DEPARTEMENT DES ALPES MARITIMES (06)

Projet de remplacement du pont « Brejnev » sur la Brague entre Biot et Antibes, à proximité des forages AEP de la Louve et de la Sambuque

Avis

Septembre 2026

YASIN DALI
Hydrogéologue agréé en matière d'eau et d'hygiène publique pour le département des Alpes Maritimes

TABLE DES MATIÈRES

1 OBJET DE L'AVIS 4
2 DESCRIPTION DU PROJET 5
3 CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE 8
4 PERIMETRES DE PROTECTION 11
5 AVIS 13

ANNEXE : Coupes des forages de la Louve et de la Sambuque

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Pont Brejnev vu de l'aval (photo présentation du projet - CD06) 5
Figure 2 : Coupe longitudinale du futur pont (PRO, SEGIC) 6
Figure 3 : Profils en long des tranchées et des culées en rive droite et gauche (projet - CD06) 6
Figure 4 : Plan des tranchées des nouvelles culées de rive droite et gauche (plan AVP, SEGIC) 7
Figure 5 : Coupe Ouest-Est passant par les sources romaines (C.MANGAN, 2006) 8
Figure 6 : Carottage en rive droite (SEFAB, 2025) 9
Figure 7 : Suivi piézométrique réalisé en 2021 au droit du projet (GINGER CEBTP) 10
Figure 8 : Situation des périmètres de protection immédiate et rapprochée des forages de la Louve 12

1 OBJET DE L'AVIS

J'ai été nommé par la DDARS06 pour donner un avis sur le projet de remplacement du pont « Brejnev » sur la Brague entre Biot et Antibes, porté par la Direction des Routes et des Infrastructures du Département des Alpes-Maritimes. Ce pont est situé à proximité des forages de la Louve à l'Ouest et du forage de la Sambuque au Sud exploités par la CASA pour l'alimentation en eau potable d'Antibes. Les forages font l'objet d'une déclaration d'utilité publique de leurs périmètres de protection par arrêtés préfectoraux du 5 août 1996 et du 15 avril 1997.

Cet avis est basé sur la consultation des documents suivants :

- J.POLVECHE, juin 1994, Définition des périmètres de protection réglementaires des nouveaux forages de la Louve et de la Sambuque
- Arrêté du 5 août 1996 de déclaration d'utilité publique des périmètres de protection des sources Romaines, Forages de la Louve et de la Sambuque sur la commune d'Antibes et d'autorisation au titre de la Loi sur l'Eau
- Arrêté du 15 avril 1997 modifiant l'arrêté du 5 août 1996
- Département des Alpes-Maritimes, présentation du projet de remplacement du pont « Brejnev »
- SEGIC, Plans du projet
- GINGER CEBTP, février 2021, G2AVP et suivi piézométrique
- SEFAB, janvier 2026, G2AVP
- BRLi & C.MANGAN, 2008, Constitution d'un référentiel de la connaissance en eau

2 DESCRIPTION DU PROJET

Le Département des Alpes-Maritimes a engagé le projet de reconstruction du pont Brejnev sur la RD504 qui enjambe la Brague entre les communes de Biot et Antibes. D'après les relevés topographiques, la Brague est située à 4.67 m NGF en amont et 4.45 m NGF en aval du pont, tandis que ce dernier est à 9.2 m NGF environ.

Le pont comporte deux voies de circulation pour une largeur totale de 5.5 m qui reposent sur deux culées et une pile centrale. Conséquence de la présence d'une pile centrale, la Brague s'écoule principalement sous la travée de rive droite, tandis que l'eau stagne et s'infiltre sous la travée de rive gauche (observations d'avril 2026). En période de crue, il est probable que l'écoulement soit perturbé par cette pile centrale.

Figure 1 : Pont Brejnev vu de l'aval (photo présentation du projet - CD06)



Le projet consiste à remplacer l'ouvrage existant par une structure de dimensions supérieures, dépourvue de pile centrale dans le lit du cours d'eau pour améliorer l'écoulement de la Brague. Le nouveau pont sera plus long (33 m) et plus large (11 m) pour accueillir un trottoir et une piste cyclable.

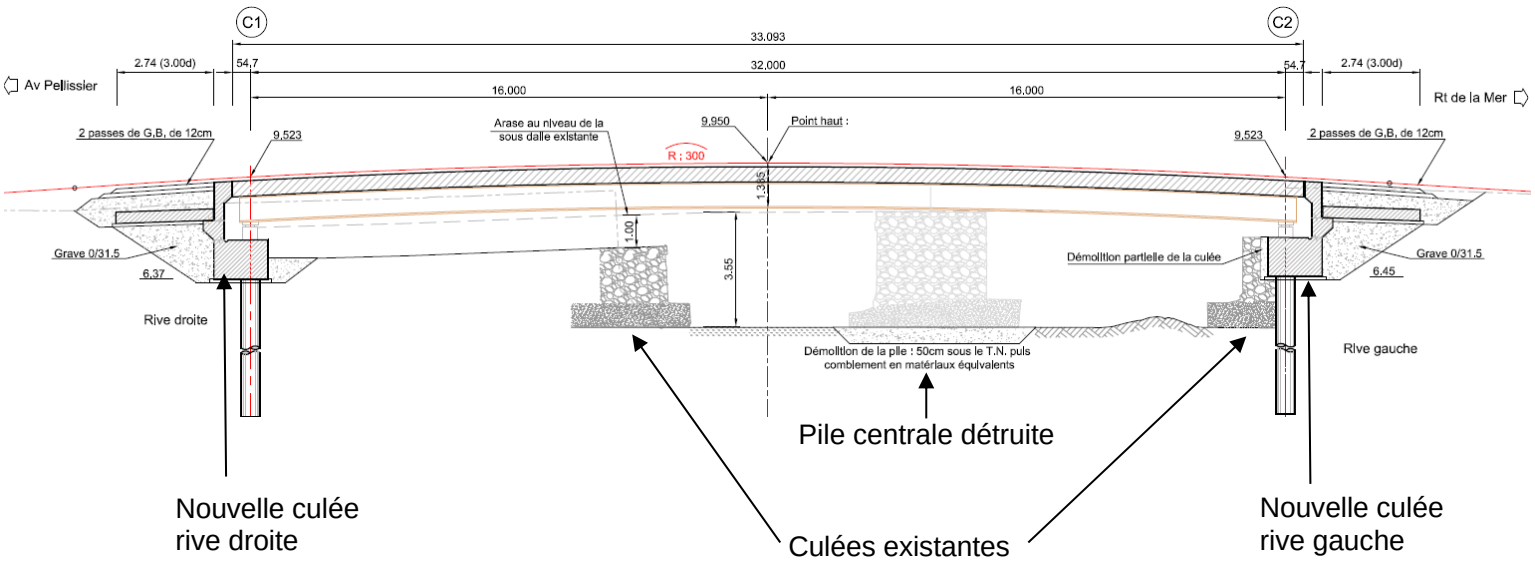
Les travaux de démolition et de fouille consisteront en :

- La démolition du tablier existant
- La démolition de la pile centrale jusqu'à 50 cm sous le TN puis comblement en matériaux équivalents (5 m x 3 m x 0.5 m)
- La réalisation de deux tranchées en rive gauche et droite pour la réalisation de deux nouvelles culées.

- La réalisation d'une tranchée de 14 m x 6 m x 1 m sous la chaussée en rive droite pour permettre la mise en place des poutres du tablier.

La culée de rive gauche sera réalisée derrière la culée existante qui sera partiellement démolie. La culée de rive droite sera éloignée d'une dizaine de mètres de la culée existante dont la partie supérieure sera arasée d'un mètre.

Figure 2 : Coupe longitudinale du futur pont (PRO, SEGIC)

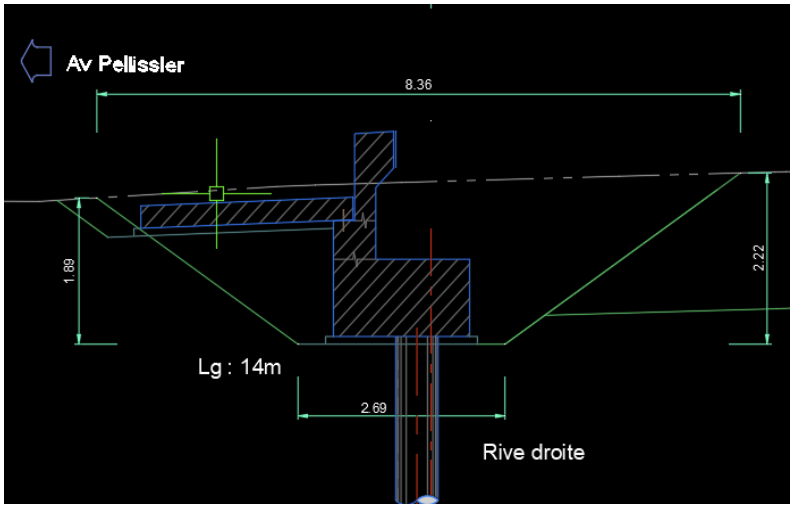


La tranchée de rive droite aura une profondeur maximale de 2.22 m (cote 6.34 m NGF) sur une longueur de 14 m et une largeur de 8.36 m.

La tranchée de rive gauche aura une profondeur maximale de 2.44 m (cote 6.45 m NGF) sur une longueur de 14 m et une largeur de 5.81 m.

Des micro-pieux de diamètre 0.4 m seront forés sous les tranchées pour le maintien des nouvelles culées. Une fois ces dernières réalisées, les tranchées seront rebouchées avec des graviers.

Figure 3 : Profils en long des tranchées et des culées en rive droite et gauche (projet - CD06)



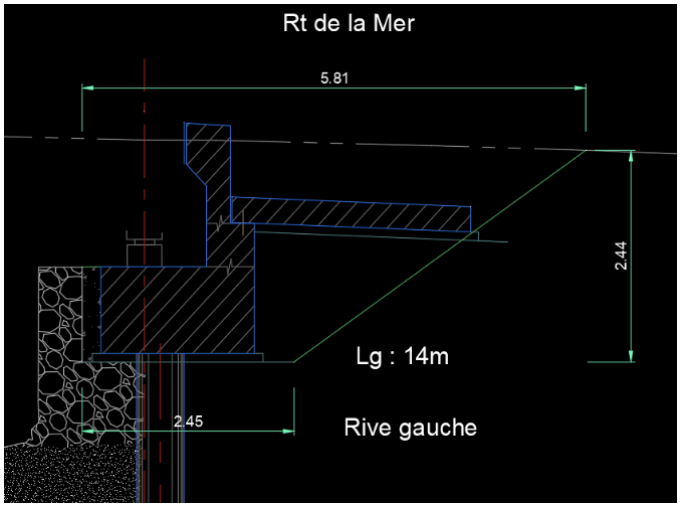
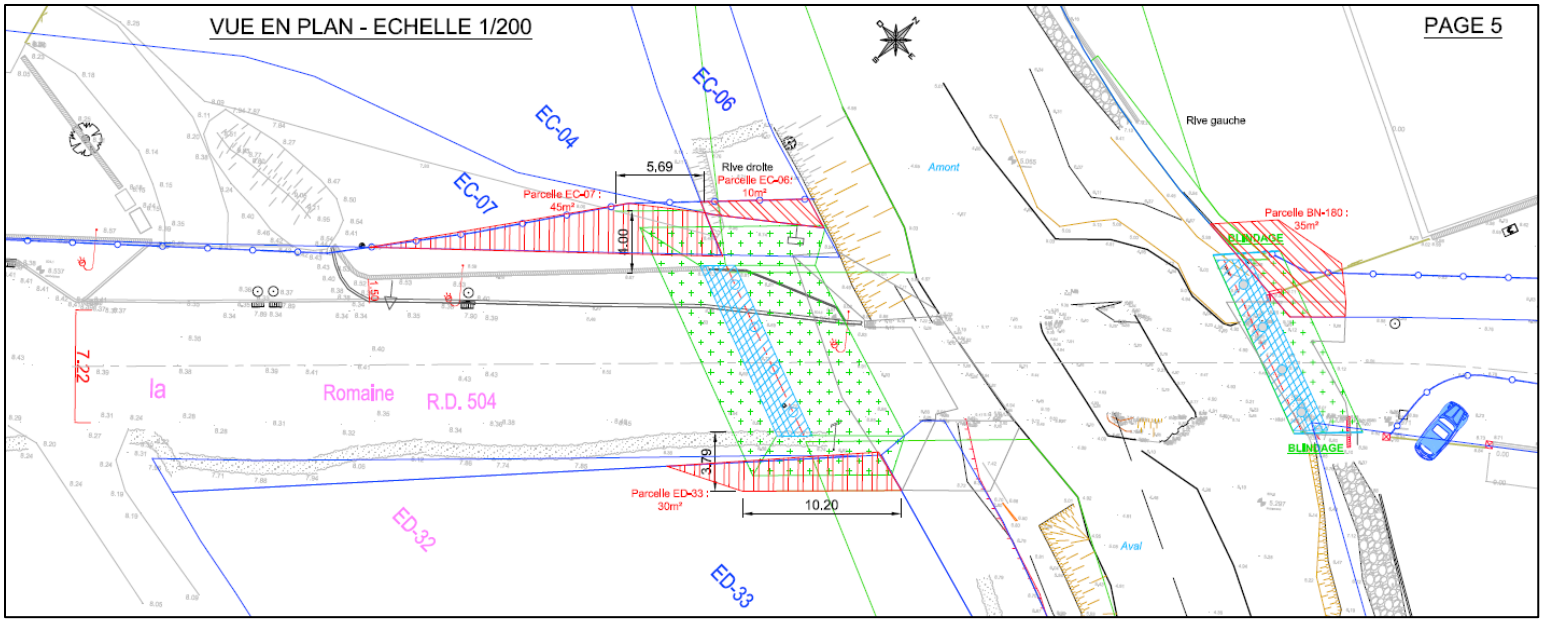


Figure 4 : Plan des tranchées des nouvelles culées de rive droite et gauche (plan AVP, SEGIC)

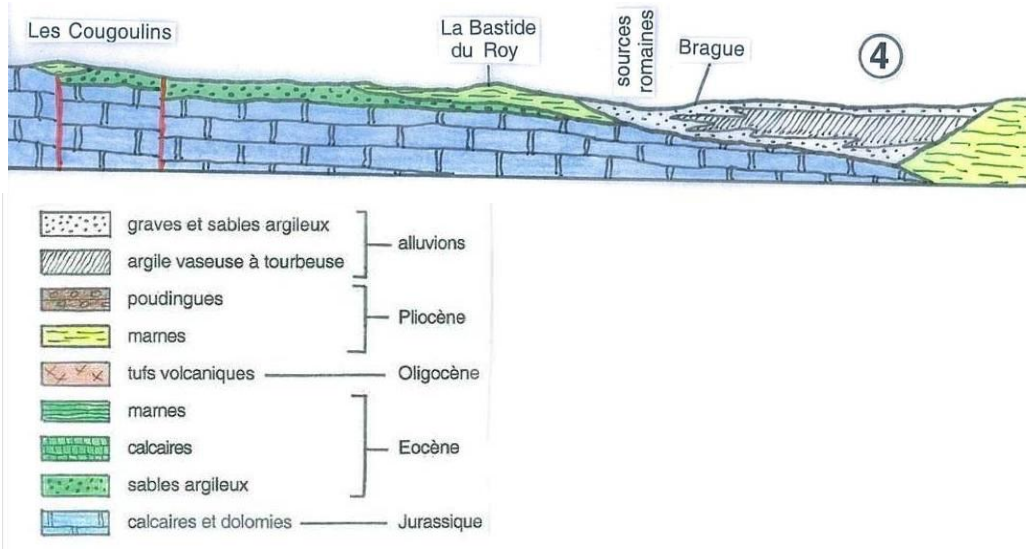


Les terrassements (en vert sur le plan ci-dessous) de rive droite auront lieu sur la voie publique (RD504) et en partie sur les parcelles EC6, EC7, EC33 et EC34 (Antibes). La partie la plus profonde (en bleu) sera sur la voie publique. En rive gauche, une partie des parcelles BN107 et BN108 et la RD504 sont concernées (Biot).

3 CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

Le projet sera réalisé dans le lit de la Brague, au sein des alluvions récentes quaternaires, constituées de sables, limons, galets, graves et argiles. Cette formation assez hétérogène est réputée aquifère, avec des compartiments grossiers (sable, graviers, galets) favorisant l'écoulement souterrain et des interfaces sablo-argileuses moins perméables pouvant mettre en captivité la nappe. Son épaisseur maximale au droit du projet est estimée à 20 m. Elle repose sur les marnes du pliocène, qui ont été érodées par endroit par surcreusement du lit de la Brague. Les alluvions sont donc en contact avec la formation sous-jacente des calcaires du Jurassique supérieur, notamment sous le lit mineur actuel et en rive droite. Cet horizon calcaire karstifié étant aquifère, il donne lieu à l'émergence en rive droite des sources dites « romaines », anciennement captées par la commune d'Antibes pour son alimentation en eau potable. Il s'agit de la nappe du jurassique qui, en charge, traverse les dépôts alluviaux les plus perméables. La nappe alluviale est donc alimentée par la Brague et par la nappe du Jurassique par drainance ascendante.

Figure 5 : Coupe Ouest-Est passant par les sources romaines (C.MANGAN, 2006)



Pour sécuriser son alimentation en eau potable, la commune d'Antibes a fait réaliser en 1990 trois forages sur les sites de la Louve (2 forages exploités) et de la Sambuque (1 forage exploité) en remplacement des sources de débordement. Ces forages disposent d'une autorisation de prélèvement de 12 000 m3/j en période normale et 24 000 m3/j en période exceptionnelle (arrêté du 5 août 1996). Les trois forages captent la zone noyée profonde des calcaires jurassiques.

Sur le site de la Louve, le plus proche (130 m) et au nord-ouest du projet, les deux forages exploités ont les caractéristiques suivantes (cf. coupes en annexe).

Le forage F0 a traversé les alluvions jusqu'à 20 m de profondeur puis les calcaires jurassiques jusqu'à 79 m. Il est crépiné dans les calcaires de 25 m à 74 m de profondeur. Il fait l'objet d'une cimentation de 0 à 26 m permettant d'isoler le forage des venues d'eau sus-jacentes.

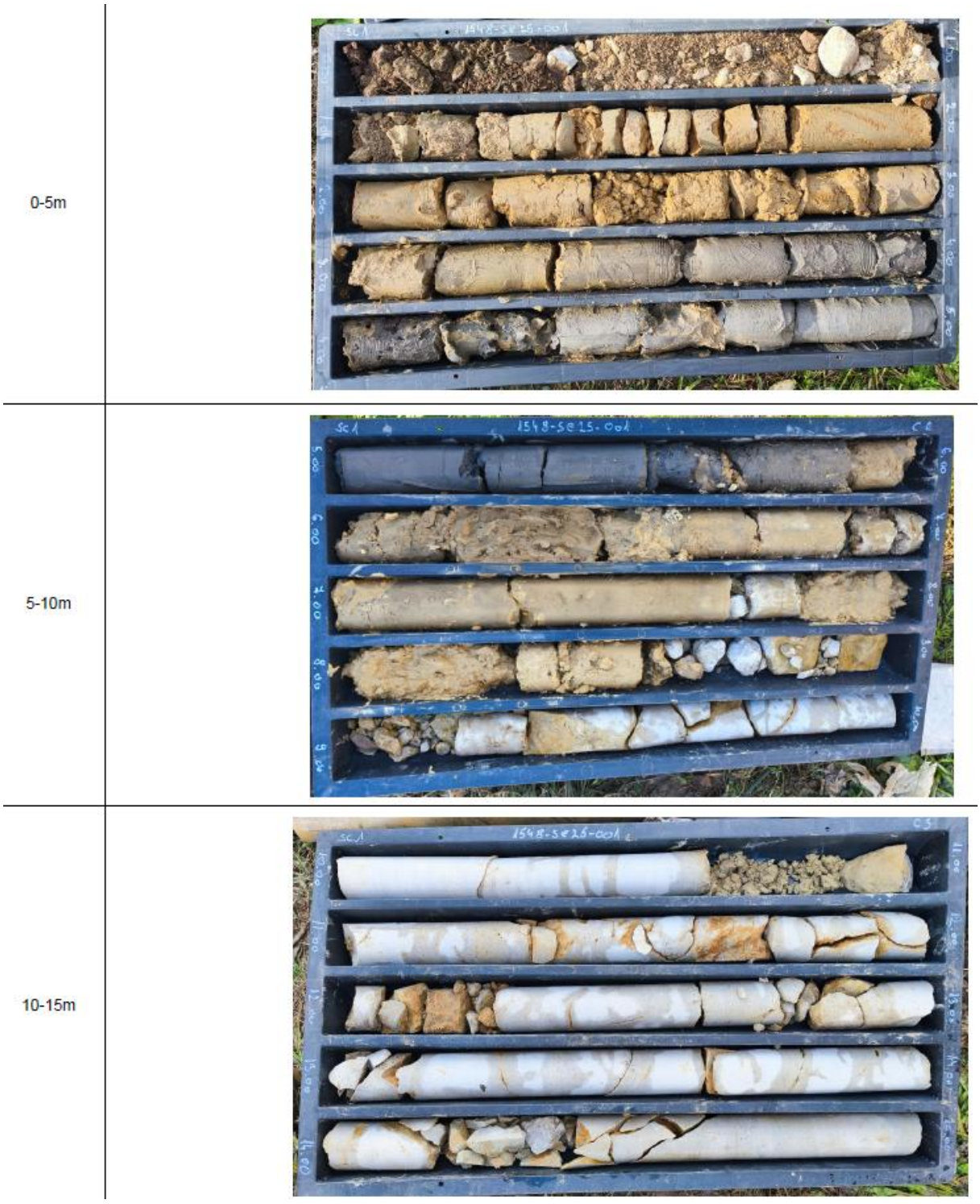
Le forage F3 a traversé les alluvions sur 5 m de profondeur puis les calcaires jurassiques jusqu'à 50.3 m. Il est crépiné dans les calcaires de 29.2 m à 50.3 m de profondeur. Il fait l'objet d'une cimentation de 0 à 30.5 m permettant d'isoler le forage des venues d'eau sus-

jacentes. Son niveau statique a été mesuré en août 1991 à une profondeur de 2.1 m, soit une cote d'environ 7 m NGF, située au-dessus du niveau de la Brague (4.5 m NGF).

Les carottages réalisés dans le cadre des études G2AVP du projet ont rapportés des épaisseurs d'alluvions variables :

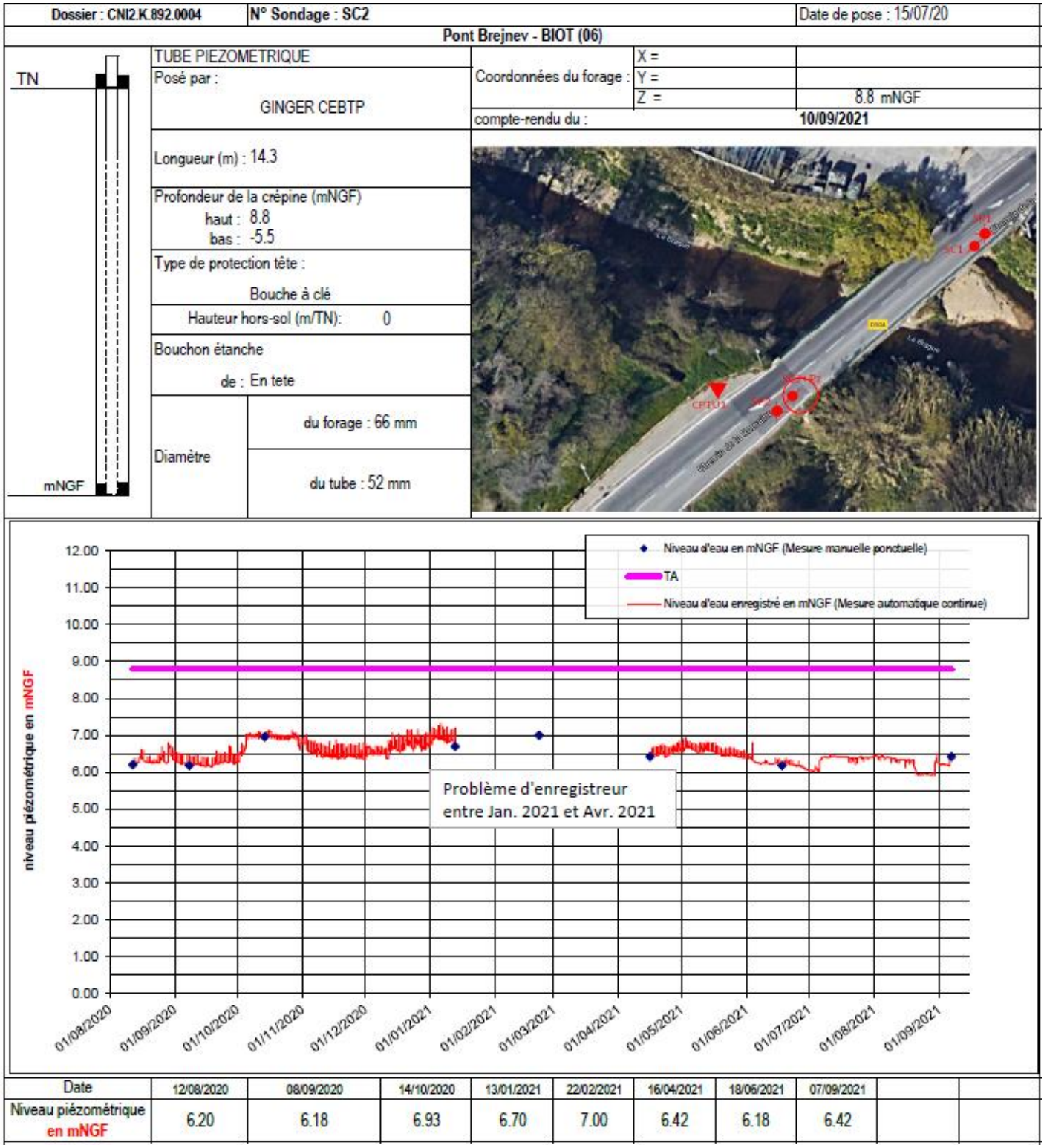
- En rive droite, 9 à 11 m d'alluvions sablo-argileuses avec des passées graveleuses avant d'atteindre les calcaires fissurés
- En rive gauche, 9 m d'alluvions sablo-graveleuses puis 9 m d'argile grise.

Figure 6 : Carottage en rive droite (SEFAB, 2025)



Un suivi piézométrique entre le 12/08/2020 et le 07/09/2021 a été réalisé au sein d'un piézomètre de 14.3 m de profondeur situé en rive droite, au niveau des futurs terrassements. Il est crépiné à la fois dans les calcaires jurassiques et dans les alluvions sus-jacentes. Ce suivi rapporte une évolution des cotes piézométriques entre 6 m NGF (juillet et août 2021) et 7.3 m NGF (janvier 2021). Ces cotes sont cohérentes avec les données disponibles aux forages de la Louve, indiquant que la nappe mesurée par le piézomètre est bien celle des calcaires jurassiques.

Figure 7 : Suivi piézométrique réalisé en 2021 au droit du projet (GINGER CEBTP)



4 PERIMETRES DE PROTECTION

Les forages de la Louve et de la Sambuque font l'objet d'une déclaration d'utilité publique de leurs périmètres de protection par arrêté du 15 avril 1997 modifiant l'arrêté du 5 août 1996. L'hydrogéologue agréé a défini 3 périmètres de protection immédiate, rapprochée et éloignée.

Dans le périmètre de protection immédiate, toute activité autre que le service d'exploitation en eau potable est interdite.

Dans le périmètre de protection rapprochée, il y a des prescriptions générales et des prescriptions particulières, notamment :

-EXCAVATIONS, CARRIERES ET SABLIERES

Toute autre création ou extension de carrières et exploitation de matériaux divers sera interdite.

Les exploitations existantes devront respecter la réglementation en vigueur pour ce type d'activité.

Le remblaiement d'excavations ainsi que le déversement de tout produit susceptible d'altérer la qualité des eaux de la nappe est interdit.

Tout nouveau mouvement de sol à l'exception des travaux de création de l'échangeur autoroutier de Biot réalisé sous la maîtrise d'ouvrage de la société ESCOTA est soumis au présent arrêté.

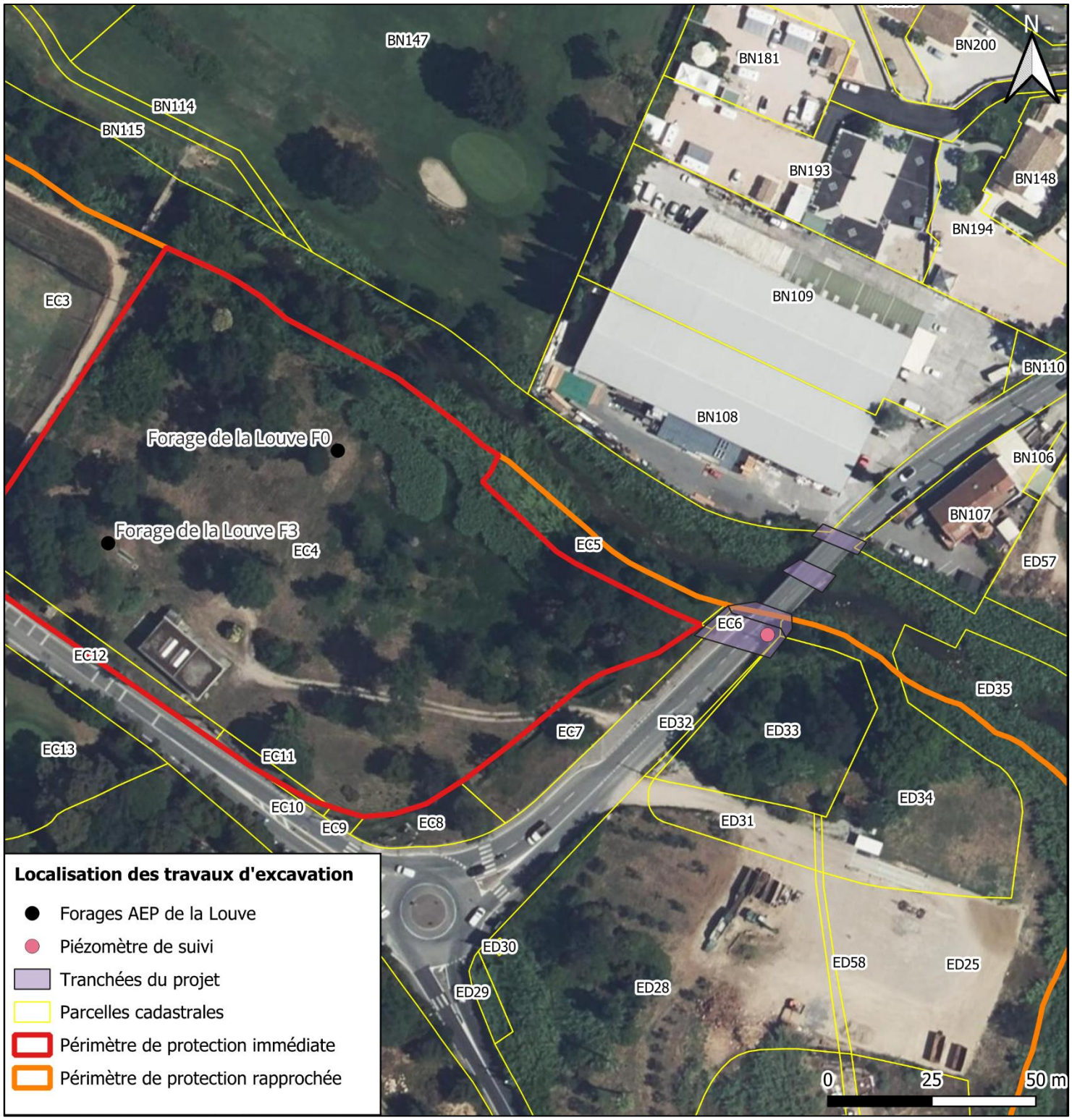
Dans le périmètre de protection éloignée, la réglementation générale s'applique.

D'après la carte ci-après, les travaux de tranchée du projet situés en rive droite sont dans le périmètre de protection rapprochée des forages et sont donc soumis à une interdiction de remblaiement par ses prescriptions particulières.

Néanmoins, nous sommes en droit de nous interroger sur le bien fondé de cette interdiction partielle car les excavations autres que les carrières et l'exploitation de matériaux divers ne semblent pas interdites (ni l'ancien projet d'échangeur routier) par l'arrêté.

L'hydrogéologue agréé avait interdit dans son avis toute excavation, à moins d'une autorisation du Comité d'Hygiène. Cette prescription n'a pas été retenue dans l'arrêté.

Figure 8 : Situation des périmètres de protection immédiate et rapprochée des forages de la Louve



5 AVIS

Les travaux de tranchée pour le remplacement du pont « Brejnev », d'une profondeur maximale de 2.22 m en rive droite, de 2.44 m en rive gauche et de 0.5 m dans le lit mineur de la Brague, seront situés dans les alluvions sablo-argileuses à sablo-graveleuses.

En rive droite, la tranchée se situe dans le périmètre de protection rapprochée des forages de la Louve et de la Sambuque, qui interdit le remblaiement des excavations mais pas explicitement l'excavation en elle-même.

Compte-tenu :

- de la couche géologique concernée, les alluvions de la Brague relativement peu perméables,
- de la profondeur limitée des excavations,
- de l'aquifère des calcaires jurassiques capté à partir de 26 m et 29 m de profondeur par les forages de la Louve les plus proches du chantier,
- de la conception des forages protégés des venues d'eaux moins profondes,
- de la nature captive de la nappe jurassique sous les alluvions, alimentant ces dernières par drainance ascendante,
- de la nature inerte des matériaux de remblaiement des tranchées des culées (gravier) et sous la pile centrale (équivalents au sable et galets in-situ),

Je donne un avis favorable au projet de travaux de remplacement du pont Brejnev, sous réserve de mise en place des mesures suivantes :

- réaliser les travaux de terrassement en période d'étiage, d'août à octobre,
- réaliser un suivi en continu de la turbidité des eaux prélevées par les forages durant les travaux de terrassement,
- réaliser un suivi hebdomadaire des hydrocarbures et HAP des eaux prélevées par les forages durant les travaux de terrassement,
- ne pas stocker de produits dangereux ou toxiques dans le périmètre de protection rapprochée et de disposer toutes les machines d'un dispositif anti-pollution,
- vérifier le caractère inerte des matériaux de remblaiement,
- mettre le chantier à l'arrêt si toute anomalie de qualité est observée aux forages, d'analyser les causes et de mettre en place les mesures correctives en lien avec l'ARS.

Le 10 septembre 2026

Yasin DALI,

Hydrogéologue agréé en matière d'eau et d'hygiène publique



ANNEXE

COUPES GEOLOGIQUES ET TECHNIQUES DES FORAGES DE LA LOUVE (F0 ET F3) ET DE LA SAMBUQUE

PIECE 4

VILLE D'ANTIBES

*****

CHAMP DE CAPTAGE DE LA LOUVE

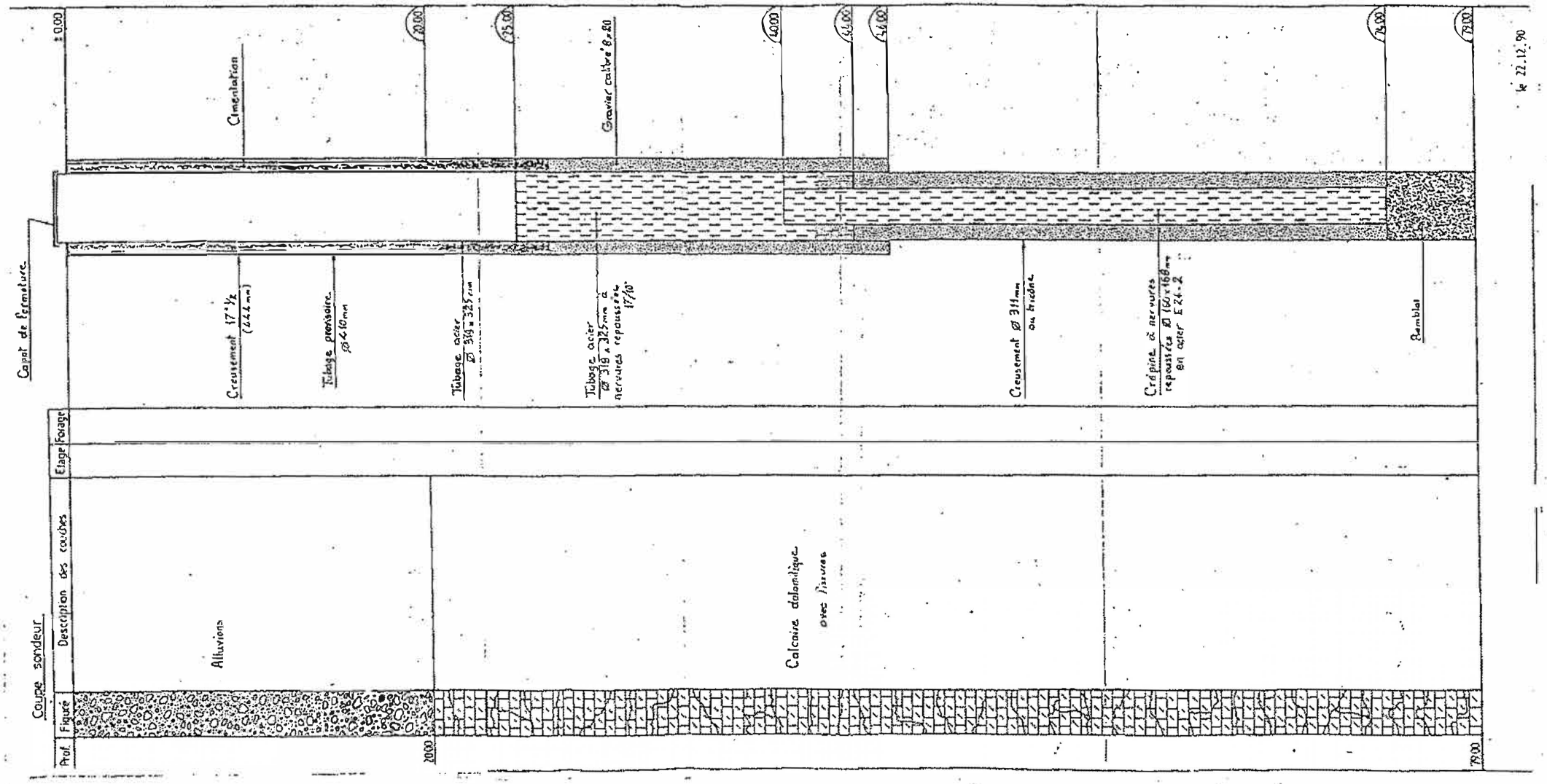
***

EXECUTION EQUIPEMENT ET RACCORDEMENT DE 2 FORAGES
REFOULANTS VERS L'USINE DES MOULIERES

Jean POLVECHE
Professeur de Géologie appliquée

le 22.12.90

PLAN DE DETAIL DES FORAGES: F0



PIECE 5.

*****

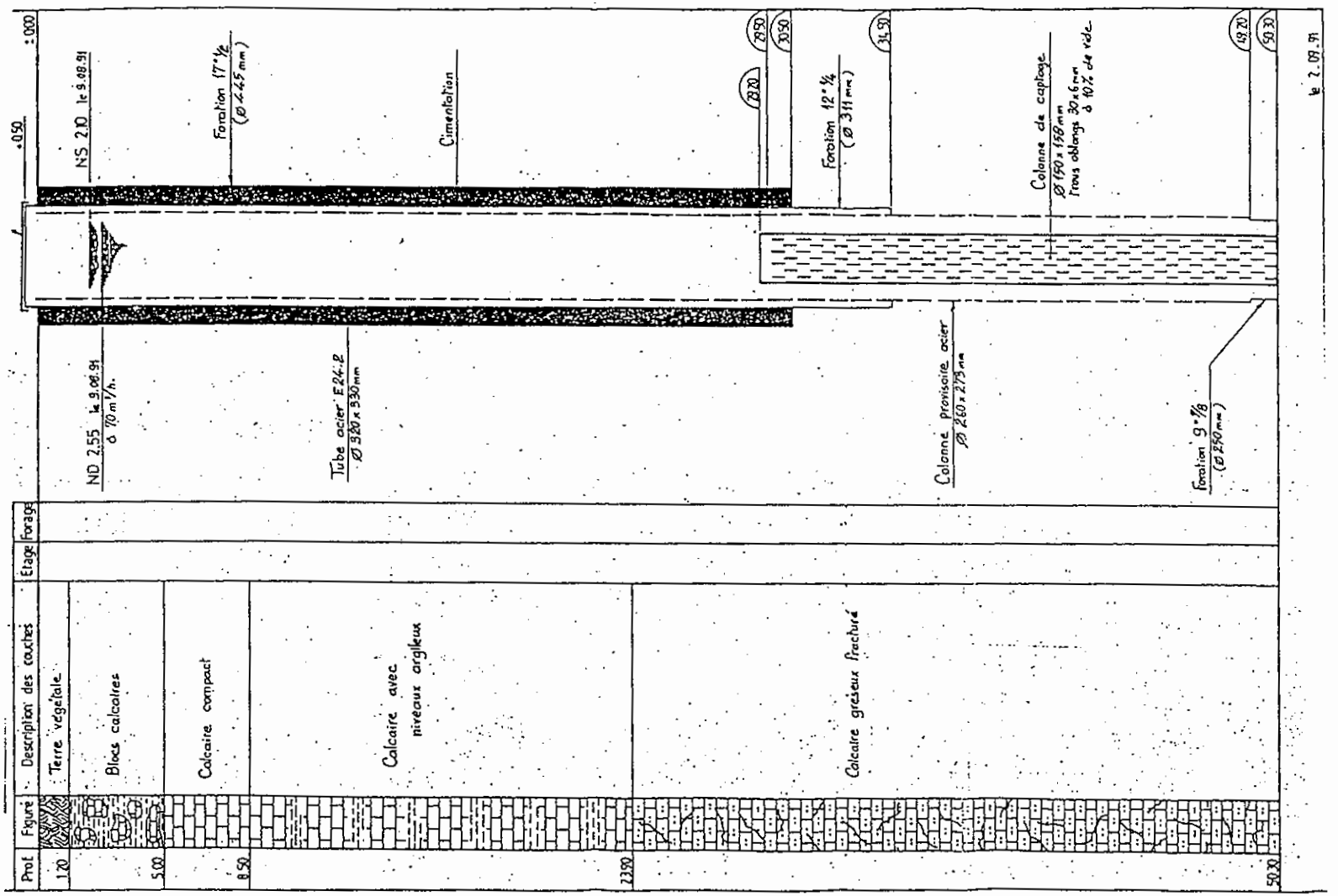
CHAMP DE CAPTAGE DE LA LOUVE

***

EXECUTION EQUIPEMENT ET RACCORDEMENT DE 2 FORAGES
REFOULANTS VERS L'USINE DES MOULIERES

PLAN DE DETAIL DES FORAGES:F3

Jean [illegible]
Professeur de Géologie appliquée



PIECE 6

VILLE D'ANTIBES

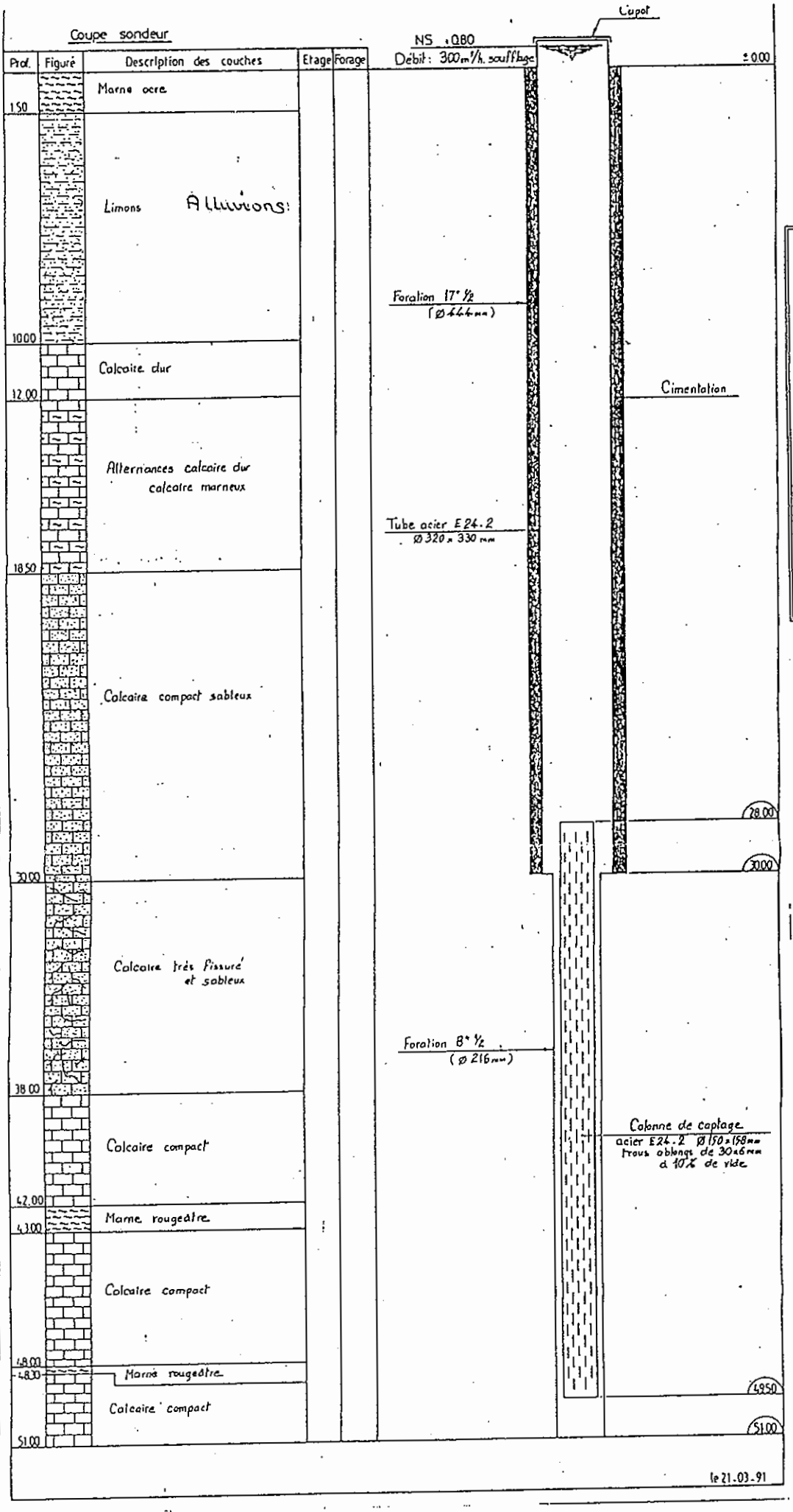
*****

CHAMP DE CAPTAGE DE LA SAMBUQUE

***

EXECUTION EQUIPEMENT ET RACCORDEMENT DE 2 FORAGES REFOULANTS VERS L'USINE DES MOULIERES

PLAN DE DETAIL DES FORAGES F1 & F2



Jean POLVÈCHE

Professeur de Géologie appliqué



RAPPORT D'ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

MODELISATION HYDRAULIQUE

DÉPARTEMENT DES ALPES-MARITIMES

PROJET DE REMPLACEMENT DU PONT BREJNEV SUR LA BRAGUE

CHEMIN DE LA ROMAINE (RD504) EN LIMITE DES COMMUNES DE ANTIBES et BIOT (06410)

N° dossier		064/26		Phase 1
B	18/06/2026	F. BEDIAT	S. OCCELLI	39
A	10/06/2026	K. CAVANIE / F. BEDIAT	S. OCCELLI	41
VERSION	DATE	REDACTION	VERIFICATION	NB PAGES

S.A.S. EAU ET PERSPECTIVES
Siège social : 540 Chemin de la Plaine - 06250 MOUGINS
Tél. : 04.92.28.20.32. - e-mail : contact@eauetperspectives.fr
S.A.S. au capital de 8.000 Euros - R.C.S. CANNES 409 415 114 - APE 7112B
SIRET : 409 415 114 00043

SOMMAIRE

TEXTE :

1 AVANT PROPOS 3

2 SITUATION GEOGRAPHIQUE 3

3 CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE 4

4 HYDROLOGIE 8

4.1 DESCRIPTION DES BASSINS VERSANTS 8
4.2 DEBITS DE REFERENCE 9
4.3 PPRI DE 2022 (ACTUELLEMENT EN VIGUEUR) 9

5 HYDRAULIQUE 14

5.1 CONSTRUCTION DU MODELE 14
5.2 RESULTATS 24
5.3 CALCUL DES PROFONDEURS D'AFFOUILLEMENT 24

6 POSITIONNEMENT DU PROJET VIS-A-VIS DE LA LOI SUR L'EAU 26

FIGURES :

Figure 1 : Situation géographique 5
Figure 2 : Contexte géologique 6
Figure 3 : Périmètres de protection des captage AEP 7
Figure 4 : Découpe des bassins versants 11
Figure 5 : Ajustement de Gumbel à la station de Biot 12
Figure 6 : Hydrogrammes de la crue de référence (3 octobre 2015) 13
Figure 7 : Géométrie du modèle 15
Figure 8 : Condition de convergence de Friedrichs-Lewy 16
Figure 9 : Occupation des sols 18
Figure 10 : Géométrie du pont en arche du golf 20
Figure 11 : Géométrie de la passerelle 1 du golf 20
Figure 12 : Géométrie de la passerelle 2 du golf 20
Figure 13 : Géométrie du pont Brejnev à l'état actuel 21
Figure 14 : Géométrie du pont Brejnev à l'état projeté 22
Figure 15 : Vérification du calage du modèle vis-à-vis du PPRI 23
Figure 16 : Hauteurs d'eau en crue décennale à l'état actuel 27
Figure 17 : Hauteurs d'eau en crue décennale à l'état projeté 28
Figure 18 : Vitesse d'écoulement en crue décennale à l'état actuel 29
Figure 19 : Vitesse d'écoulement en crue décennale à l'état projeté 30
Figure 20 : Hauteurs d'eau en crue vingtennale à l'état actuel 31
Figure 21 : Hauteurs d'eau en crue vingtennale à l'état projeté 32
Figure 22 : Vitesse d'écoulement en crue vingtennale à l'état actuel 33
Figure 23 : Vitesse d'écoulement en crue vingtennale à l'état projeté 34
Figure 24 : Hauteurs d'eau en crue centennale à l'état actuel 35
Figure 25 : Hauteurs d'eau en crue centennale à l'état projeté 36
Figure 26 Vitesse d'écoulement en crue centennale à l'état actuel 37
Figure 27 Vitesse d'écoulement en crue centennale à l'état projeté 38
Figure 28 : Comparaison des cotes d'inondation pour la crue décennale en pointe de crue 39
Figure 29 : Comparaison des cotes d'inondation pour la crue décennale au ressuyage 40

TABLEAUX :

Tableau 1 : Caractéristiques des bassins versants des cours d'eau 8
Tableau 2 : Données de débit issues du PPRI de 2022 9
Tableau 3 : Données de la station hydrométrique de Biot (Vieux Pont) 9
Tableau 4 : Débits de référence entrés dans le modèle hydraulique 10
Tableau 5 : Coefficients de rugosité adoptés. 17

1 AVANT PROPOS

Dans le cadre d'un projet de modification et remplacement du pont Brejnev (RD504/10), le Conseil Départemental des Alpes-Maritimes a missionné la société Eau et Perspectives afin que nous réalisions les études hydrologiques et hydrauliques permettant d'identifier l'incidence de ce remplacement sur les écoulements en crue de la Brague pour des événements d'occurrence décennale, vingtennale et centennale.



Photographie 1 : Le pont Bejnev, vue vers l'aval.

Le présent rapport synthétise les investigations hydrologiques et hydrauliques menées afin de définir l'incidence sur les crues de la Brague et de ses affluents des modifications projetées sur le pont.

2 SITUATION GEOGRAPHIQUE

La Brague est un cours d'eau littoral qui s'écoule depuis Chateauneuf Grasse jusqu'à son débouché en mer à Antibes.

Ce cours d'eau est rejoint, à l'aval de Biot, par la Valmasque et le vallon des Combes et se poursuit dans la plaine de la Brague, sur les communes de Biot et d'Antibes.

Les écoulements du vallon des Horts, qui rejoignent la Brague à l'aval de l'autoroute A8 en période d'étiage, sont intégrés à l'analyse de la plaine car ils rejoignent, lors des crues importantes, les écoulements de la Brague dans la plaine à l'amont de l'autoroute A8.

Le pont Brejnev rétablit les écoulements de la Brague sous le chemin de la Romaine, à la limite des communes d'Antibes et de Biot, à l'amont de l'autoroute A8.

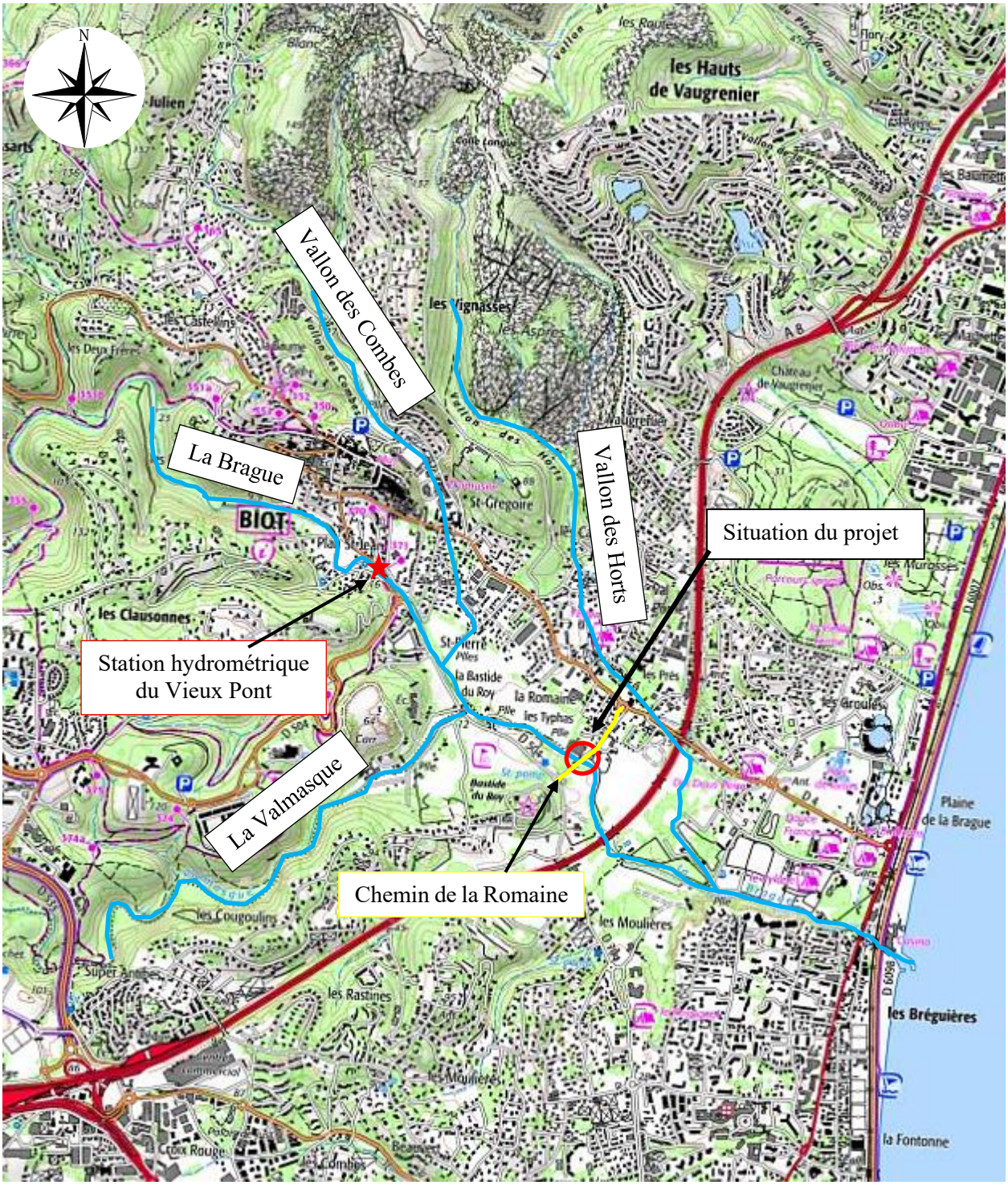
3 CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

D'après la carte géologique de la France Feuille GRASSE-CANNES au 1/50.000 du BRGM, le secteur d'étude se situe sur les alluvions de fond de vallée (Fz).

Un captage d'eau potable (forage de la Louve) est présent à une centaine de mètres du pont Brejnev, sur la rive droite de la Brague. Ainsi, la rive droite de la Brague au droit du projet est située dans le périmètre de protection rapproché, et pour partie du périmètre de protection immédiat du captage. Le projet de modification du pont, sujet de cette étude, n'entrainera pas de conséquence sur l'approvisionnent et la circulation de la nappe.

Figure 1 : Situation géographique

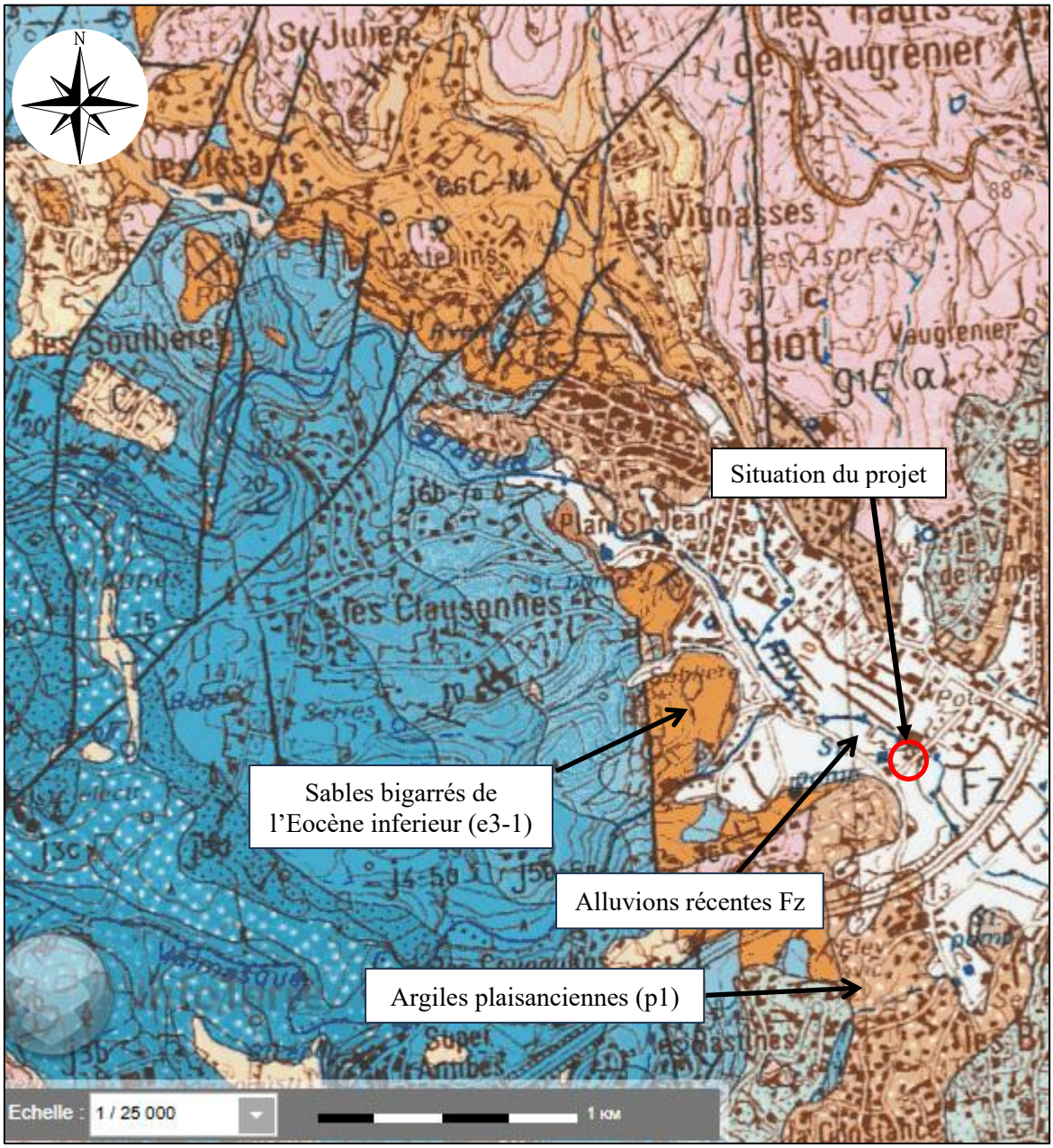
Echelle : 1/25.000



Extrait de la carte IGN du site www.geoportail.fr

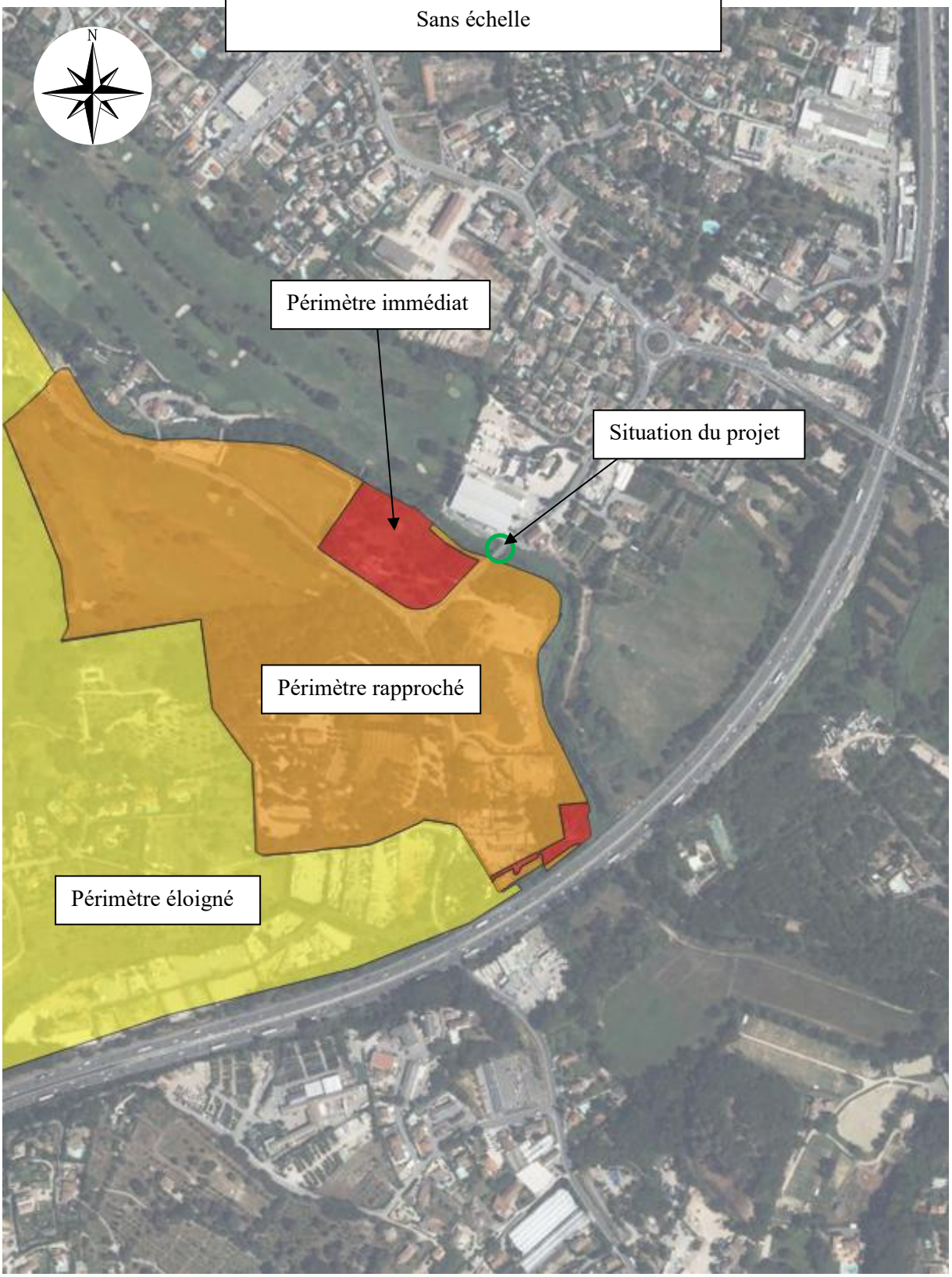
Figure 2 : Contexte géologique

Echelle : 1/25.000



Extrait de la carte géologique du site www.infoterre.brgm.fr

Figure 3 : Périmètres de protection des captage AEP
Sans échelle



4 HYDROLOGIE

4.1 DESCRIPTION DES BASSINS VERSANTS

La zone du projet est située sur la Brague, à l'aval de la confluence avec la Valmasque et le vallon des Combes. Le vallon des Horts, qui conflue avec la Brague à l'aval de l'autoroute A8 est pris en compte dans l'étude car les écoulements des deux vallons se rejoignent dans la plaine de la Brague à l'amont de l'autoroute A8 lors des crues importantes.

La découpe des bassins versant est présentée en figure 4.

Le temps de concentration des bassins versants a été estimé à l'aide de la formule de Kirpich, couramment utilisée pour les bassins versants réactifs caractérisés par des pentes marquées et des temps de réponse rapides. Cette méthode utilise la longueur hydraulique et la pente moyenne du bassin versantet est particulièrement adaptée au contexte méditerranéen où les épisodes pluvieux intenses génèrent des écoulements rapides.

La formule de Kirpich est la suivante :

$$T_c = 3.97\, L^{0.77}\, p^{-0.385}$$

avec :

- T_c: temps de concentration (min),
- L: longueur du talweg principal (km),
- p: pente moyenne (%).

Les caractéristiques des bassins versants de chaque cours d'eau sont présentées dans le tableau suivant :

Bassin versant	Taille	Pente moyenne du vallon	Longueur hydraulique (m)	Description du terrain	Formule utilisée	Temps de concentration retenu
BV_{Brague}	42,1 km²	4 %	19 km	Majoritairement urbanisé, avec environ 30% d'espaces boisés	Kirpich	2 h
$BV_{Valmasque}$	14,6 km²	3 %	9,3 km	Majoritairement occupé par des espaces boisés, à hauteur de 60% environ.	Kirpich	1h30 min
BV_{Horts}	1,4 km²	8 %	3 km	Majoritairement occupé par des espaces naturels / boisé, à hauteur de 90%	Kirpich	30 min
BV_{Combes}	3 km²	7%	4,4 km	Profil mixte avec 45% d'espace boisé, présent majoritairement à l'amont du BV.	Kirpich	30 min

Tableau 1 : Caractéristiques des bassins versants des cours d'eau

4.2 DEBITS DE REFERENCE

4.2.1 PPRI DE 1998

Le PPRI de 1998 s'appuyait sur la crue du 5 octobre 1993, dont l'occurrence était estimée à centennale. Les débits retenus dans ce document sont les suivants :

- La Brague au pont de l'A8 : 260 m^3/s
- Le vallon des Combes : 10 m^3/s
- Le vallon des Horts : 7 m^3/s
- La Valmasque : 43 m^3/s

4.3 PPRI DE 2022 (ACTUELLEMENT EN VIGUEUR)

Le PPRI actuel a été réalisé suite à la crue du 3 octobre 2015. Les données issues du PPRI sont synthétisées ci-dessous :

Vallon	$Q_{3/10/2015}$ (m^3/s)	Q_{30} (m^3/s)	Q_{100} (m^3/s)	Q_{1000} (m^3/s)
Brague à Biot	250	135	225	460
Vallon des Combes	15	3,3	5	11
Valmasque	145	57,9	96,4	197
Vallon des Horts	35	8,9	15	30

Tableau 2 : Données de débit issues du PPRI de 2022

4.3.1 DEBITS DECENNAUX ET VINGTENNAUX

Une analyse statistique (ajustement de Gumble) de la station limnimétrique de la Brague (Y5605210 La Brague au Vieux Pont à Biot) a été réalisée et recalée sur les données du PPRI (Q_{100} et Q_{30}) afin d'obtenir les débits de pointe décennaux et vingtennaux de la Brague.

Les débits pris en compte sont synthétisés dans le tableau suivant :

Date	Débit (m^3/s)	Date	Débit (m^3/s)
09/12/1990	67,2	01/11/2004	18,6
29/09/1991	59,5	02/12/2005	93,6
26/04/1993	65,5	08/12/2006	36,3
06/10/1993	83,4	15/01/2008	17
18/01/1995	65,5	14/12/2008	37,5
12/01/1996	69,7	19/09/2009	44,8
25/12/1996	144	01/11/2010	98,7
20/12/1997	87,4	06/11/2011	221
27/03/1999	24,2	11/11/2012	49,7
24/10/1999	97,1	17/01/2014	104
25/12/2000	102	21/02/2015	4,59
10/05/2002	21,3	03/10/2015	250
30/04/2004	14,7	07/02/2016	33,3

Tableau 3 : Données de la station hydrométrique de Biot (Vieux Pont)

L'ajustement de Gumbel réalisé à partir de ces données est présenté en figure 5.

Par similitude avec la méthode décrite dans le rapport de présentation du PPRI, les débits de la Valmasque, du vallon des Combes et du vallon des Horts considérés pour les crues totales de période de retour décennale et vingtennale sont respectivement de période de retour annuelle et biennale.

Le passage du débit décennal à des débits de périodes de retour inférieures se fait au travers des coefficients multiplicateurs suivants :

$$Q1 = 0,43 * Q10$$
$$Q2 = 0,58 * Q10$$

Les calculs des débits de pointe pour les crues de périodes de retour T sont présentés dans le tableau suivant :

Période de retour de l'évènement	T = 100	T = 20	T = 10
La Brague à Biot (Gumble)	Q100 = 225 m^3/s	Q20 = 121 m^3/s	Q10 = 96 m^3/s
La Valmasque	Q10 = 43 m^3/s	Q2 = 25 m^3/s	Q1 = 19 m^3/s
Vallon des Combes	Q10 = 10 m^3/s	Q2 = 6 m^3/s	Q1 = 4 m^3/s
Vallon des Horts	Q10 = 7 m^3/s	Q2 = 4 m^3/s	Q1 = 3 m^3/s

Tableau 4 : Débits de référence entrés dans le modèle hydraulique

Afin d'obtenir le débit de la Brague en amont de sa confluence avec la Valmasque, l'hydrogramme du vallon des Combes a été ajouté à celui de la Brague au niveau de la station hydrométrique La Brague à Biot.

Les hydrogrammes de crues sont obtenus à partir de la méthode de l'hydrogramme unitaire.
Les hydrogrammes de chaque bassin versant ainsi synthétisés seront utilisés en entrée du modèle. Les hydrogrammes pour la crue de 2015 sont présentés sur la figure 5.

Figure 4 : Découpe des bassins versants

Echelle graphique

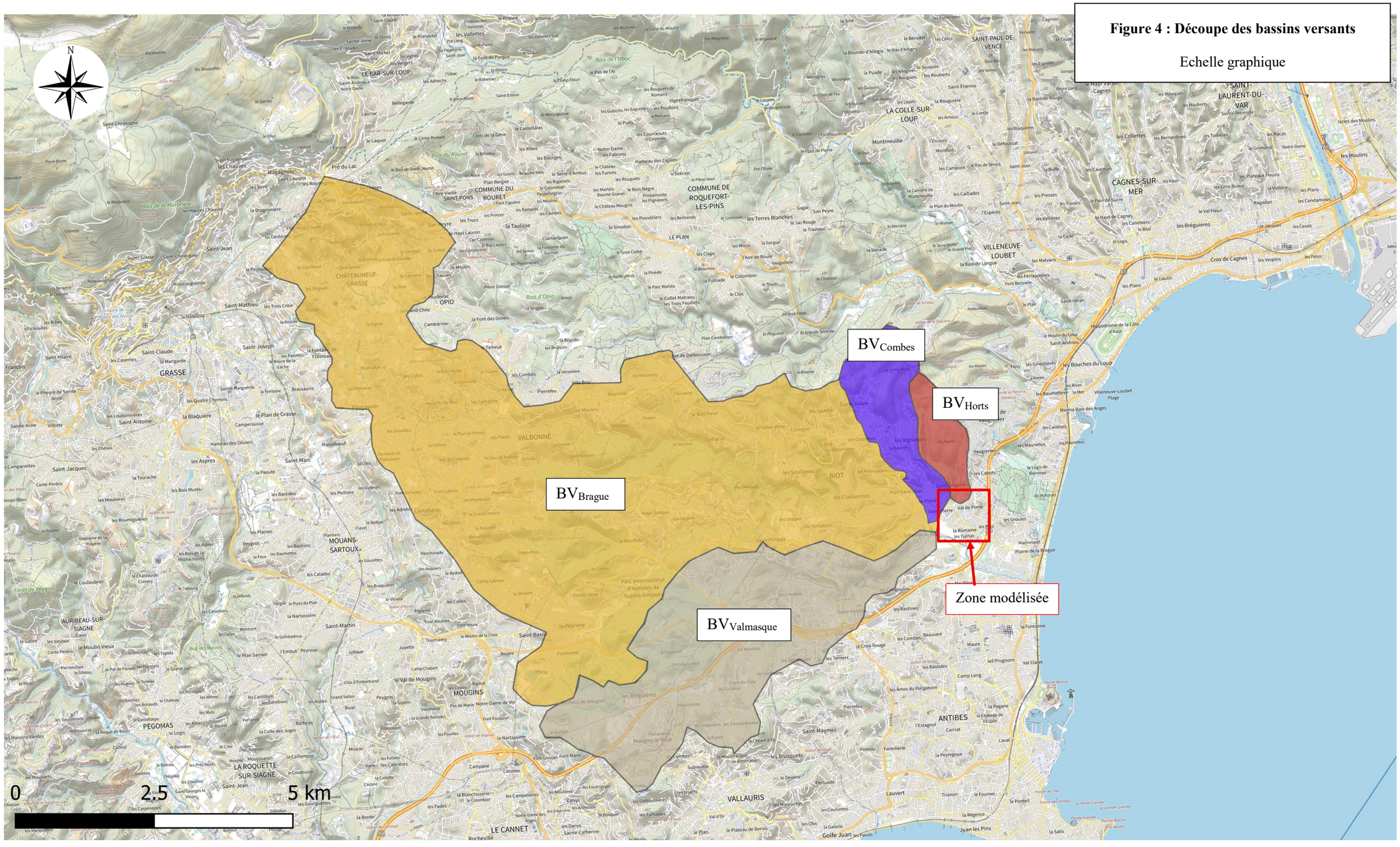


Figure 5 : Ajustement de Gumbel à la station de Biot

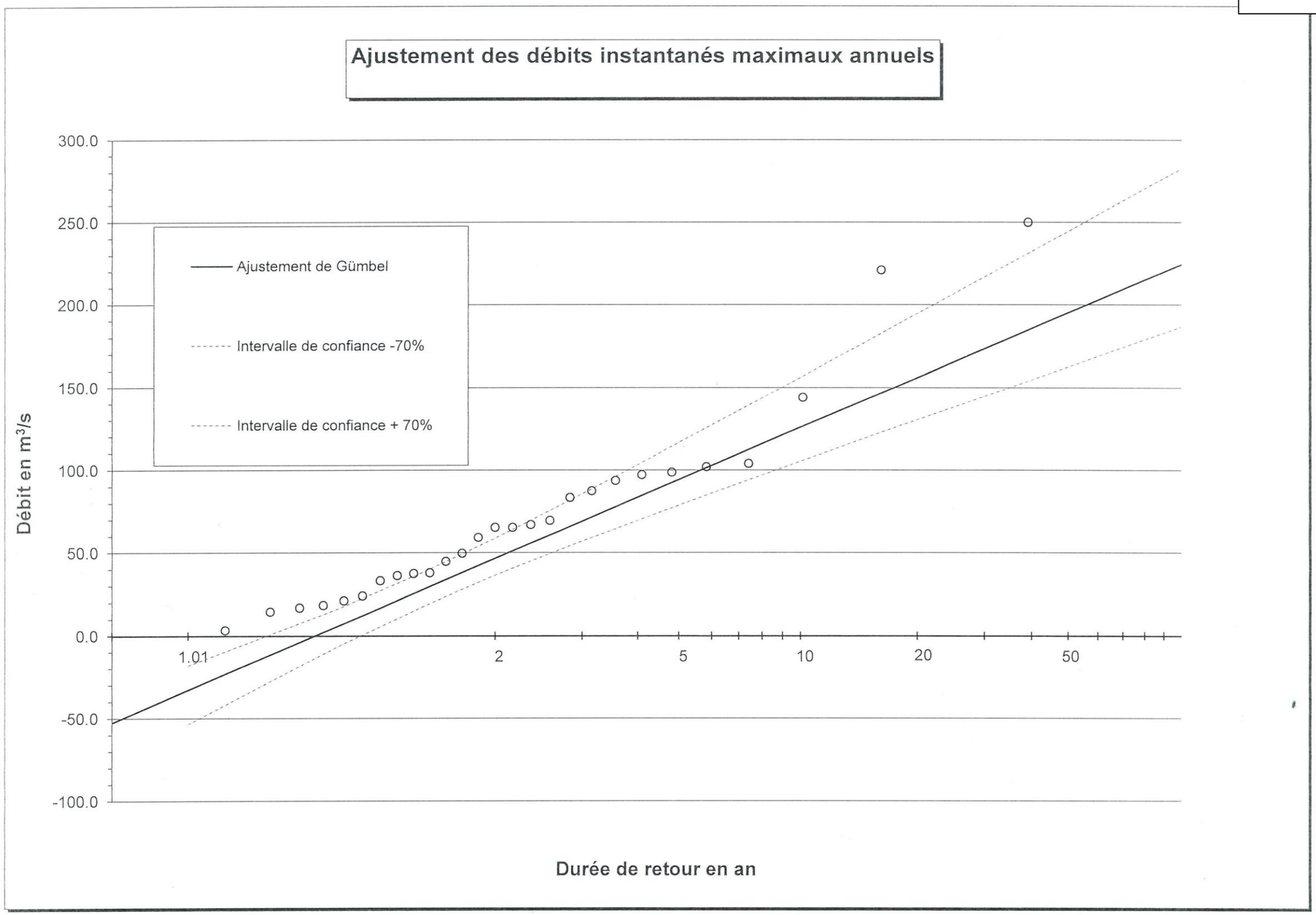
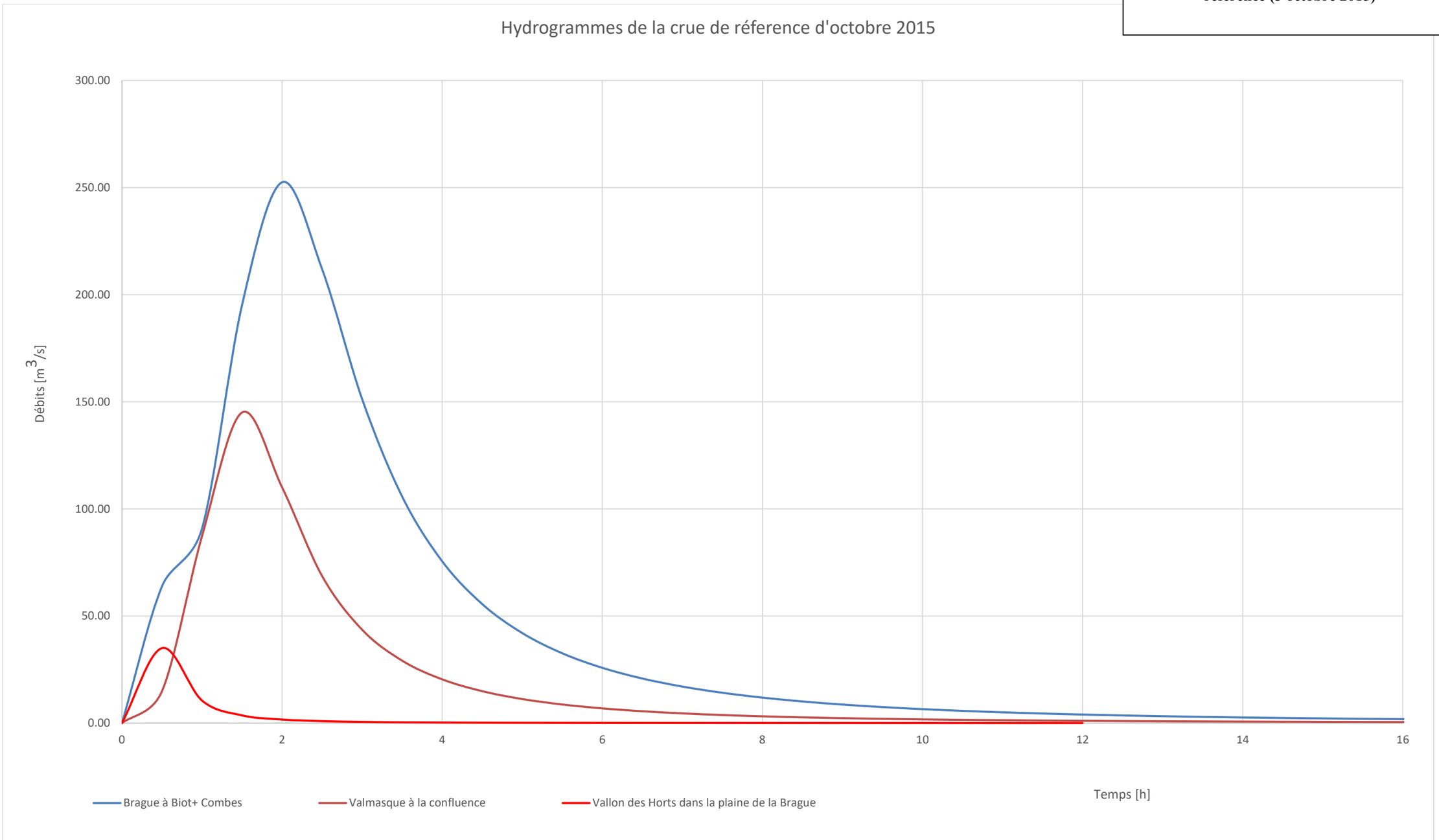


Figure 6 : Hydrogrammes de la crue de référence (3 octobre 2015)



5 HYDRAULIQUE

5.1 CONSTRUCTION DU MODELE

L'analyse hydraulique développée dans la présente étude s'appuie sur une modélisation mathématique des écoulements dans la plaine de la Brague.

Un modèle hydraulique permet de simuler les écoulements, dans les lits mineurs et majeurs des cours d'eau en crue mais également les ruissellements diffus ou la circulation dans des ouvrages hydrauliques complexes.

Les modèles « 1D » réalisent les calculs hydrauliques dans une direction de l'espace, perpendiculaire à l'écoulement. Les modèles 2D résolvent les équations dans 2 directions de l'espace sur une surface XY maillée.

Il a été retenu de réaliser **une modélisation 2D en régime transitoire, c'est-à-dire avec prise en compte de l'évolution temporelle des débits**. En effet, lors des crues importantes, l'autoroute A8, située à l'aval du pont Brejnev, fait obstacle à l'écoulement, et la plaine de la Brague joue alors le rôle de zone d'expansion de crue. Cet effet ne peut être modélisé qu'en régime transitoire afin de prendre en compte les volumes retenus dans la plaine de manière temporaire.

Le code de calcul utilisé dans le cas présent est le logiciel HEC-RAS, développé par l'US Army Corps of Engineers. HEC-RAS permet des calculs de ligne d'eau en régime permanent, transitoire ou graduellement varié.

Le mode de calcul utilisé est la forme **conservative en volume pour la résolution des équations de St Venant.**

- Equation de continuité exprimant la conservation des volumes :

$$\partial S/\partial t + \partial Q/\partial x = q$$

- Equation dynamique exprimant la conservation de la quantité de mouvement :

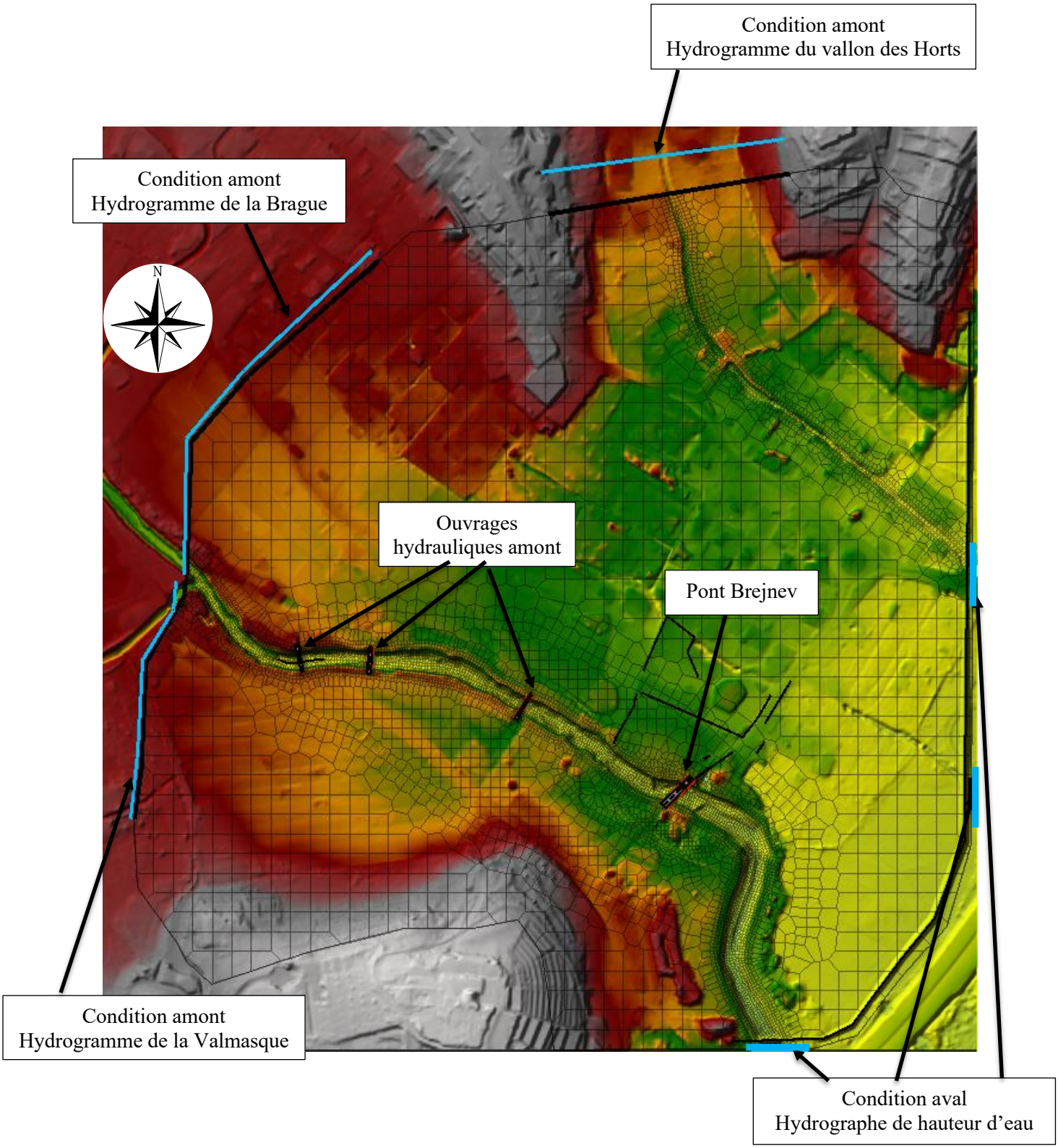
$$\partial Q/\partial t + \frac{\partial (Q^2/S)}{\partial x} = -gS\left(\frac{\partial Z}{\partial x} + J\right)$$

Le modèle gère les fronts secs en début de calcul. Il repose sur la discrétisation de l'espace en un maillage fin basé sur les plans topographiques LIDAR HD de l'IGN.

5.1.1 GEOMETRIE

L'emprise de la modélisation est définie après analyse cartographique. Elle commence à la confluence Brague/Valmasque et à l'amont du chemin du Val de Pôme pour le vallon des Horts. Elle s'étend jusqu'à l'autoroute A8. Les données topographiques sont issues des relevés LIDAR HD de l'IGN et complétées par les données topographiques terrestres relevées par le bureau de géomètres experts SEGC pour le lit mineur de la Brague, de l'autoroute A8 à plusieurs dizaines de mètres à l'amont du pont, ainsi que le relevé de la géométrie du pont Brejnev.

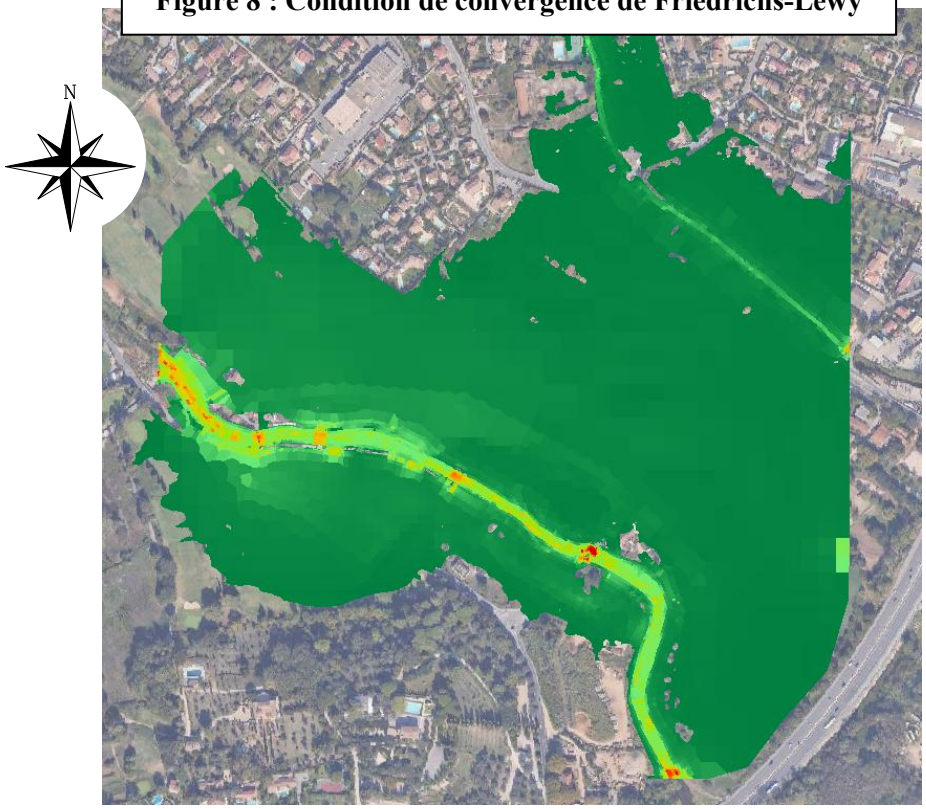
Figure 7 : Géométrie du modèle



Le modèle est constitué de 8900 mailles. Il est configuré avec des mailles de 20 m de côté dans la plaine, avec des zones de raffinement à 6 m puis 4 m dans le lit mineur, et 1 m autour du pont Brejnev. Des lignes de ruptures correspondant au haut de berges permettent d'appuyer le maillage hydraulique sur la topographie.

La taille des mailles de calculs, leur disposition, le nombre d'itérations et de boucles de calculs sont établies de manière à ce que le nombre de courant soit inférieur ou égal à 1 (calculé par le modèle), ce qui permet de valider la stabilité du résultat selon la condition de convergence de *Courant–Friedrichs–Lewy* et la non propagation d'instabilités qui sans cela conduiraient à des résultats erronés (figure 8).

Figure 8 : Condition de convergence de Friedrichs-Lewy



5.1.2 CONDITIONS AUX LIMITES

Les conditions aux limites amont correspondent aux hydrogrammes de la Valmasque, de la Brague et du Vallon des Horts.
Les conditions aval du modèle sont des hydrographes de hauteur d'eau calés sur les données du PPRI au niveau de l'autoroute A8.

Pour les crues décennale et vingtennale, l'estimation des hauteurs d'eau aval a été réalisée par estimation du débit transitant dans les ouvrages de traversée sous l'autoroute A8, puis sur l'autoroute, considérée comme un seuil.

5.1.3 BATIMENTS

Conformément aux méthodologies appliquées dans le cadre de la réalisation des PPRI, les bâtiments n'ont pas été extrudés dans le MNT, mais ont été traités avec un coefficient de rugosité faible (K = 2, n = 0,5) afin de prendre en compte leur effet sur l'écoulement.

5.1.4 COEFFICIENTS DE MANNING

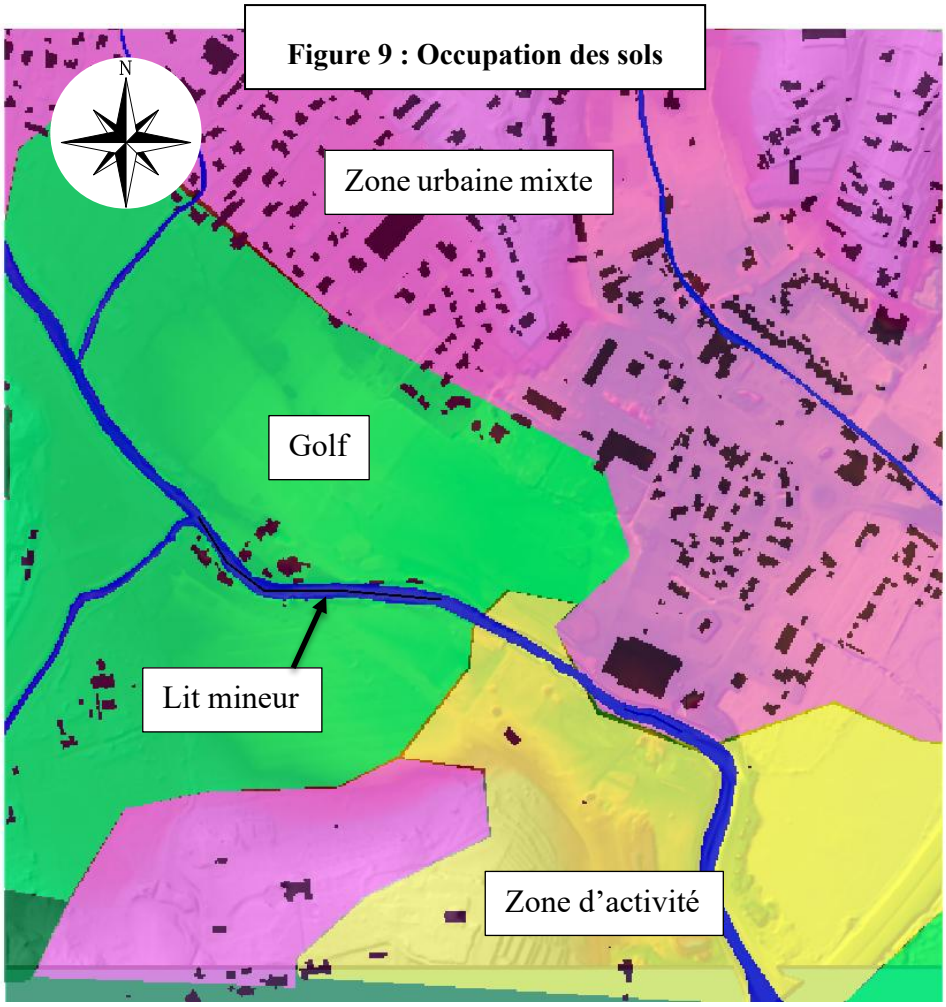
Une occupation du sol par vue satellite est ensuite ajoutée au modèle afin d'appliquer une spatialisation des coefficients de rugosité.
Selon la base de données CORINE LANDCOVER, la zone modélisée est composée de zones d'agriculture, d'un golf, de zones urbaines mixtes et de zones boisées éparses.

Les coefficients de rugosité choisis sont les suivants :

Occupation du sol	Coefficient K	Coefficient N
Lit mineur	20	0,05
Forêt	10	0,1
Voirie	50	0,02
Golf	30	0,033
Zones d'activité	7	0,14
Zone urbaine	7	0,14

Tableau 5 : Coefficients de rugosité adoptés.

Figure 9 : Occupation des sols



5.1.5 OUVRAGES

Ouvrages du Golf

Le golf situé directement à l'amont du pont, possède 3 ouvrages traversant la Brague : un pont en arche (voir photo 2) et deux passerelles (voir photo 3 pour la passerelle 1)



Photographie 2 : Pont en arche du golf, vue vers l'amont.



Photographie 3 : Passerelle 1 du golf, vue vers l'aval.

Les géométries de ces ouvrages sont les suivantes :

Figure 10 : Géométrie du pont en arche du golf

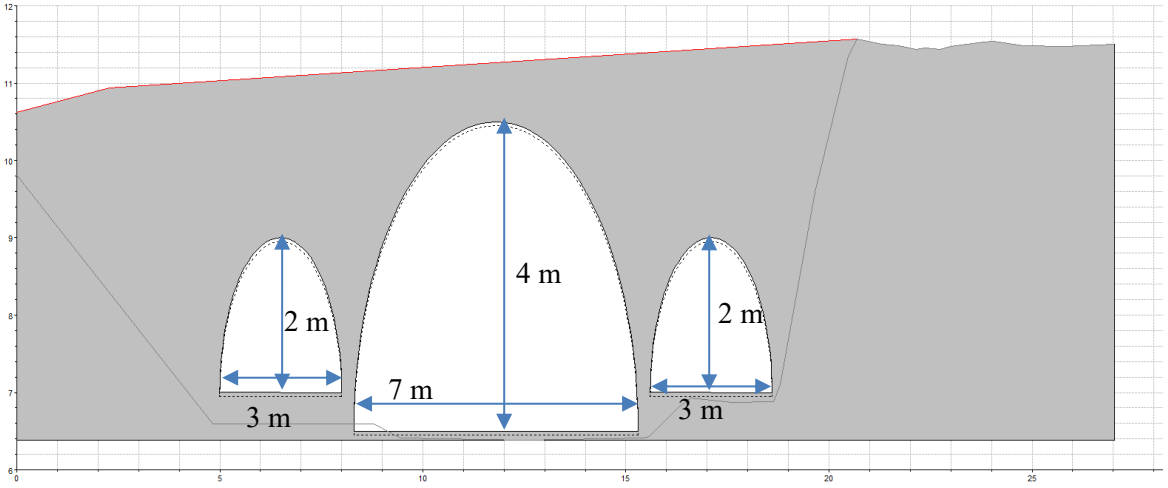


Figure 11 : Géométrie de la passerelle 1 du golf

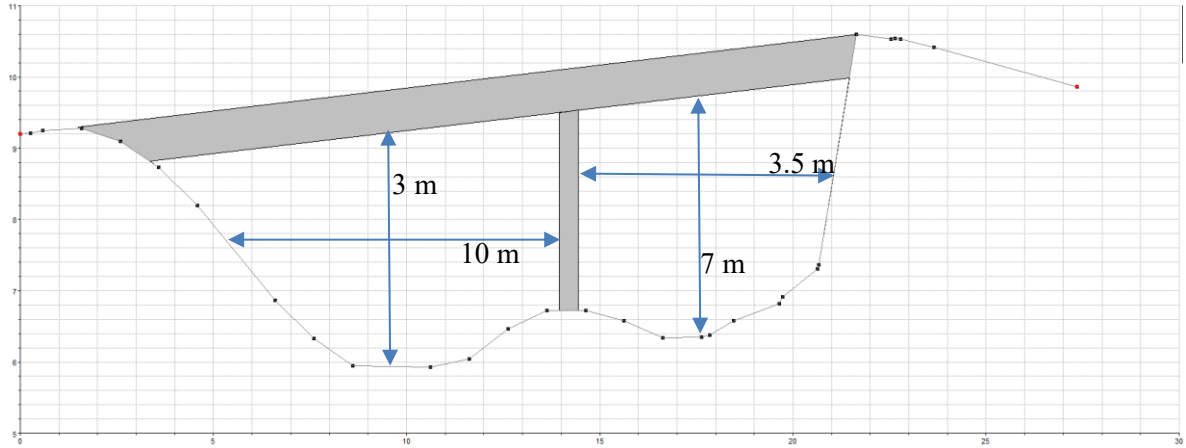
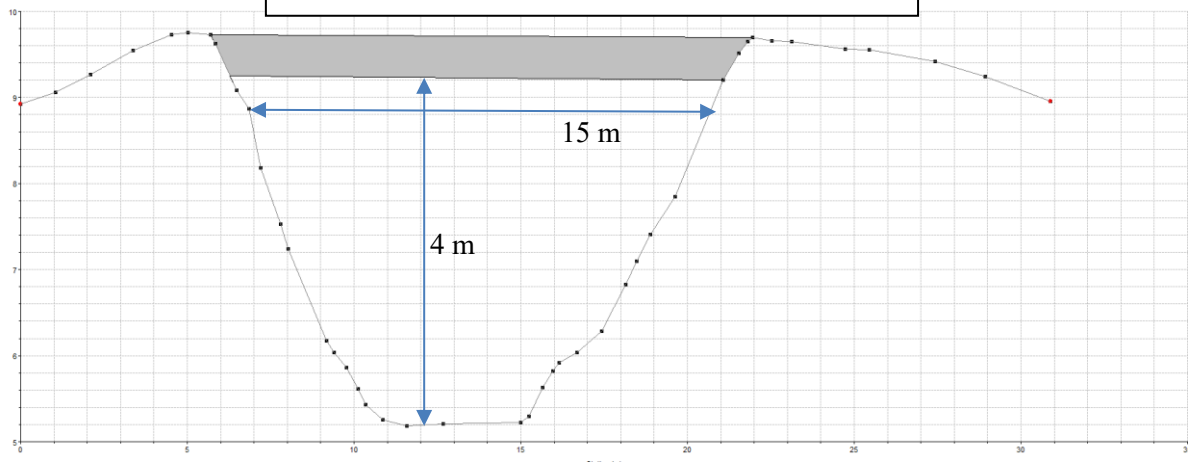


Figure 12 : Géométrie de la passerelle 2 du golf



Pont Brejnev (Etat actuel , Etat projeté)

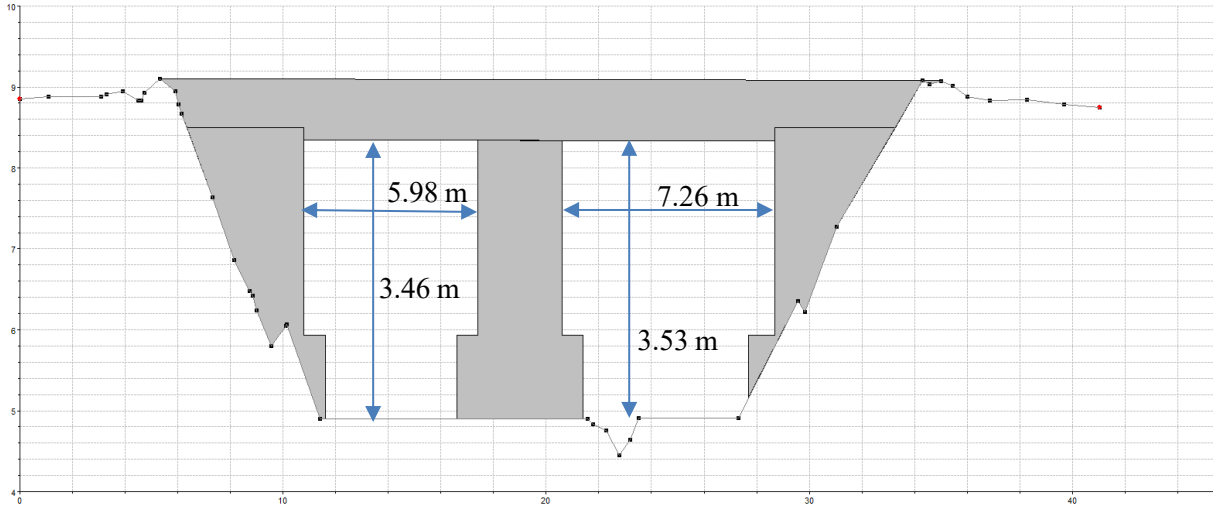
Le pont Brejnev, objet de la présente étude, est un pont à pile centrale (voir photo). A l'état projeté, la pile centrale sera retirée.



Photographie 4 : Le pont Bejnev, vue vers l'aval.

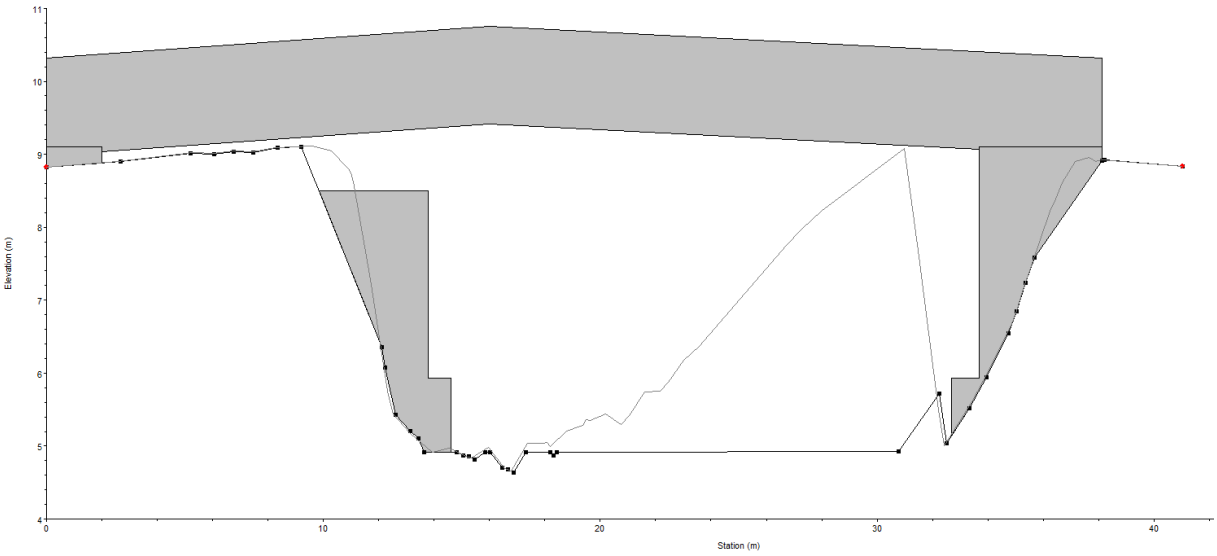
A l'état actuel, la géométrie du pont est la suivante :

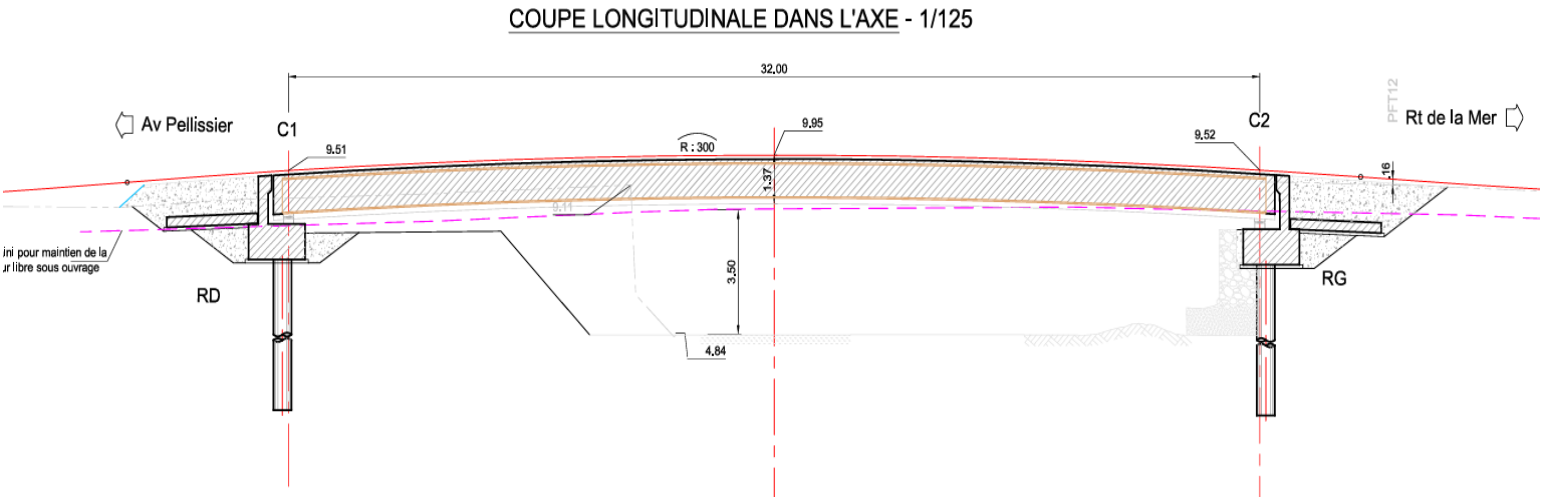
Figure 13 : Géométrie du pont Brejnev à l'état actuel



A l'état projeté, la géométrie du pont sera la suivante :

Figure 14 : Géométrie du pont Brejnev à l'état projeté





5.1.6 CALAGE DU MODELE AVEC LE PPRI

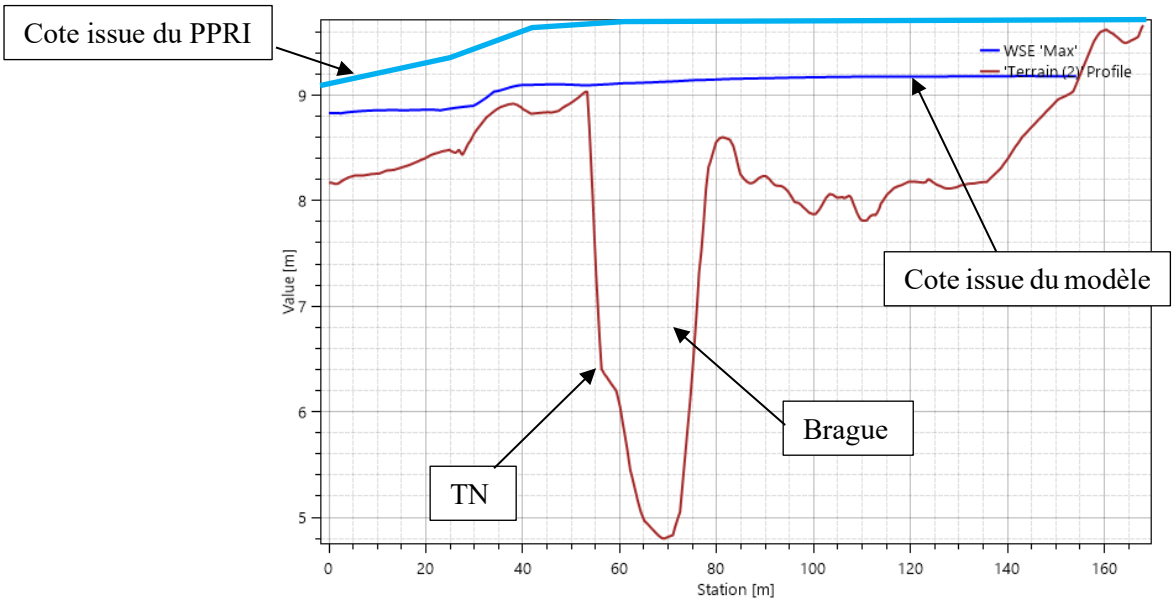
Les hydrogrammes de crue des différents cours d'eau ont été injectés dans le modèle pour un état actuel et des coefficients de rugosité ont été adaptés (tableau ci-dessus) afin d'obtenir des résultats proches des données issues des modélisations préalables à l'élaboration du projet de PPRI.

Analyse du calage

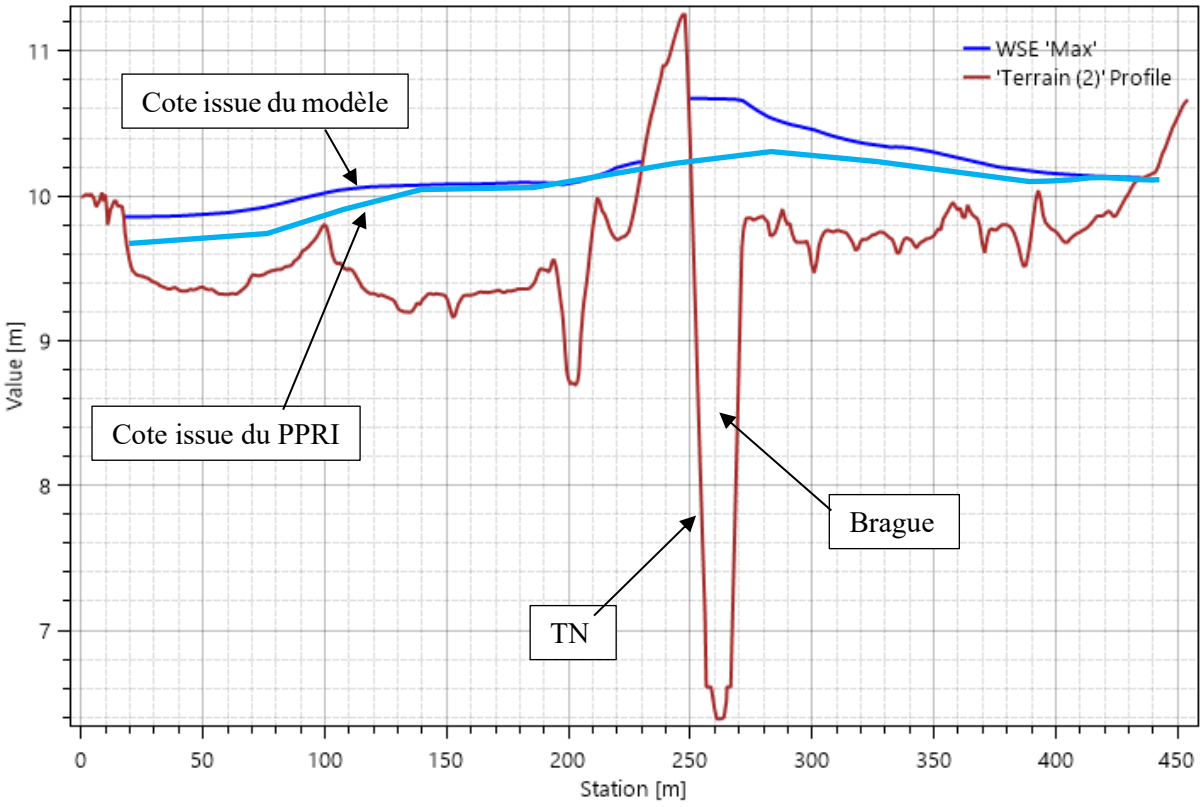
Le calage altimétrique n'a pas été poussé jusqu'à son terme du fait de la faible emprise du modèle par rapport à la plaine de la Brague. Le calage reste correct, avec des hauteurs d'eau à +/- 30 cm par rapport à celles issues du PPRI.

On peut donc considérer que le modèle réalisé est cohérent avec les données du PPRI.

Figure 15 : Vérification du calage du modèle vis-à-vis du PPRI



Profil en travers du modèle à l'amont immédiat du pont Brejnev.



Profil en travers du modèle à l'amont des ponts du golf.

A l'état projeté, la géométrie du pont Brejnev à l'état actuel a été remplacée par celle projetée transmise par le Conseil Départemental des Alpes Maritimes (suppression de la pile centrale), sans autre modification des paramètres de modélisation.

5.2 RESULTATS

Les résultats des modélisations sont présentés dans les figures 16 à 33.

Il n'y a aucune modification de hauteur d'eau et de vitesse en crue, quelque soit la crue étudiée.

Ceci est dû au fait que les écoulements sont contrôlés par les niveaux d'eau à l'aval par l'ouvrage de rétablissement sous l'autoroute A8. En effet, ces ouvrages présentent une capacité très faible par rapport aux débits de crue. Les niveaux à l'aval sont donc élevés et implique la formation d'un plan d'eau dans la plaine (vitesses d'écoulement faibles), et limite l'incidence des modifications apportées à l'ouvrage.

Des différences apparaissent dans la phase de ressuyage, avec une accélération des écoulements et une baisse des niveaux d'eau à l'état projeté (figure 33).

On peut donc en conclure que le projet de suppression de la pile centrale du pont a une incidence positive sur les écoulements lors du ressuyage des crues.

En outre, cet aménagement limitera le risque d'embâcles au droit du pont Brejnev, et supprimera les affouillements localisés à l'amont de la pile constatés.

5.3 CALCUL DES PROFONDEURS D'AFFOUILLEMENT

L'affouillement est la modification du lit de la rivière durant la crue. Il s'agit donc d'un phénomène transitoire qui tend à se régulariser après la crue. Néanmoins, il peut avoir des conséquences durables, notamment en cas de destruction de la berge.

Il dépend de la vitesse de l'écoulement, de la composition du fond du lit, ainsi que de divers facteurs de forme.

Il se décompose en trois parties :

- L'affouillement généralisé, dans une section courante de la rivière,
- L'affouillement lié à la contraction du lit,
- L'affouillement localisé à l'amont des piles de pont et des culées.

5.3.1 AFFOUILLEMENT GENERALISE

L'affouillement généralisé est la capacité du courant à mettre en suspension les particules formant le fond du lit pendant une crue.

La capacité d'entraînement est estimée au travers de la formule de Ramette :

$$V_c = 6 \cdot y^{1/6} \cdot D_{50}^{1/3}$$

Avec : V_c : Vitesse critique d'entrainement (vitesse à partir de laquelle il y a entrainement),
Y : hauteur d'eau dans le lit mineur durant la crue,
D_{50} : diamètre des particules représentant 50% des matériaux composant le lit de la rivière.

Selon la modélisation hydraulique, on a Y = 3,5 m au droit du pont Brejnev.

La granulométrie a été estimée à partir des observations de terrain. Une telle analyse permet d'apprécier uniquement la granulométrie de surface, qui peut être très différente des faciès rencontrés dans les couches inférieures. Le D_{50} des matériaux composant le lit mineur est estimé à 2 mm.

Ainsi, V_c = 0,73 m/s

La vitesse d'écoulement au droit du pont étant variant de 1,5 m/s à 2 m/s, il y a entrainement des particules, et la profondeur de l'affouillement généralisé est donnée la formule suivante :

$$P_1 = 0{,}73 \cdot q^{2/3}/D_{50}^{1/6} - y$$

Avec : P_1 : Profondeur d'affouillement généralisé,
q = Débit/Largeur de l'écoulement,
y = Profondeur de l'écoulement

On a donc P_1 = 1,25 m

5.3.2 EFFET DE CONTRACTION DU LIT

Pour tenir compte de l'effet de contraction du lit au droit de l'ouvrage, on utilise la formule de Laursen :

$$P_2 = y \times [(W_1/W_2)^{0,64} - 1]$$

Avec : P_2 : Profondeur d'affouillement dû à la contraction
W_1 : largeur du fond du lit en amont du pont,
W_2 : largeur du pont dans la section réduite,
y : profondeur de l'écoulement

Le cas du pont Brejnev est particulier. En effet, le lit mineur de la Brague s'élargit brusquement au droit du pont (arche rive gauche à l'état actuel). Le calcul de l'affouillement dû à la contraction amène donc à un dépôt sédimentaire : P2 = -0,67 m.

Néanmoins, la configuration du site invite à être prudent avec ce résultat. En effet, à l'état actuel, on observe un atterrissement sous l'arche de la rive gauche dû à l'élargissement brusque. L'écoulement se concentre donc sous l'arche en rive droite, qui ne subit pas cet effet d'élargissement.

Il est donc préférable de ne pas prendre en compte cet effet.

5.3.3 AFFOUILLEMENT AU DROIT DES PILES DE PONT

Le projet consiste à supprimer la pile centrale du pont. Il n'y a donc pas d'affouillement localisé à l'amont de la pile de pont à prendre en compte à l'état projeté.

5.3.4 AFFOUILLEMENT TOTAL

L'affouillement total correspond à la somme des affouillements calculés ci-dessus.

Afin de prendre en compte la spécificité locale des écoulements, il convient de retenir une profondeur d'affouillement de 1,25 m.

6 POSITIONNEMENT DU PROJET VIS-A-VIS DE LA LOI SUR L'EAU

Le projet concerne des travaux dans le lit de la Brague et relève donc de la Loi sur l'Eau au titre des rubriques 3.1.2.0, pour modification de profil en long et de profil en travers, et éventuellement au titre de la rubrique 3.1.5.0, pour destruction de frayère au de zone de croissance et d'alimentation de la faune aquatique.

Figure 16 : Hauteurs d'eau en crue décennale à l'état actuel
Echelle 1/2.000

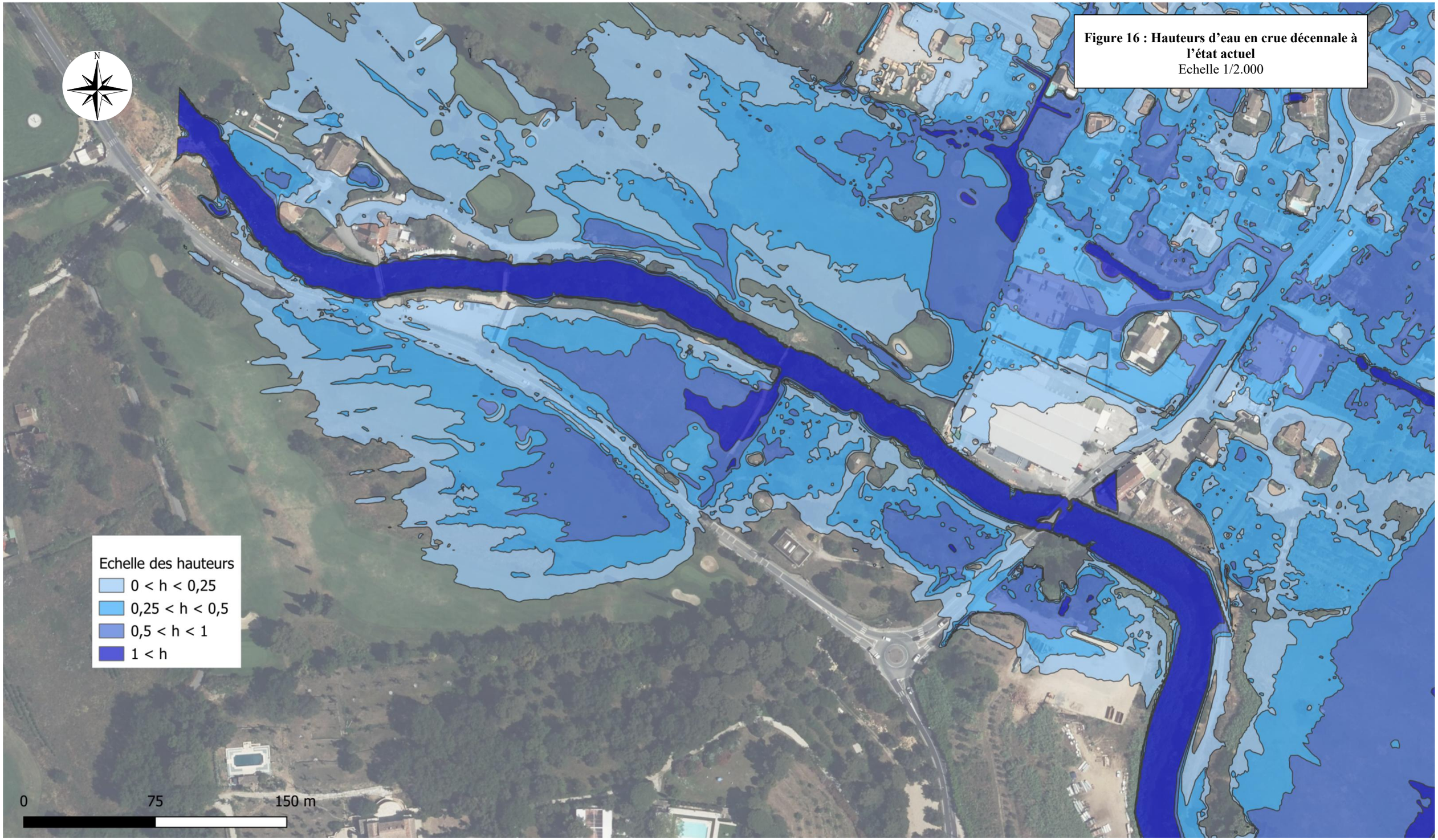


Figure 17 : Hauteurs d'eau en crue décennale à l'état projeté
Echelle 1/2.000

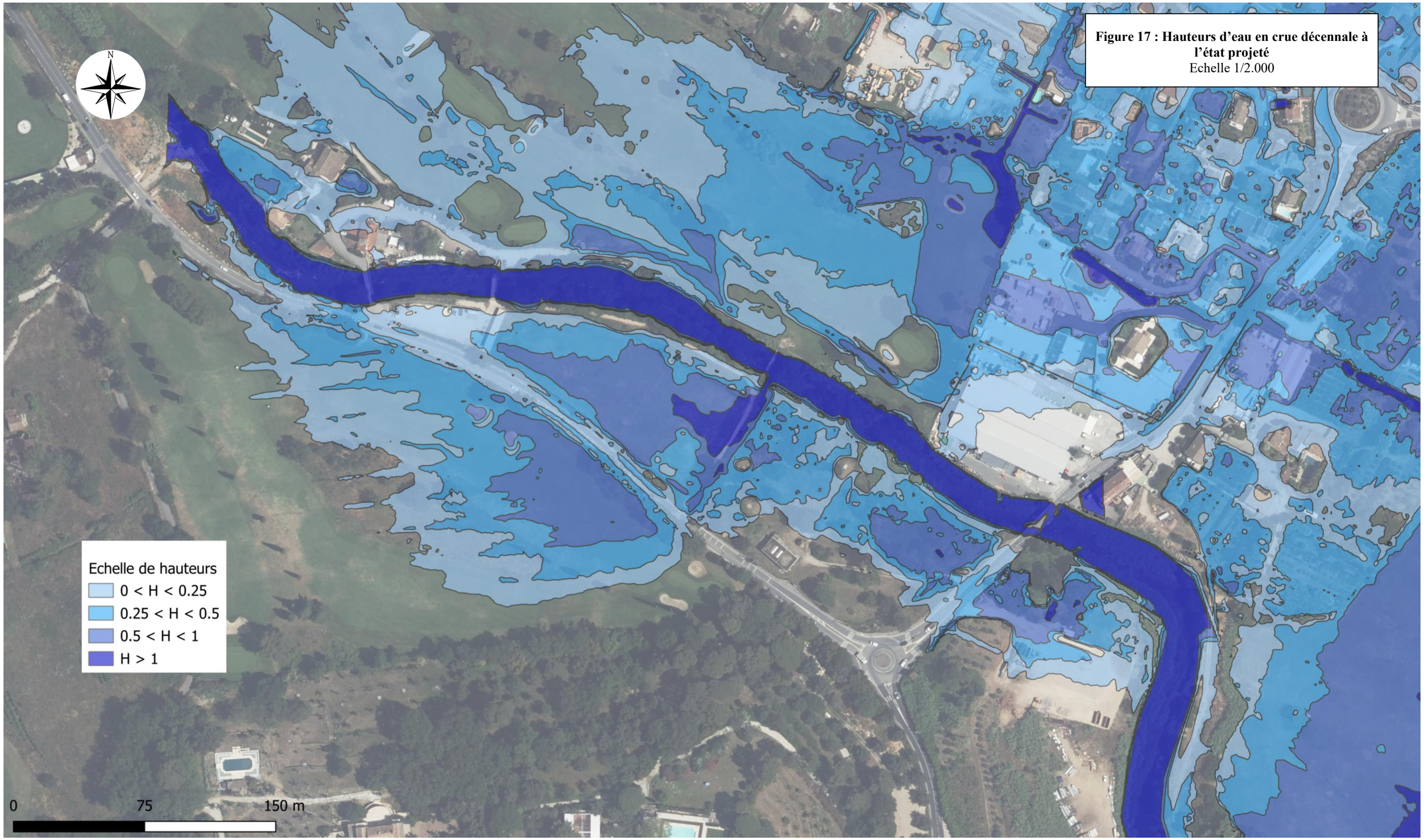


Figure 18 : Vitesse d'écoulement en crue décennale à l'état actuel
Echelle 1/2.000

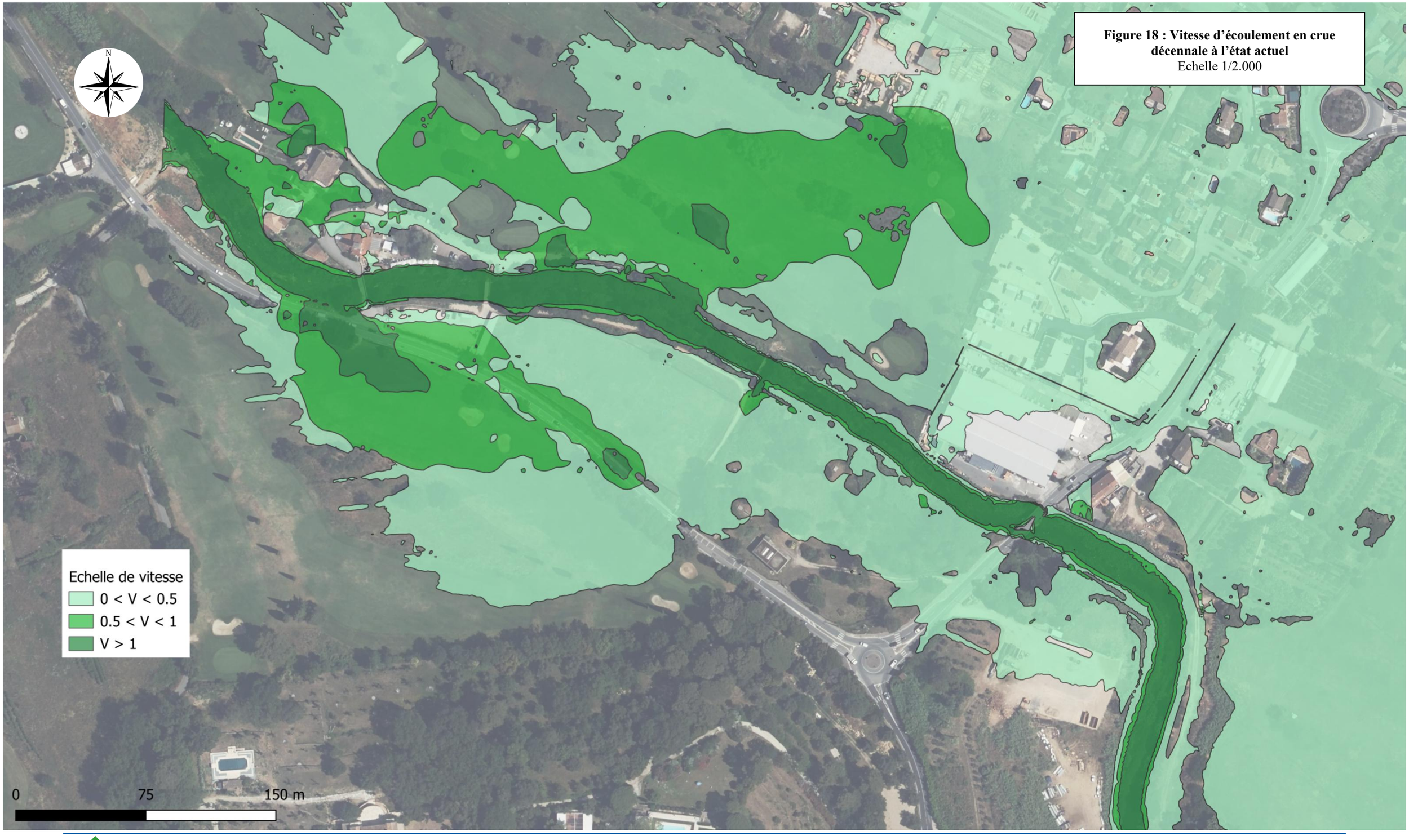


Figure 19 : Vitesse d'écoulement en crue décennale à l'état projeté
Echelle 1/2.000

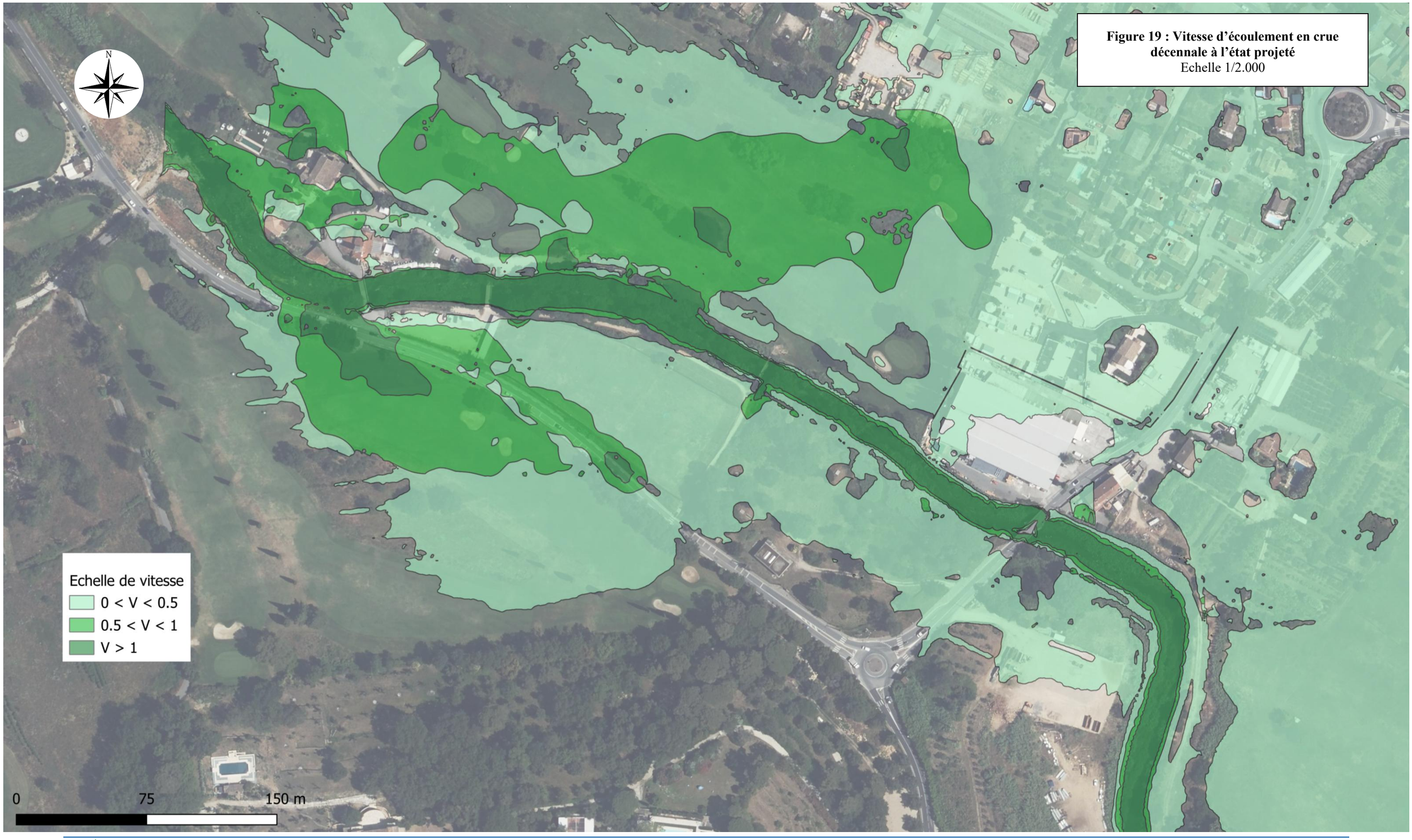
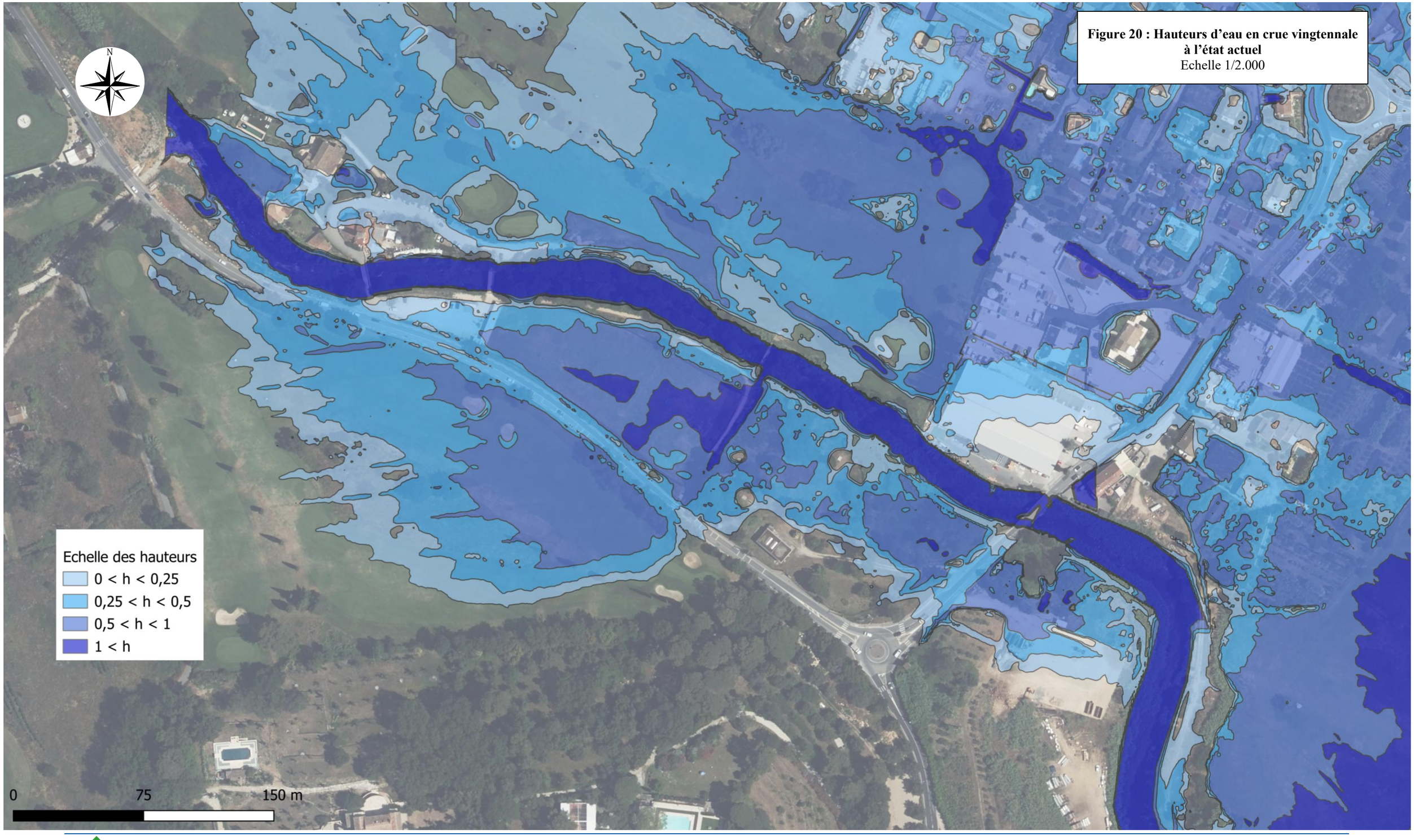


Figure 20 : Hauteurs d'eau en crue vingtennale à l'état actuel
Echelle 1/2.000



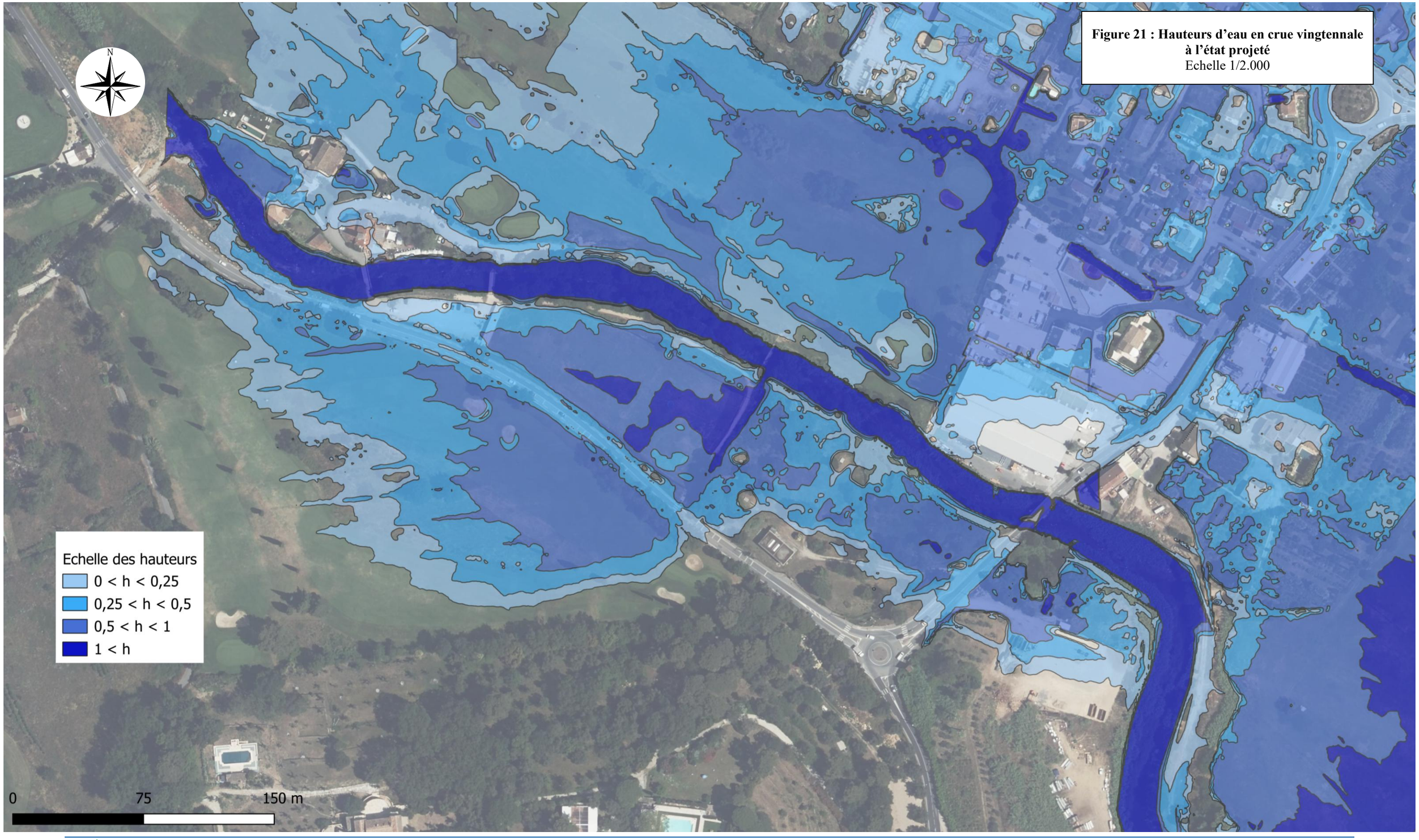


Figure 21 : Hauteurs d'eau en crue vingtennale à l'état projeté
Echelle 1/2.000

Figure 22 : Vitesse d'écoulement en crue vingtennale à l'état actuel
Echelle 1/2.000

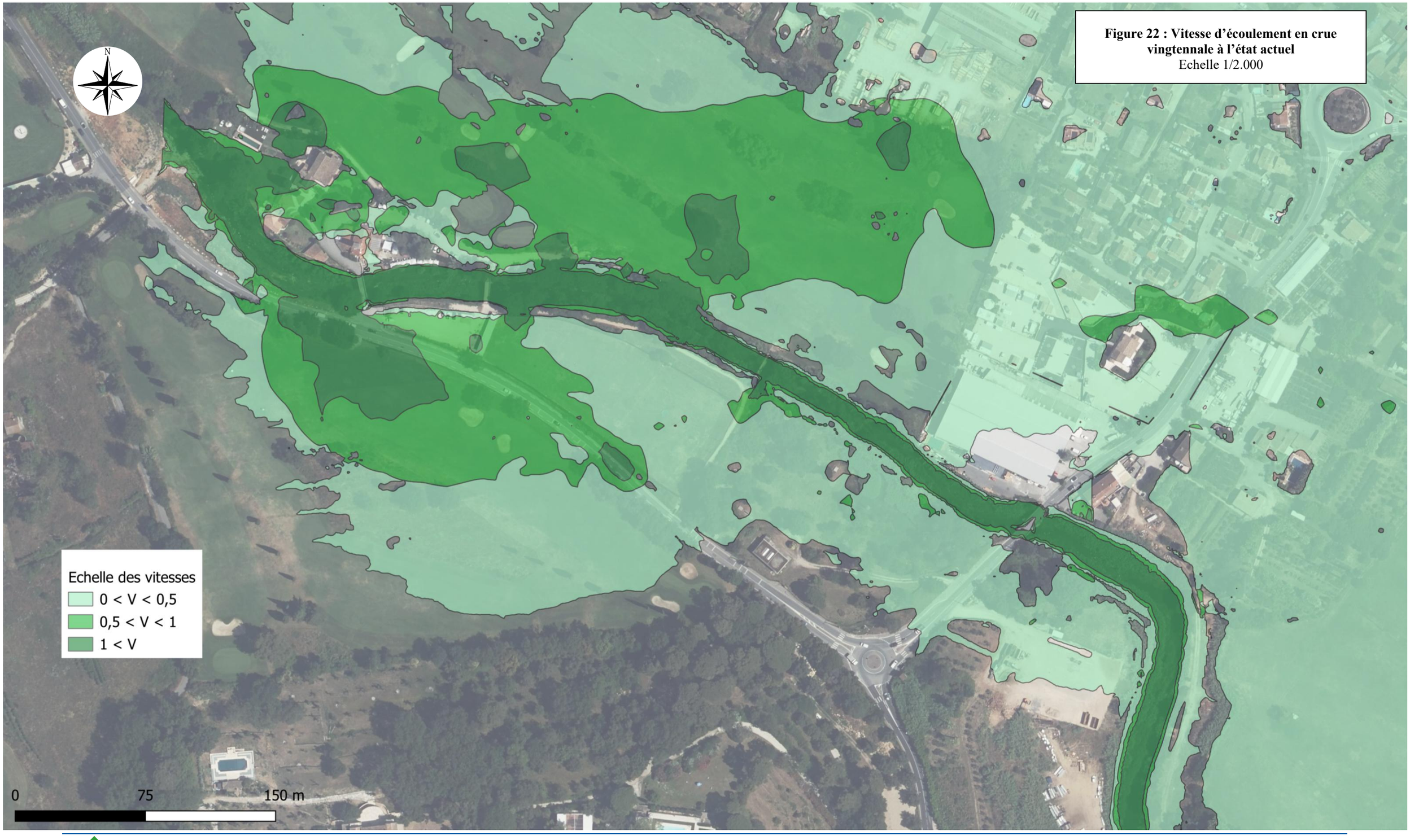
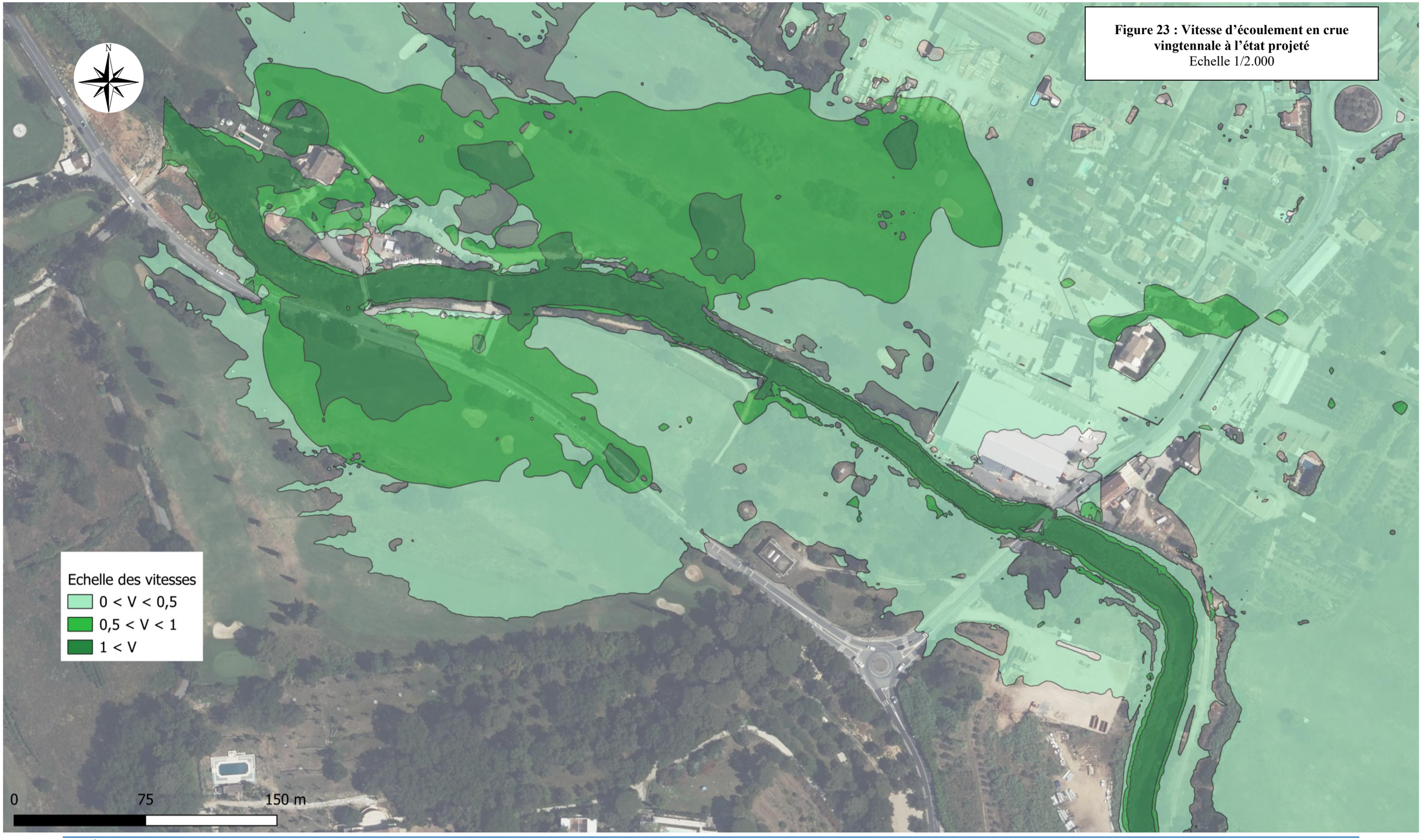


Figure 23 : Vitesse d'écoulement en crue vingtennale à l'état projeté
Echelle 1/2.000



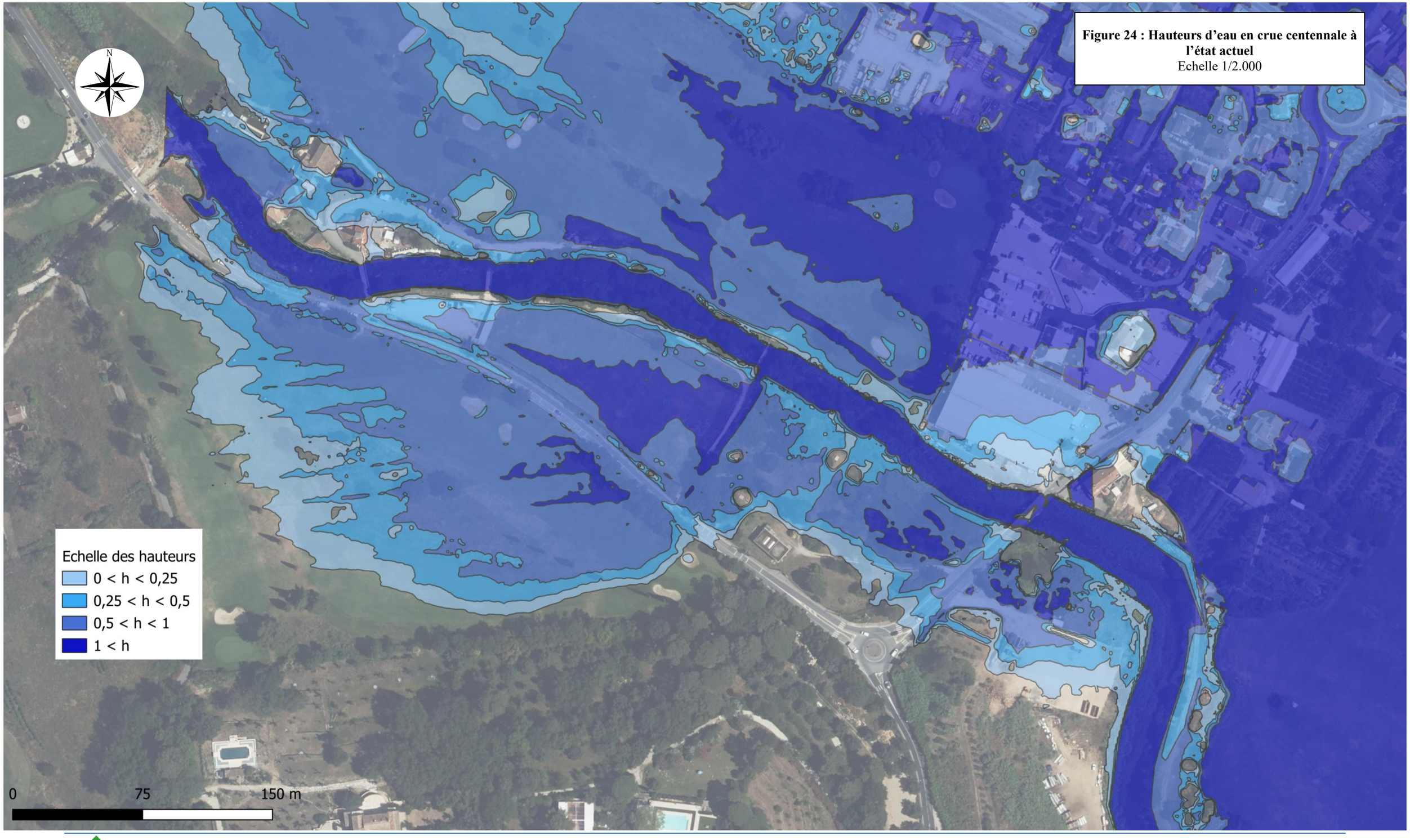


Figure 24 : Hauteurs d'eau en crue centennale à l'état actuel
Echelle 1/2.000

Figure 25 : Hauteurs d'eau en crue centennale à l'état projeté
Echelle 1/2.000

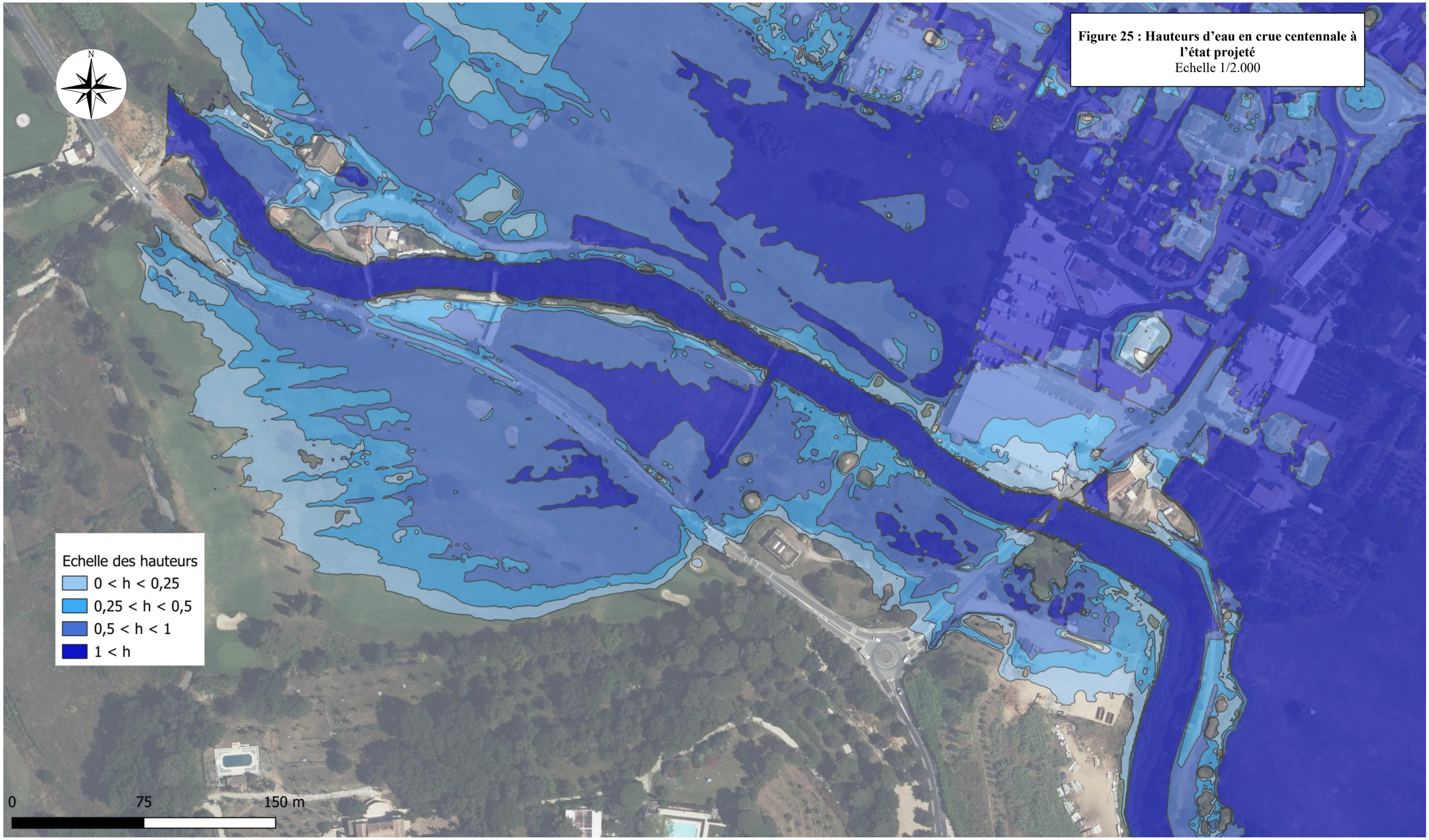


Figure 26 Vitesse d'écoulement en crue centennale à l'état actuel
Echelle 1/2.000

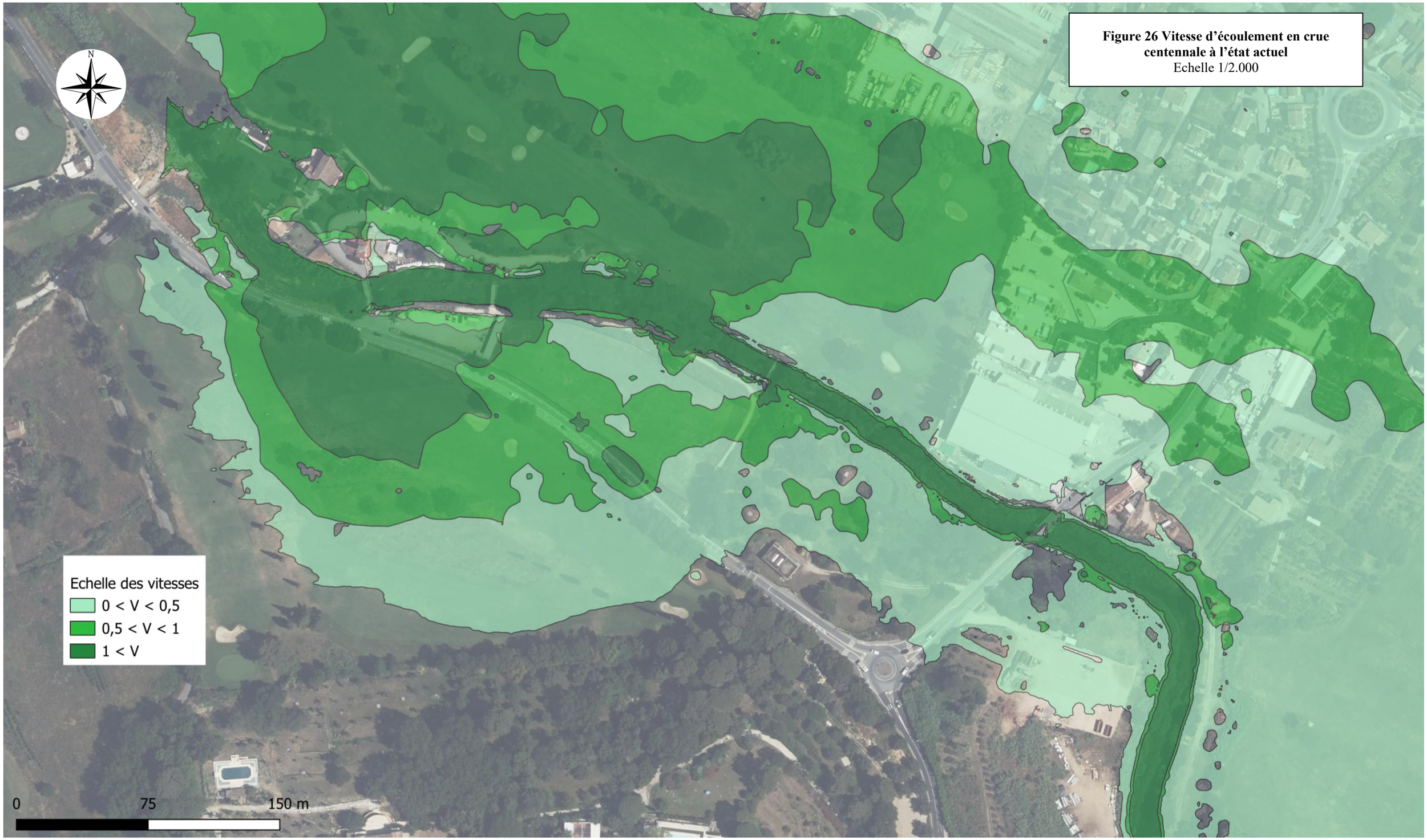


Figure 27 Vitesse d'écoulement en crue centennale à l'état projeté
Echelle 1/2.000

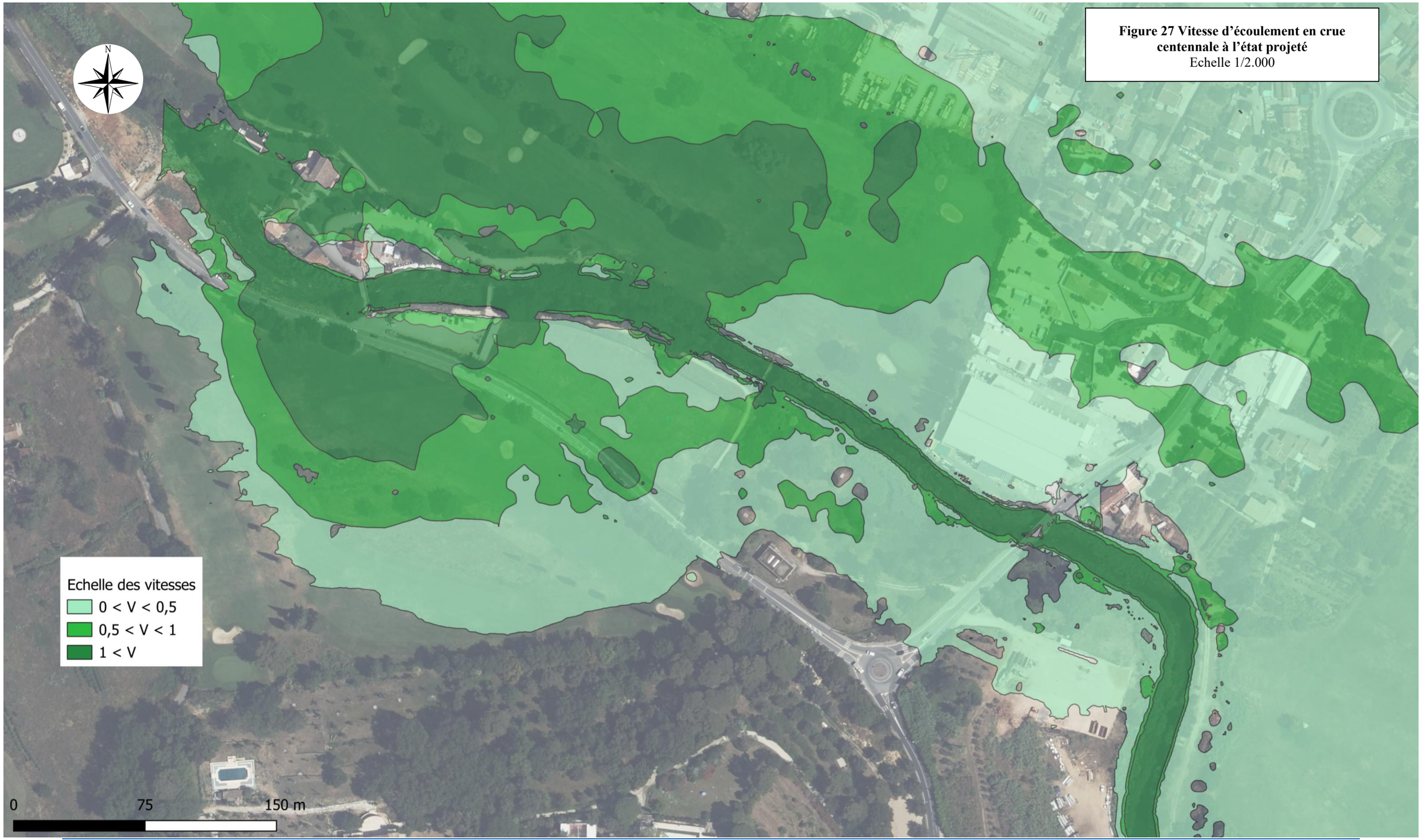


Figure 28 : Comparaison des cotes d'inondation pour la crue décennale en pointe de crue
Echelle 1/2.000

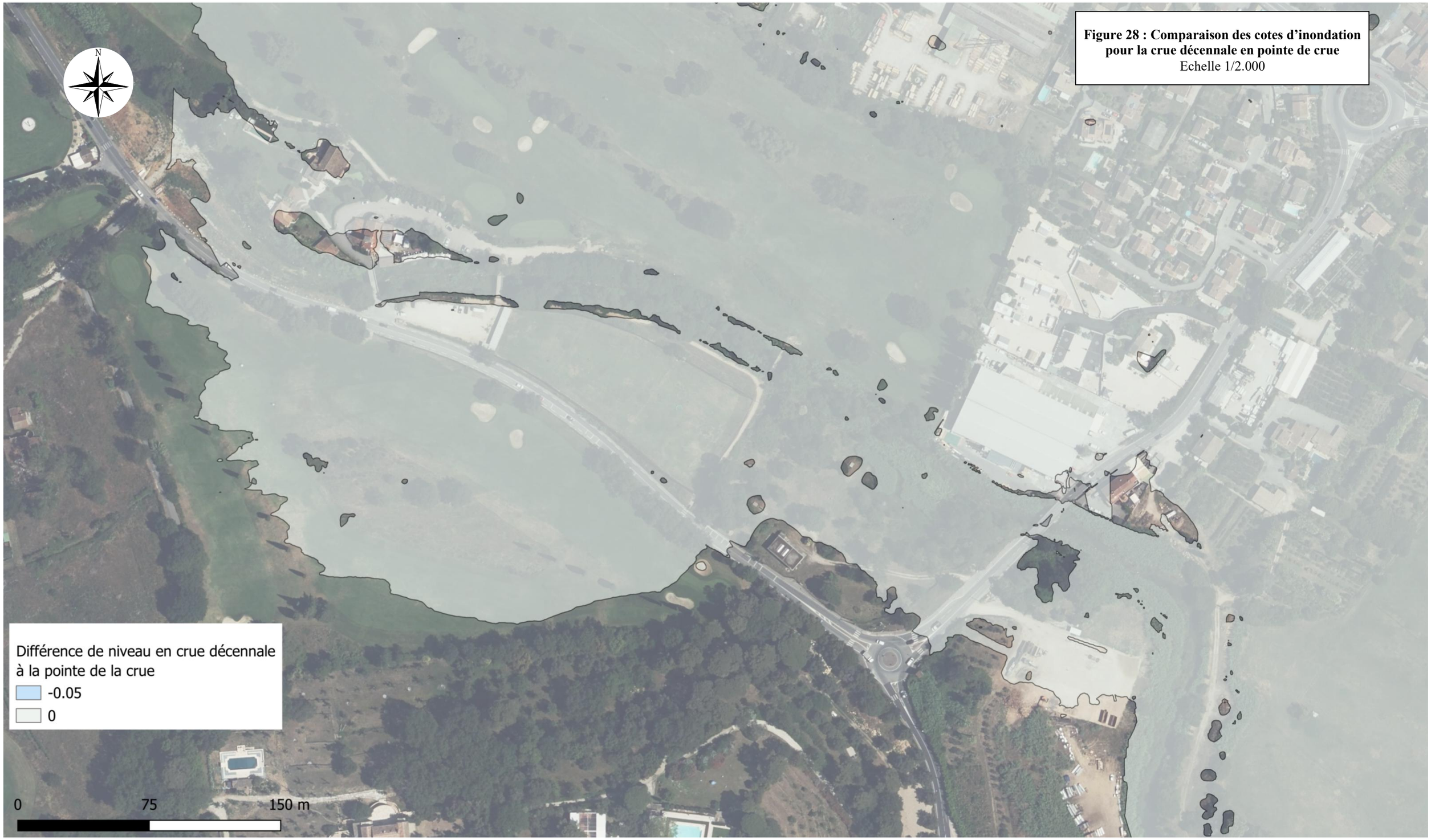


Figure 29 : Comparaison des cotes d'inondation pour la crue décennale au ressuyage
Echelle 1/2.000

