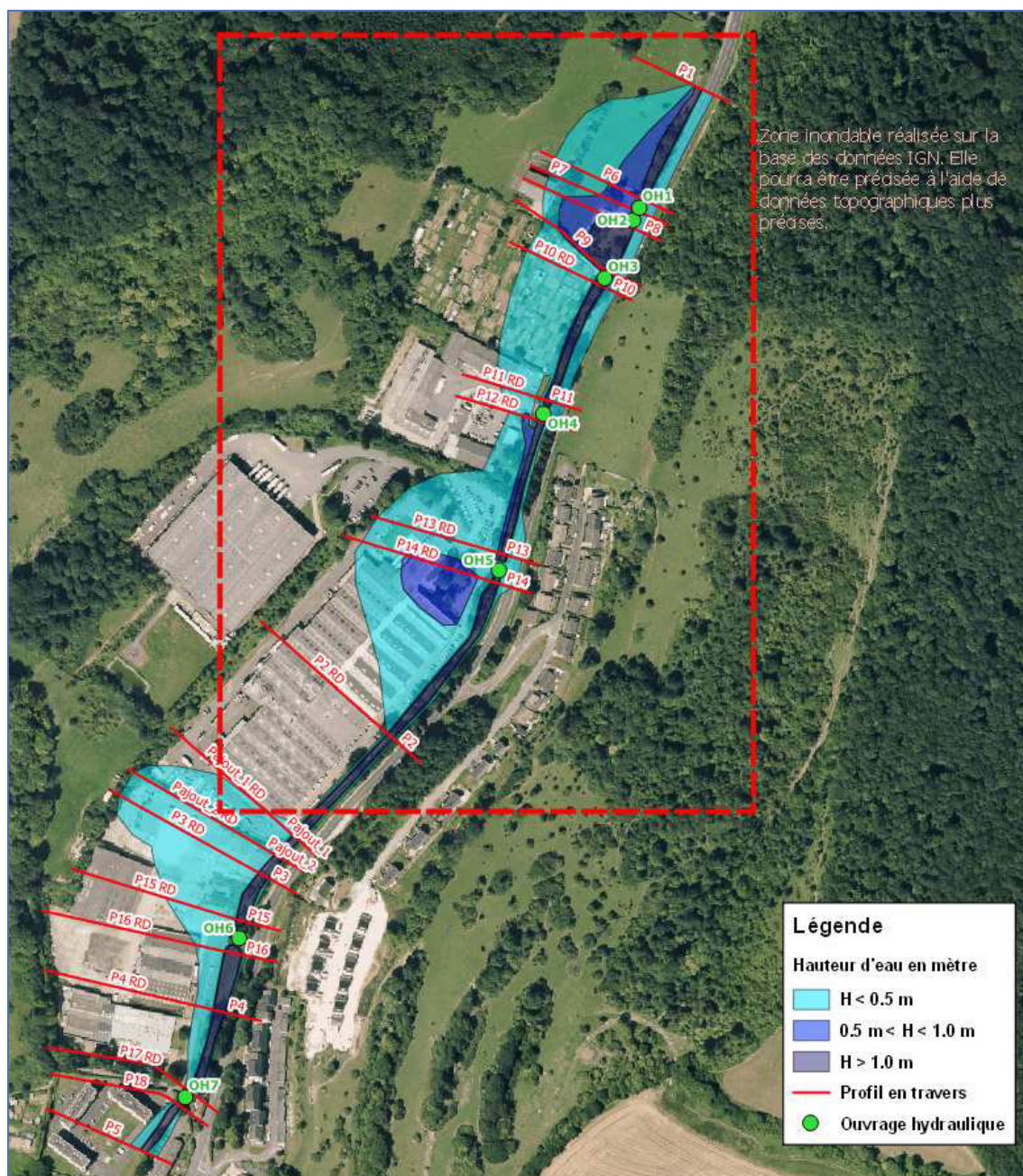


Figure 13: Cartographie des hauteurs d'eau pour une crue centennale – état initial

Profils en travers lit mineur						Profils en travers lit majeur rive droite	
Profils	PK (m)	Niveau d'eau (m)	Hauteur d'eau (m)	Revanche avant débordement (m)	Vitesse (m/s)	Niveau d'eau (m)	Hauteur d'eau maximum (m)
P1	0	32.67	1.90	Déborde	2.2	32.67	1.57
P6	99	32.23	2.49		2.1	32.23	1.13
P7	108	32.18	2.50		1.6	32.18	1.28
P8	121	32.14	2.65		0.9	32.14	1.24
P9	159	32.13	2.89		0.7	32.13	1.23
P10	171	31.40	2.23		1.6	31.20	0.50
P11	270	31.14	3.08	0.08	2.1	30.82	0.32
P12	287	30.61	2.64	0.15	1.6	30.50	0.70
P13	395	30.48	3.56	Déborde	1.1	30.10	0.40
P14	416	29.50	2.60	0.24	1.5	30.08	0.88
P2	561	29.09	2.84	0.37	2.0	-	-
Pajout_1	672	28.88	3.10	Déborde	1.3	28.85	0.09
Pajout_2	686	28.90	3.18		1.0	28.85	0.25
P3	703	28.87	3.22		1.1	28.84	0.24
P15	747	28.82	3.28		1.7	28.79	0.39
P16	772	26.86	1.97	1.08	1.4	28.41	0.41
P4	817	26.74	2.20	1.27	1.4	28.24	0.24
P17	886	26.41	2.16	0.08	2.1	-	-
P18	899	26.23	2.17	0.38	3.1	-	-
P5	945	25.82	2.17	Déborde	3.3	25.82	0.12

Tableau 13 : Résultats de la modélisation de la crue centennale de l'état initial

Ouvrages			
Nom	Hauteur hydraulique de l'ouvrage (m)	Hauteur d'eau (m)	Tirant d'air (m)
OH1	1.54	2.49	En charge Débordement par-dessus l'ouvrage
OH2	1.73	2.50	En charge
OH3	1.90	2.89	En charge Débordement par-dessus l'ouvrage
OH4	2.34	3.08	En charge Débordement par-dessus la passerelle
OH5	2.26	3.56	En charge Débordement par-dessus l'ouvrage
OH6	2.60	3.28	En charge Débordement par-dessus l'ouvrage
OH7	1.85	2.16	En charge Débordement par-dessus l'ouvrage

Tableau 14 : Résultats de la modélisation de la crue centennale de l'état initial

Les hauteurs d'eau dans le lit mineur sont comprises entre 1,9 m et 3,3 m tandis que les vitesses sont comprises entre 0,7 et 3,3 m/s.

Des inondations dans le lit majeur sont observées en rive droite du cours d'eau, essentiellement au droit des ouvrages hydrauliques qui présentent des capacités insuffisantes pour le transit de la crue centennale. Les hauteurs d'eau dans le lit majeur sont comprises entre 0.1 m et 1.6 m.

La route départementale en rive gauche est également inondée à plusieurs reprises en amont des ouvrages hydrauliques. Les écoulements rejoignent le lit mineur dès que les obstacles (les ouvrages hydrauliques) sont contournés.

Au droit du projet, l'ouvrage hydraulique n°6, en sous-capacité, provoque des débordements en rive droite au niveau des profils P3 et P15. Les vitesses d'écoulements maximales à ce niveau sont estimées à 1,2 m/s. Les eaux rejoignent ensuite le lit mineur au niveau des profils P16 et P4.

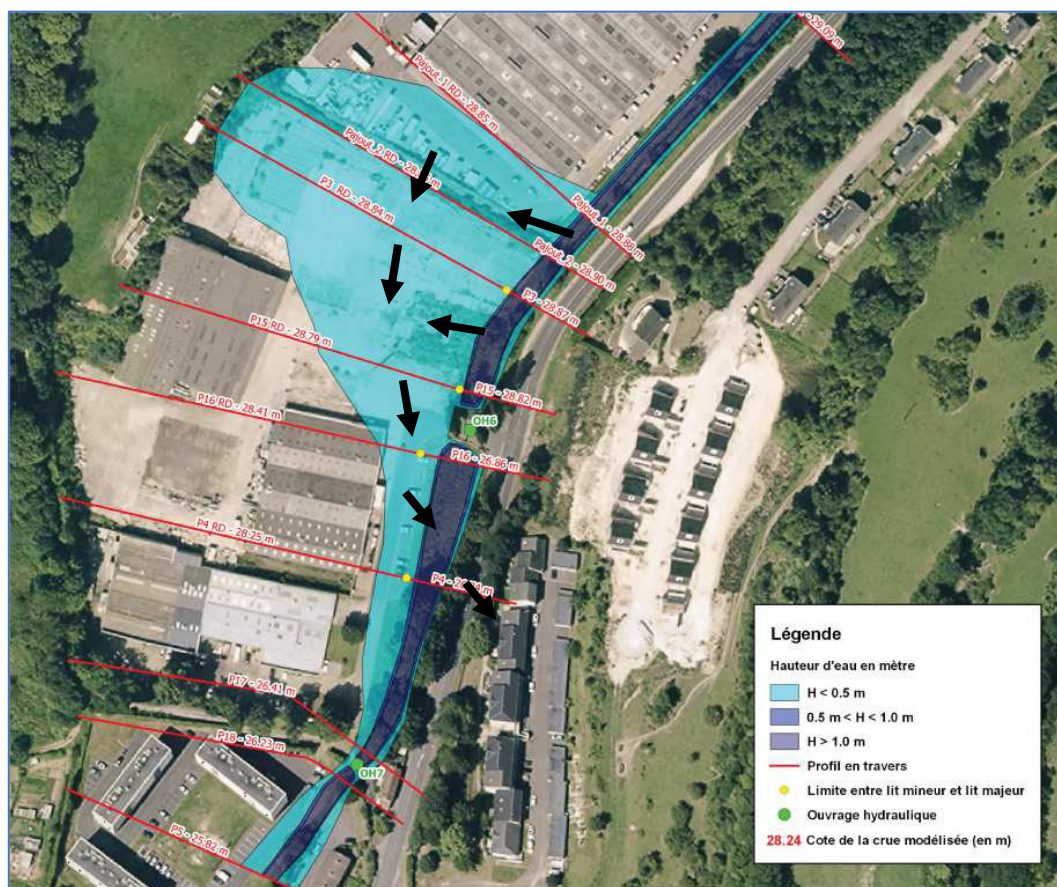


Figure 14: Cartographie des hauteurs d'eau pour une crue centennale au droit du projet – état initial

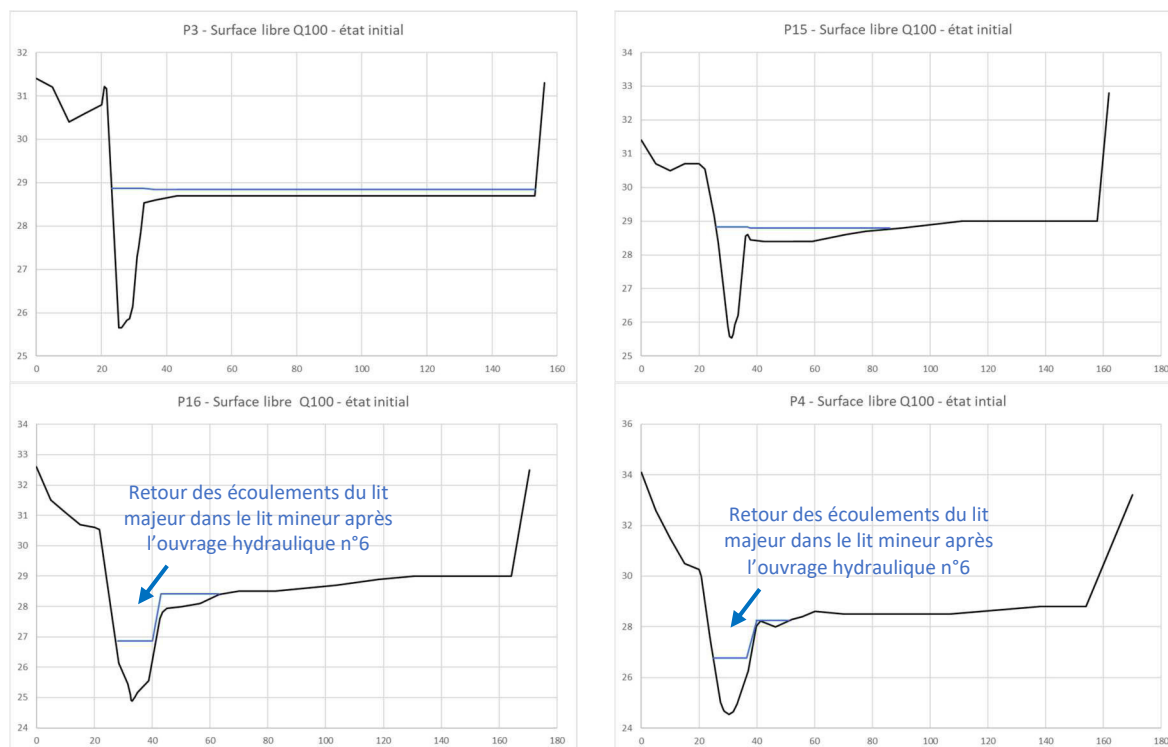


Figure 15: Profils en travers pour une crue centennale au droit du projet – état initial

3.3.2.1 Profil en long

Le profil en long du lit mineur des deux crues modélisées est présenté dans la figure ci-dessous :

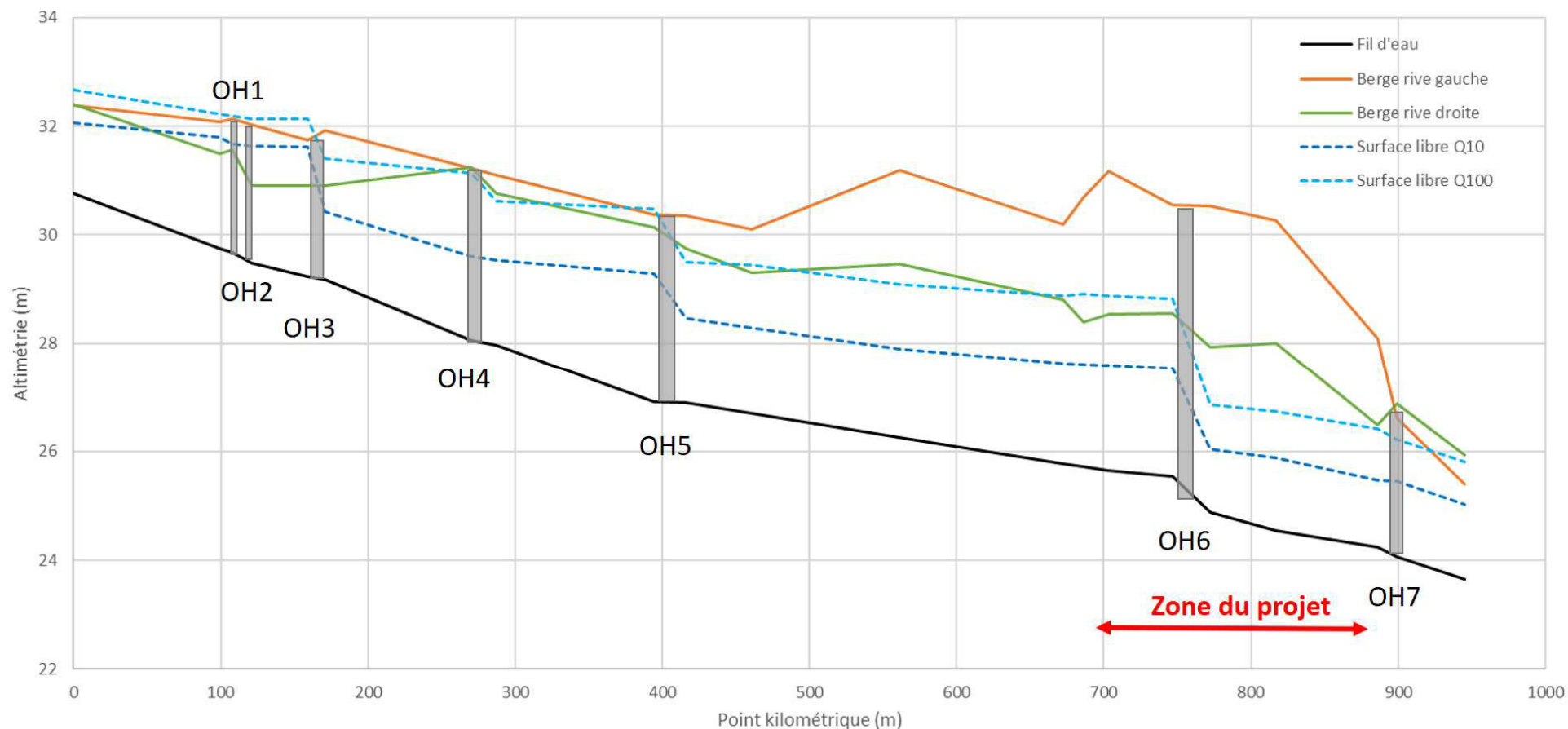


Figure 16: Profil en long des crues Q10 et Q100 de l'état initial

3.4 MODELISATION DE L'ETAT AMENAGE SANS COMPENSATION

Dans un premier temps, le modèle hydraulique de l'état initial a été repris en intégrant uniquement les bâtiments projetés. Cette modélisation permet de connaître l'impact du projet sur les lignes d'eau sans prendre en compte le nivellement proposé en mesure compensatoire.

3.4.1 Adaptation du modèle hydraulique

Les profils en travers P3, P15, P16 et P4 ont été modifiés afin de prendre en compte le projet de construction du nouvel hôpital de Saint-Jacques les Andelys. Uniquement les bâtiments ont été intégrés dans les profils. La prise en compte de la nouvelle altimétrie des parcelles fait l'objet d'une autre modélisation.

Les figures ci-dessous présentent les profils en travers à l'état initial et à l'état aménagé sans compensation :

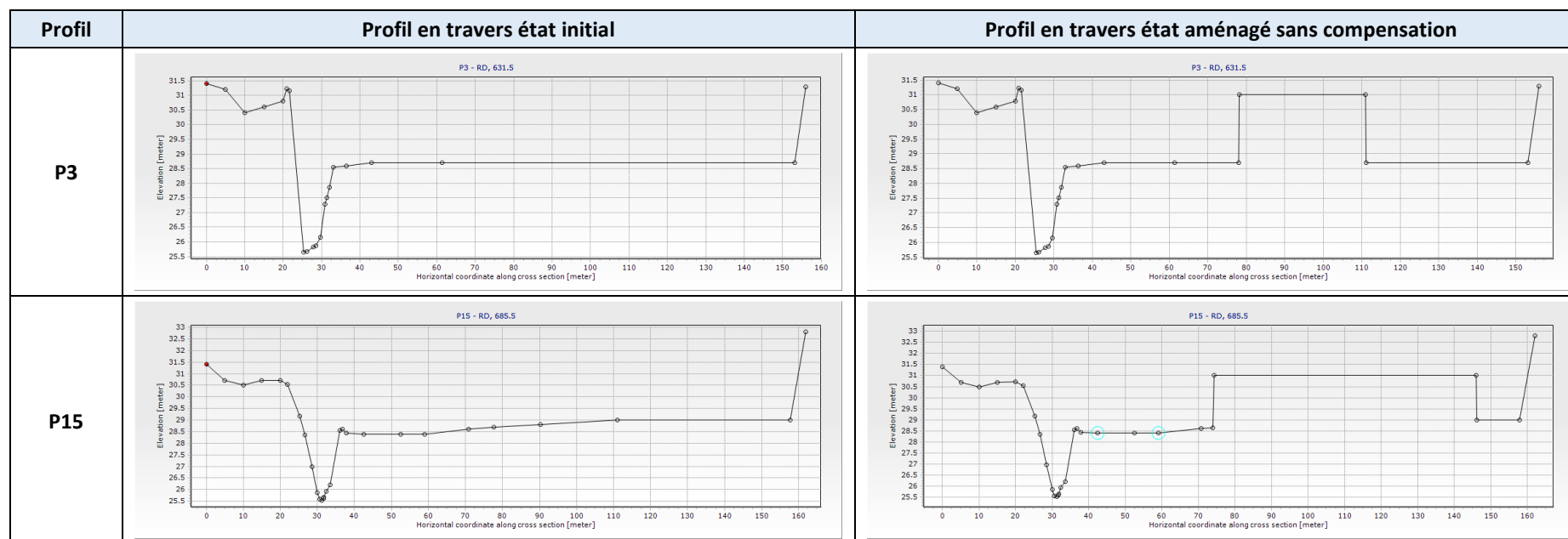


Tableau 15 : Profils en travers état initial et état aménagé sans compensation P3 et P15

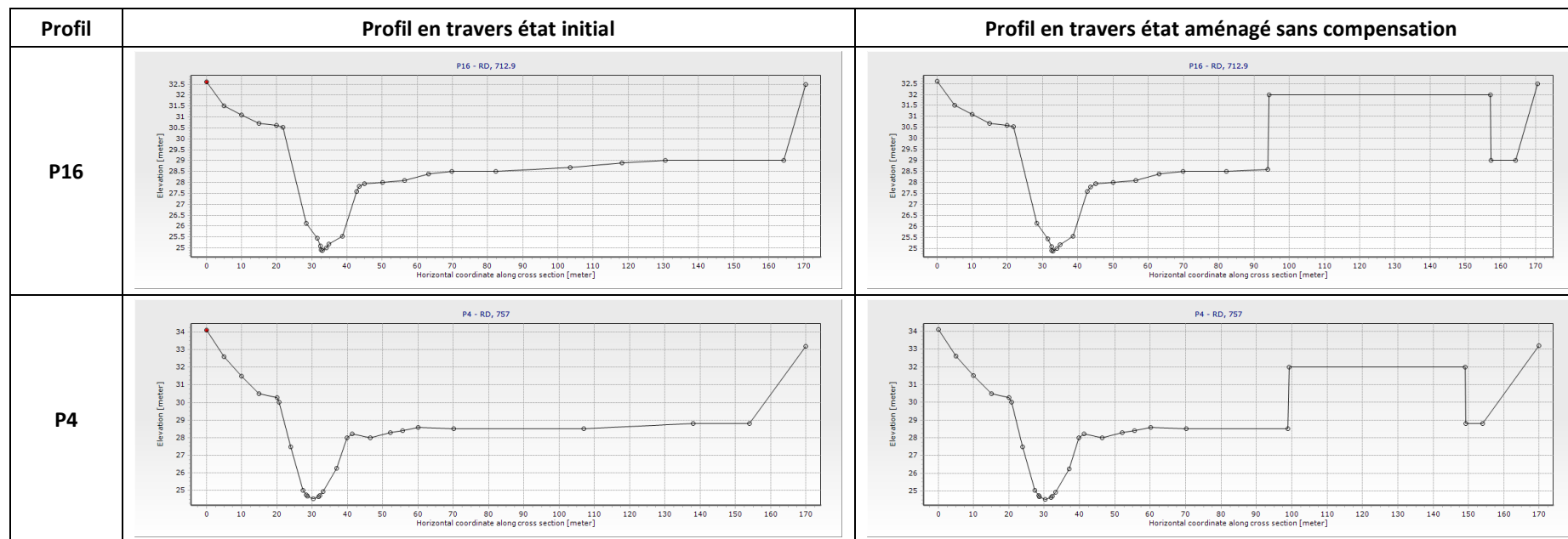


Tableau 16 : Profils en travers état initial et état aménagé sans compensation P16 et P4

3.4.2 Résultats de la modélisation d'un évènement décennal

Le projet n'a pas d'incidence sur les écoulements du ruisseau de Paix pour un évènement décennal. En effet, aucun débordement n'est observé pour l'état initial au droit du projet.

3.4.3 Résultats de la modélisation d'un évènement centennal

Les différences en termes de hauteurs d'eau et de vitesses d'écoulement entre les résultats de la modélisation de la crue centennale de l'état initial et de l'état aménagé sans compensation sont présentées dans les tableaux ci-dessous et pages suivantes :

Localisation du projet	Profils en travers lit mineur				Profils en travers rive droite			
	Profils	PK (m)	Niveau d'eau état initial (m)	Niveau d'eau état aménagé (m)	Différence (m)	Niveau d'eau état initial (m)	Niveau d'eau état aménagé (m)	Différence (m)
	P1	0	32.67	32.67	0.00	32.67	32.67	0.00
	P6	99	32.23	32.23	0.00	32.23	32.23	0.00
	P7	108	32.18	32.18	0.00	32.18	32.18	0.00
	P8	121	32.14	32.14	0.00	32.14	32.14	0.00
	P9	159	32.13	32.13	0.00	32.13	32.13	0.00
	P10	171	31.40	31.40	0.00	31.40	31.40	0.00
	P11	270	31.14	31.14	0.00	30.82	30.82	0.00
	P12	287	30.61	30.61	0.00	30.50	30.50	0.00
	P13	395	30.48	30.48	0.00	30.10	30.10	0.00
	P14	416	29.50	29.50	0.00	30.08	30.08	0.00
	P2	561	29.09	29.10	0.01	-	-	-
	Pajout_1	672	28.88	28.89	0.01	28.85	28.87	0.02
	Pajout_2	686	28.90	28.91	0.01	28.85	28.87	0.02
P3	703	28.87	28.88	0.01	28.84	28.86	0.02	
P15	747	28.82	28.83	0.01	28.79	28.80	0.01	
P16	772	26.86	26.86	0.00	28.41	28.41	0.00	
P4	817	26.74	26.74	0.00	28.24	28.24	0.00	
P17	886	26.41	26.41	0.00	-	-	-	
P18	899	26.23	26.23	0.00	-	-	-	
P5	945	25.82	25.82	0.00	25.82	25.82	0.00	

Tableau 17 : Différences entre l'état initial et l'état aménagé sans compensation pour la crue centennale en termes de niveaux d'eau

Les résultats théoriques du modèle montrent que l'incidence du projet est limitée au profil P2, P3 et P15. L'écart maximum constaté sur la ligne d'eau entre l'état initial et l'état aménagé sans compensation est de 2 cm.

3.5 MODELISATION DE L'ETAT AMENAGE AVEC COMPENSATION

3.5.1 Mesures compensatoires proposées

Afin de tenir compte du caractère inondable d'une partie de la parcelle projet, il a été intégré au projet de construction une cote de premier niveau de plancher supérieure de 10 cm à la cote des Plus Haute Eaux (PHE) pour un évènement centennal, soit 28.95 mNGF. De plus, les matériels électriques, électroniques, micromécaniques et appareils de chauffage seront placés au-dessus de la cote des PHE.

Parallèlement, la partie des bâtiments se trouvant en zone inondable soustrait un certain volume à la zone d'expansion de crue du ruisseau de Paix. Dans le cadre de ce projet, les dalles qui recouvraient quasiment la totalité du site ont été détruites, abaissant ainsi la topographie d'environ 20 cm. De plus, le modelage du terrain tel que prévu dans le dossier de consultation des entreprises aura également tendance à abaisser l'altimétrie de la parcelle projet.

La modélisation présentée dans les paragraphes suivants a pour objet de démontrer que les aménagements extérieurs (voiries, parkings, espaces verts) tels que projetés permettent de compenser le volume soustrait au lit majeur du ruisseau de Paix.

3.5.2 Adaptation du modèle hydraulique

Les profils en travers P3, P15, P16 et P4 ont été modifiés afin de prendre en compte le projet de construction du nouvel hôpital de Saint-Jacques les Andelys. Les bâtiments et la nouvelle altimétrie du terrain ont été intégrés dans les profils.

Les figures ci-dessous présentent les profils en travers à l'état initial et à l'état aménagé avec compensation :

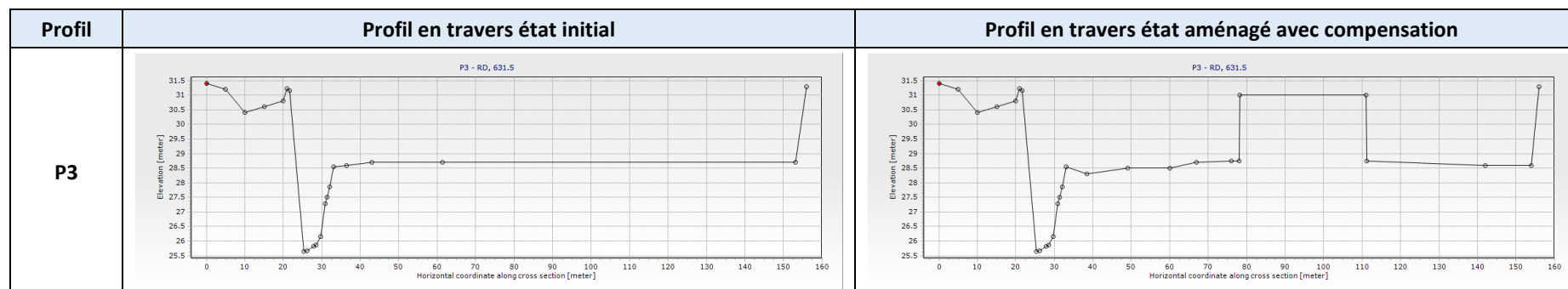


Tableau 18 : Profils en travers état initial et état aménagé avec compensation P3

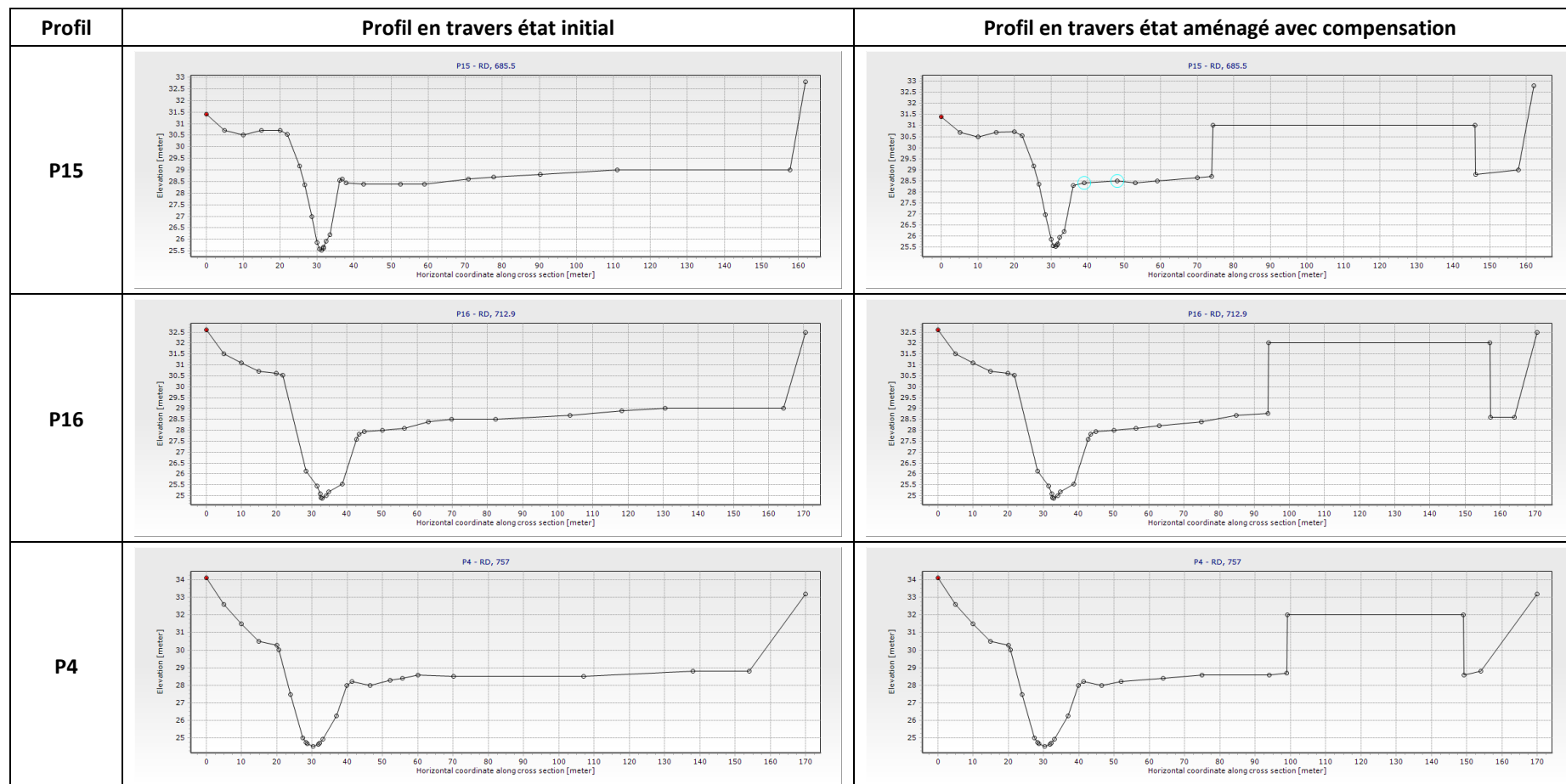


Tableau 19 : Profils en travers état initial et état aménagé avec compensation P15, P16 et P4

3.5.3 Résultats de la modélisation d'un évènement décennal

Le projet n'a pas d'incidence sur les écoulements du ruisseau de Paix pour un évènement décennal. En effet, aucun débordement n'est observé pour l'état initial au droit du projet.

3.5.4 Résultats de la modélisation d'un évènement centennal

Les différences en termes de hauteurs d'eau et de vitesses d'écoulement entre les résultats de la modélisation de la crue centennale de l'état initial et de l'état aménagé avec compensation sont présentées dans les tableaux ci-dessous et pages suivantes :

Profils en travers lit mineur					Profils en travers rive droite		
Profils	PK (m)	Niveau d'eau état initial (m)	Niveau d'eau état aménagé (m)	Différence (m)	Niveau d'eau état initial (m)	Niveau d'eau état aménagé (m)	Différence (m)
P1	0	32.67	32.67	0.00	32.67	32.67	0.00
P6	99	32.23	32.23	0.00	32.23	32.23	0.00
P7	108	32.18	32.18	0.00	32.18	32.18	0.00
P8	121	32.14	32.14	0.00	32.14	32.14	0.00
P9	159	32.13	32.13	0.00	32.13	32.13	0.00
P10	171	31.40	31.40	0.00	31.40	31.40	0.00
P11	270	31.14	31.14	0.00	30.82	30.82	0.00
P12	287	30.61	30.61	0.00	30.50	30.50	0.00
P13	395	30.48	30.48	0.00	30.10	30.10	0.00
P14	416	29.50	29.50	0.00	30.08	30.08	0.00
P2	561	29.09	29.09	0.00	-	-	-
Pajout_1	672	28.88	28.89	0.01	28.85	28.85	0.00
Pajout_2	686	28.90	28.91	0.01	28.85	28.85	0.00
P3	703	28.87	28.88	0.01	28.84	28.85	0.00
P15	747	28.82	28.83	0.01	28.79	28.80	0.01
P16	772	26.86	26.86	0.00	28.41	28.40	-0.02
P4	817	26.74	26.74	0.00	28.24	28.25	0.00
P17	886	26.41	26.41	0.00	-	-	-
P18	899	26.23	26.22	0.00	-	-	-
P5	945	25.82	25.82	0.00	25.82	25.82	0.00

Tableau 20 : Différences entre l'état initial et l'état aménagé avec compensation pour la crue centennale en termes de niveaux d'eau

Les résultats théoriques du modèle montrent que l'incidence du projet est limitée au profil P3, P15 et P16, soit uniquement au droit des parcelles du projet.

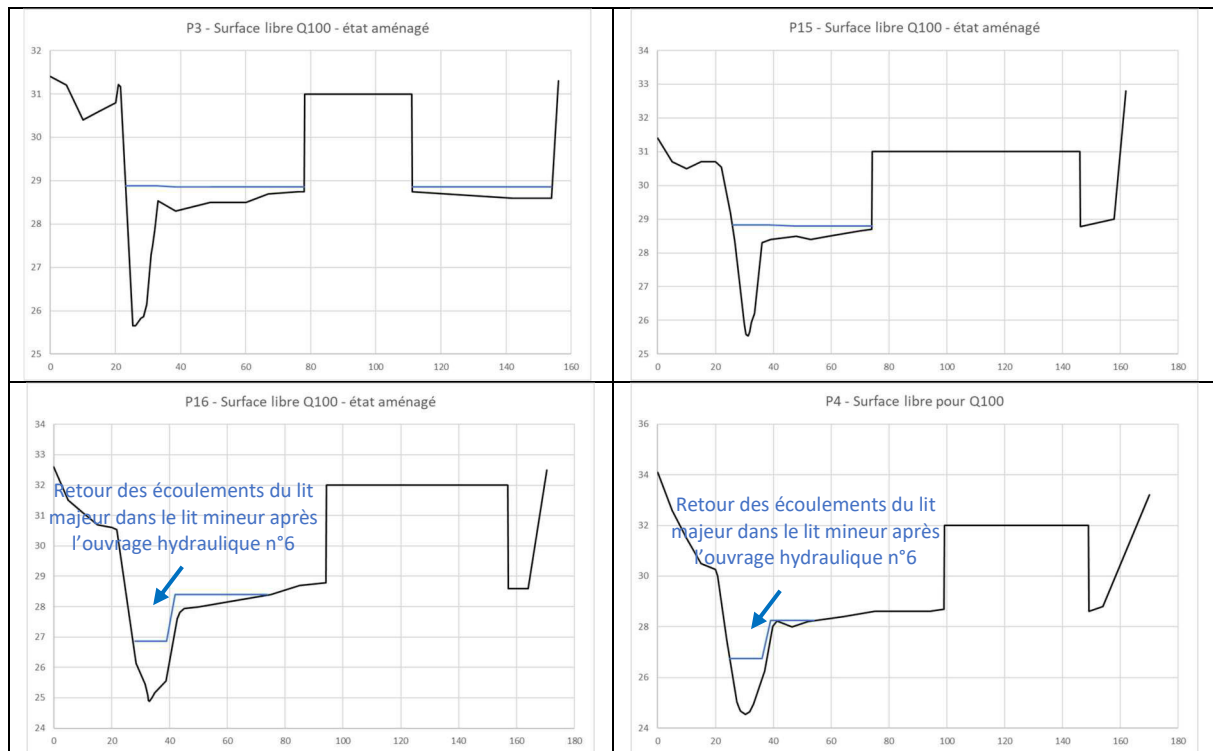


Figure 17: Profils en travers pour une crue centennale au droit du projet – état initial

Les écarts entre la modélisation de la crue centennale de l'état initial et de l'état aménagé avec compensation au droit du projet sont très faibles :

- L'augmentation maximum de la ligne d'eau est de 1 cm tandis que l'augmentation maximum de la vitesse d'écoulement est de 0.1 m/s,
- Au niveau du profil P16, on observe une diminution de 2 cm de la ligne d'eau et de 0.2 m/s de la vitesse d'écoulement.

Ces écarts, très faibles, sont inférieurs aux incertitudes liées aux calculs de la ligne d'eau et de la vitesse d'écoulement.

De plus, le modelage du terrain permet de réduire jusqu'à 2 cm les niveaux d'eau par rapport à la modélisation de l'état aménagé sans compensation. Cette compensation est acceptable et ne nécessite donc pas de compensation supplémentaire.

La figure ci-dessous permet de visualiser la zone inondable au droit du projet pour l'état aménagé avec compensation :

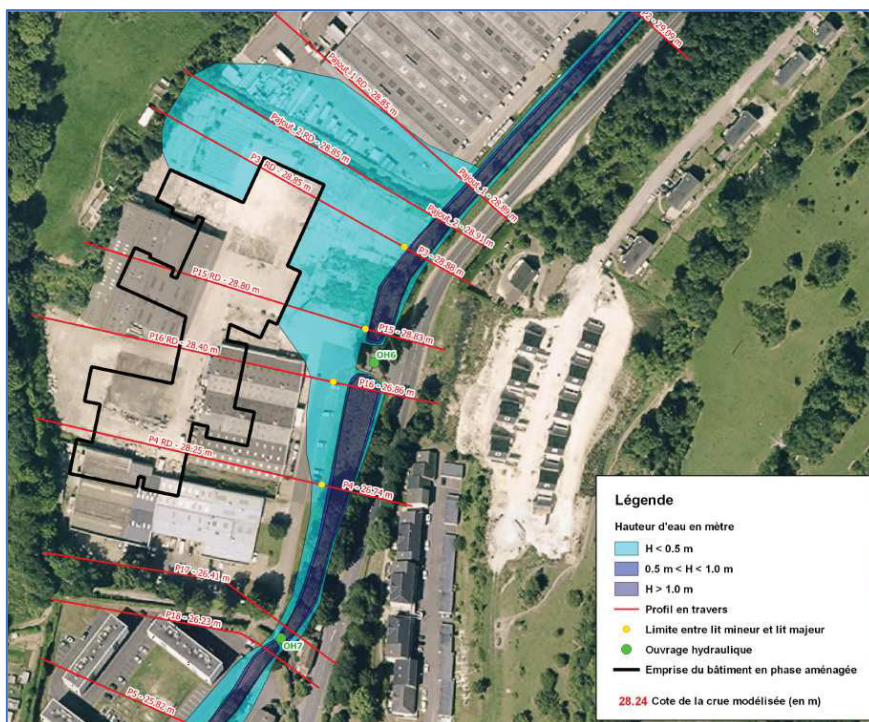


Figure 18: Cartographie des hauteurs d'eau pour une crue centennale au droit du projet – état aménagé avec compensation

Pour rappel, la cartographie de la zone inondable à l'état initial pour la crue centennale est la suivante :

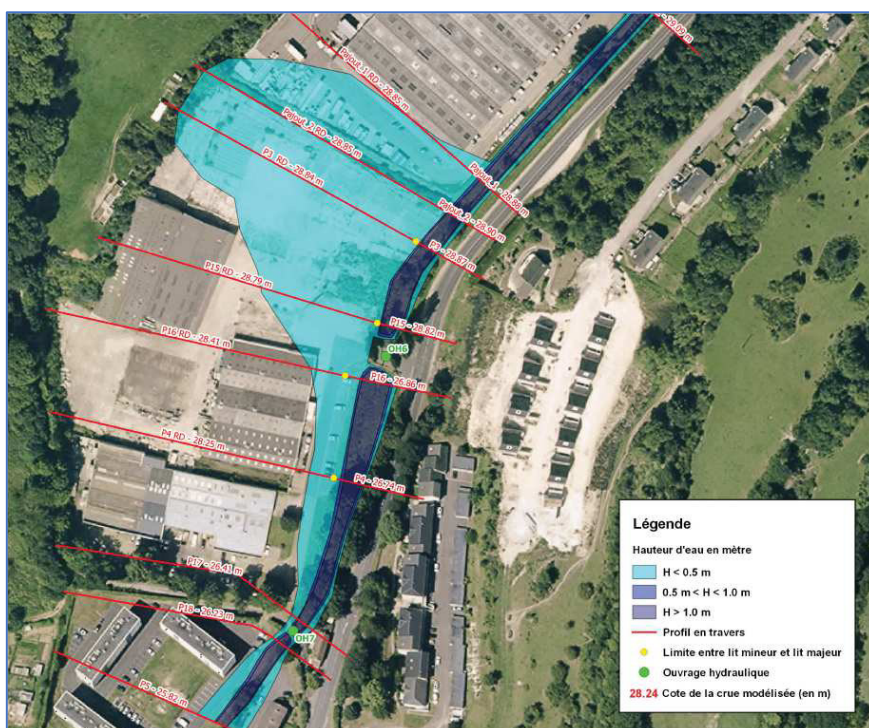


Figure 19: Cartographie des hauteurs d'eau pour une crue centennale au droit du projet – état initial

3.6 CONCLUSION

D'après la modélisation de l'état aménagé avec compensation telle que présentée dans le présent rapport, le projet n'entraîne pas d'incidence particulière sur les caractéristiques d'écoulements (hauteurs, vitesses, débits) à l'amont, au droit ou à l'aval du projet.

En effet, la zone au droit du projet n'est que partiellement inondable à l'état initial. La modélisation hydraulique permet de montrer que la parcelle du projet n'a pas de rôle de stockage en lit majeur et constitue plutôt une zone d'écoulement.

Au droit du secteur inondé, le projet prévoit la création de voiries, d'un parking et une partie du bâtiment hospitalier. Le terrain naturel est décaissé au droit des futures voiries et du parking en zone inondable compensant ainsi le volume soustrait au lit majeur du ruisseau de Paix. La modélisation en état aménagé ne modifie pas le principe hydraulique actuel dans le sens où le secteur reste une zone d'écoulement sans créer de zone de stockage.

4. ETUDE HYDRAULIQUE DU BASSIN VERSANT AMONT

Le projet intercepte sur son versant Ouest un bassin versant amont (dénommé bassin versant E lors de l'analyse hydrologique) d'une superficie de 0,57 km². Actuellement, les ruissellements de ce bassin versant amont se rejette dans le ruisseau de Paix.

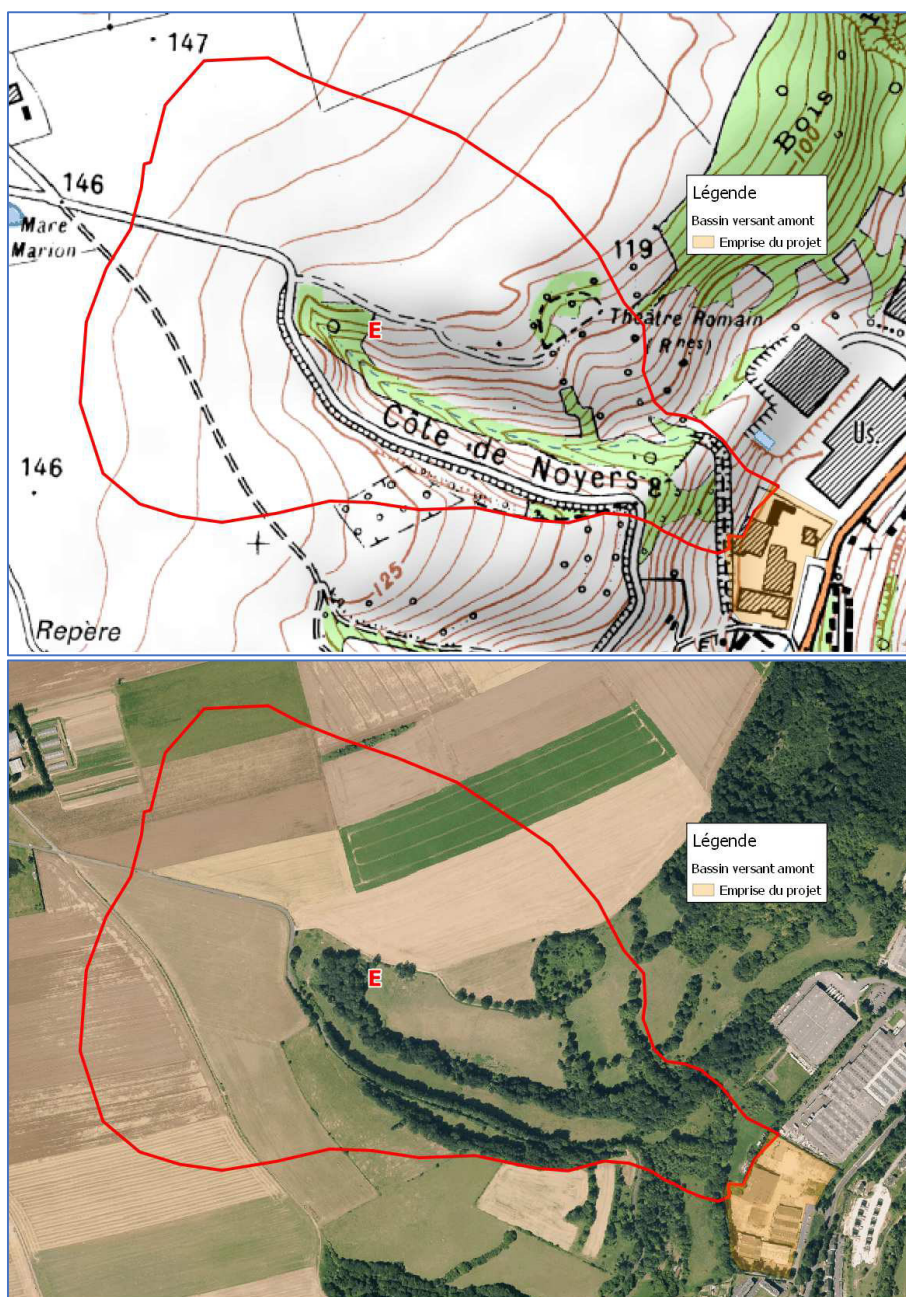


Figure 20: Bassin versant amont

Le débit de pointe pour un évènement centennal a été déterminé à 2,0 m³/s lors de la modélisation hydrologique (voir paragraphe 2.4.2.).

Afin de ne pas modifier les écoulements à l'état initial, le projet collectera les eaux de ce bassin versant amont en limite ouest de la parcelle d'étude et les acheminera au ruisseau de Paix.

Le gabarit minimal de l'ouvrage à prévoir en tenant compte d'une pente minimale de 0,5% a été dimensionné à l'aide de la formule de Manning Strickler :

$$Q = S \times K \times R h^{2/3} \sqrt{i}$$

Avec S la surface, K le coefficient de Manning Strickler pris égal à 30, Rh le rayon hydraulique et i la pente prise égale à 0,5%.

Le gabarit hydraulique du fossé ainsi dimensionné est le suivant :

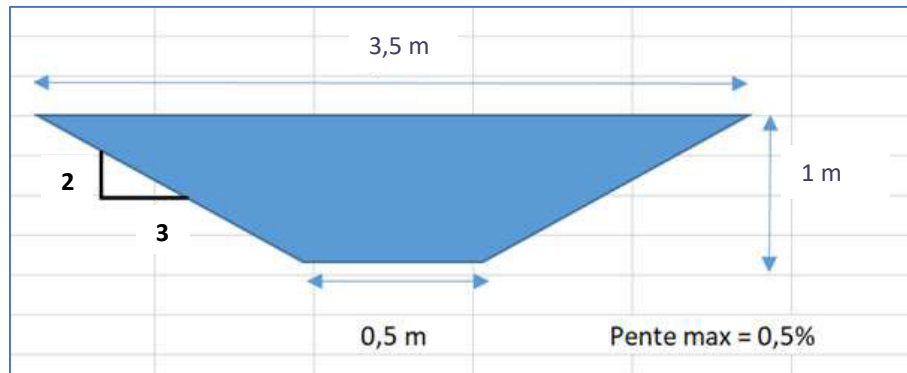


Figure 21: Gabarit du fossé périphérique d'interception des eaux du bassin versant amont

Dans le cas d'un ouvrage enterré, le gabarit minimal à prévoir pour une pente minimale de 0,5 % serait un ouvrage cadre de 1,1 m en largeur pour 1 m de hauteur ou bien de capacité hydraulique équivalente. Une grille à l'amont immédiat de cet ouvrage pourra être installée afin de limiter le risque d'obstruction par des embâcles. Un ouvrage de guidage et de dissipation de l'énergie sera prévu à l'exutoire de l'ouvrage enterré pour éviter les érosions des berges du ruisseau de Paix.

ANNEXE 1 : CARTOGRAPHIES DES ZONES INONDABLES

Construction du nouvel hopital
Saint-Jacques Les Andelys

Modélisation hydraulique du ruisseau de Paix

Période de retour decennale
Etat intial

Carte des hauteurs d'eau au droit de la zone modélisée



Echelle : 1 : 4 000



Zone inondable réalisée sur la base des données IGN. Elle pourra être précisée à l'aide de données topographiques plus précises.

Légende

Hauteur d'eau en mètre

- $H < 0.5 \text{ m}$
- $0.5 \text{ m} < H < 1.0 \text{ m}$
- $H > 1.0 \text{ m}$
- Profil en travers
- Ouvrage hydraulique
- Emprise du projet

Construction du nouvel hopital Saint-Jacques Les Andelys

Modélisation hydraulique du ruisseau de Paix

Période de retour centennale
Etat initial

Carte des hauteurs d'eau au droit de la zone modélisée








Echelle : 1 : 4 000

Zone inondable réalisée sur la base des données IGN. Elle pourra être précisée à l'aide de données topographiques plus précises.

Légende

Hauteur d'eau en mètre

-  $H < 0.5 \text{ m}$
-  $0.5 \text{ m} < H < 1.0 \text{ m}$
-  $H > 1.0 \text{ m}$
-  Profil en travers
-  Ouvrage hydraulique

Construction du nouvel hopital
Saint-Jacques Les Andelys

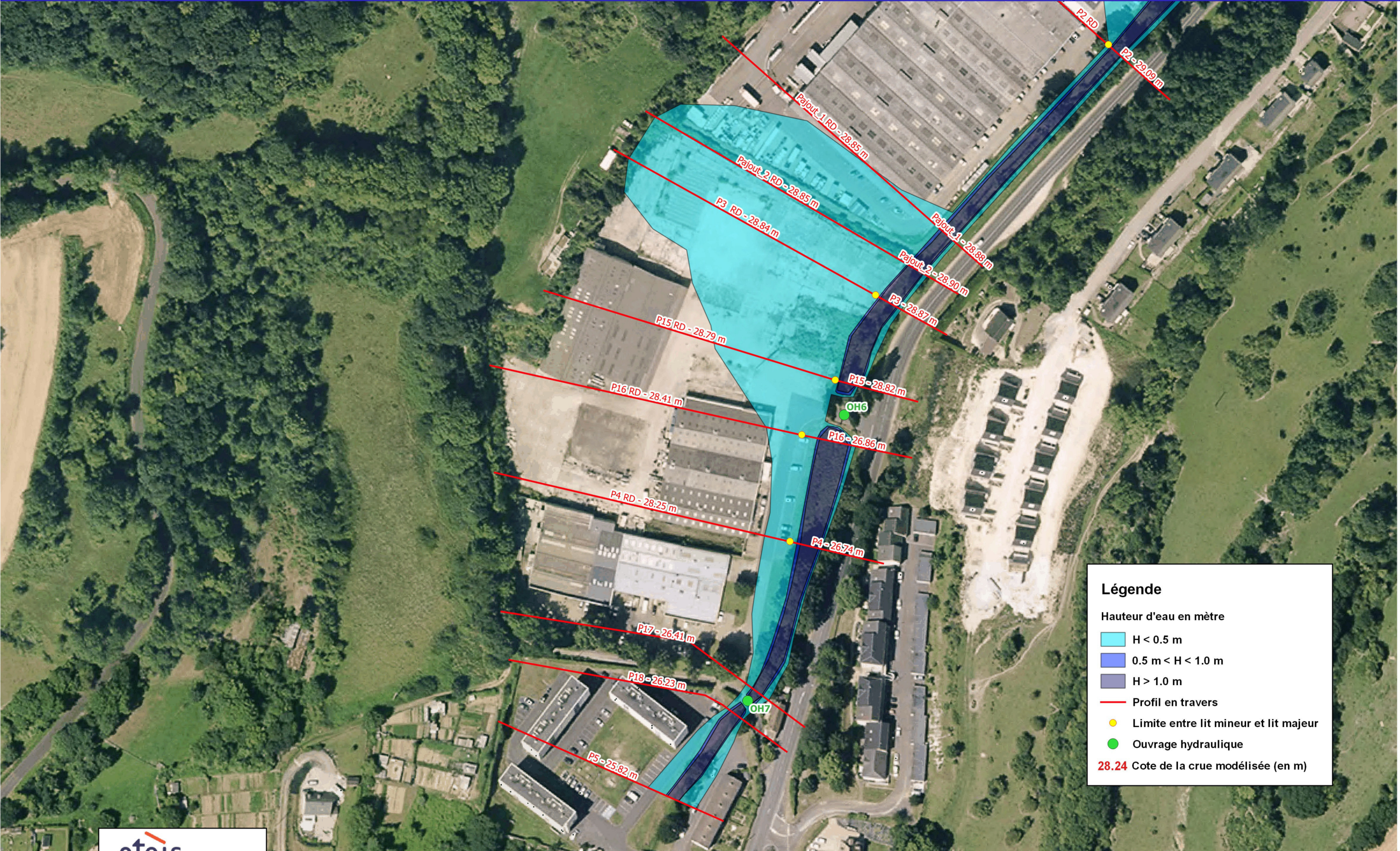
Modélisation hydraulique du ruisseau de Paix

Période de retour centennale
Etat intial

Carte des hauteurs d'eau au droit du projet de construction



Echelle : 1 : 1 500



Légende

Hauteur d'eau en mètre

- H < 0.5 m
- 0.5 m < H < 1.0 m
- H > 1.0 m

— Profil en travers

● Limite entre lit mineur et lit majeur

● Ouvrage hydraulique

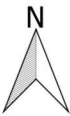
28.24 Cote de la crue modélisée (en m)

Construction du nouvel hopital
Saint-Jacques Les Andelys

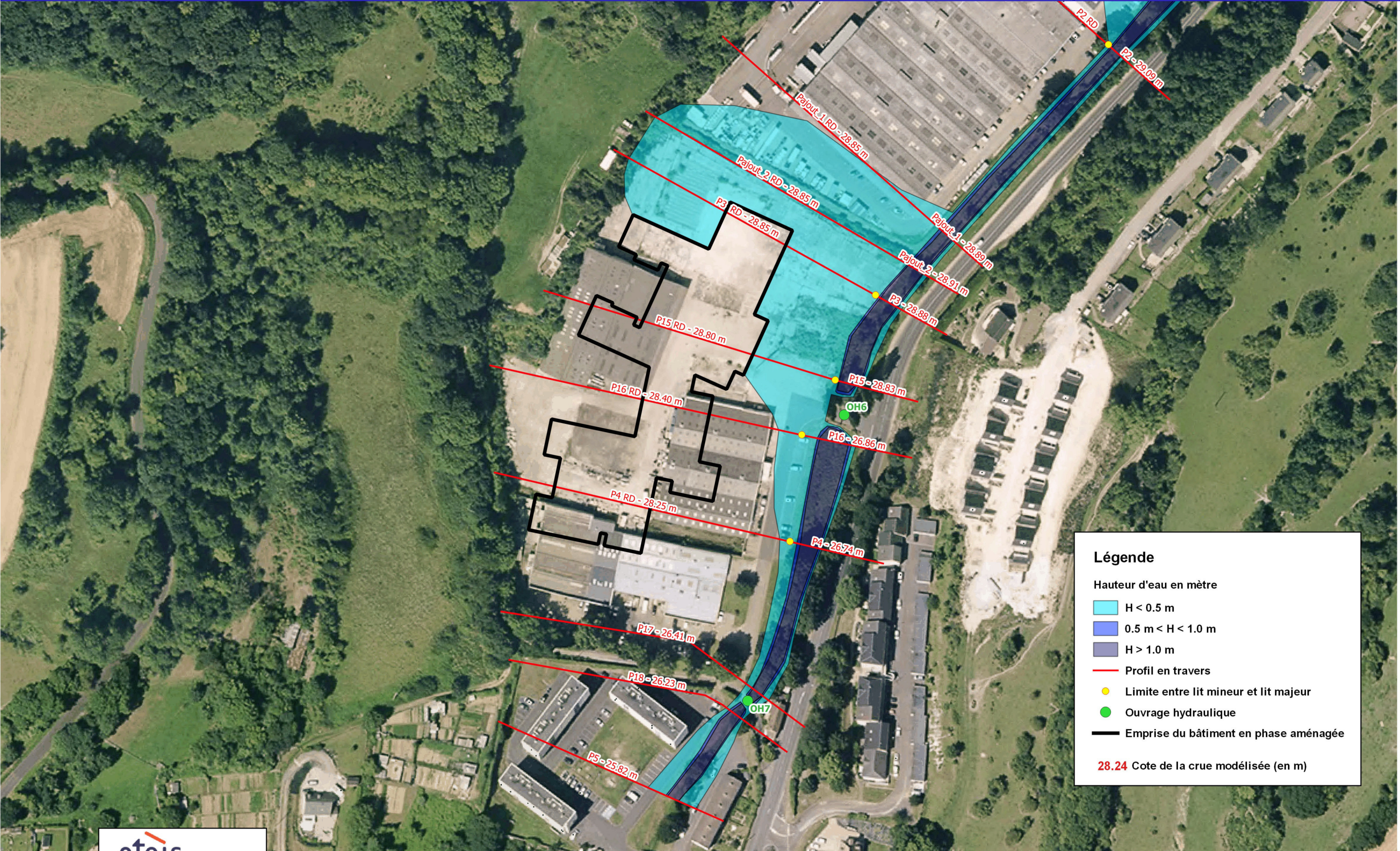
Modélisation hydraulique du ruisseau de Paix

Période de retour centennale
Etat aménagé avec compensation

Carte des hauteurs d'eau au droit du projet de construction



Echelle : 1 : 1 500



Légende

Hauteur d'eau en mètre

- H < 0.5 m
- 0.5 m < H < 1.0 m
- H > 1.0 m

Profil en travers

Limite entre lit mineur et lit majeur

Ouvrage hydraulique

Emprise du bâtiment en phase aménagée

28.24 Cote de la crue modélisée (en m)