



HAL
open science

Étude de réduction de la vulnérabilité du secteur de Lingostière pour la Métropole de Nice (06)

Éva Gallaert

► **To cite this version:**

Éva Gallaert. Étude de réduction de la vulnérabilité du secteur de Lingostière pour la Métropole de Nice (06). Sciences de l'ingénieur [physics]. 2020. dumas-03576918

HAL Id: dumas-03576918

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03576918v1>

Submitted on 16 Feb 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Mémoire de fin d'étude

Etude de réduction de la vulnérabilité du secteur de Lingostière pour la Métropole de Nice (06)



Eva GALLAERT
Promotion Bretagne (2017-2020)

Mémoire présenté pour l'obtention du Diplôme
d'Ingénieur ENGEES

Stage réalisé du 6 janvier au 26 juin 2020

Organisme d'accueil : Suez Consulting

Tuteur de stage : Aurélien DECONNINCK,
Chef de projet

Ingénieur référent : Julie ARCHAMBAUD,
Ingénieur de projet

Tuteur ENGEES : Emilie BEAULIEU,
Enseignante chercheuse

RESUME

Etude de réduction de la vulnérabilité du secteur de Lingostière pour la Métropole de Nice (06)

La Métropole de Nice cote d'Azur souhaite réaliser une étude dans le but de réduire la vulnérabilité du secteur de Lingostière (Nice-06). Ce secteur est soumis au risque inondation par débordement du vallon de Lingostière cartographié par le Plan de Prévention des Risques inondation (PPRI) de la basse vallée du Var et cette étude entre dans le cadre de l'action 4.4.1 du Plan d'Action pour la Protection contre les Inondations (PAPI) 2 du Var. Le but de cette étude est donc de trouver des solutions permettant de réduire la vulnérabilité du secteur de Lingostière afin de permettre le développement de ce dernier tout en intégrant les exigences de gestion écologique du vallon, classé comme cours d'eau et en assurant un équilibre coûts-bénéfices des aménagements.

Après une analyse du contexte réglementaire, une description de l'état actuel du vallon et une analyse bibliographique des différentes études et propositions d'aménagement déjà réalisés sur le secteur, une étude hydrologique du secteur d'étude a été effectuée à l'aide du logiciel HEC-HMS, afin de définir une pluie de projet et un hydrogramme de crue cohérent. Les débits obtenus sont bien plus élevés que les débits retenus pour les études antérieures.

Un modèle HEC-RAS 1D-2D a ensuite été construit afin de définir précisément l'aléa inondation auquel est soumis le secteur d'étude. Le coût des dégâts occasionnés par les crues de différentes occurrences a ensuite été calculé.

Enfin, différentes propositions partielles d'aménagement sont proposées dans ce mémoire mais les propositions seront approfondies à la suite de cette étude. Ces propositions devront notamment faire l'objet d'une Analyse Coût-Bénéfice (ACB) en lien avec le calcul des dommages.

268 mots

ABSTRACT

Vulnerability reduction study of the Lingostière sector for the Metropolis of Nice (06)

The Metropolis of Nice Côte d'Azur wishes to carry out a study with the aim of reducing the vulnerability of the Lingostière sector (Nice-06). This sector is subject to the risk of flooding by overflow from the Lingostière valley mapped by the Flood Risk Prevention Plan (PPRi) of the lower Var valley and this study falls within the framework of action 4.4.1 of the Action Plan for Flood Protection (PAPI) 2 of the Var. The aim of this study is therefore to find solutions to reduce the vulnerability of the Lingostière sector in order to allow the development of the latter while integrating the ecological management requirements of the valley, classified as a watercourse, and ensuring a cost-benefit balance of the developments.

After an analysis of the regulatory context, a description of the current state of the valley and a bibliographical analysis of the various studies and development proposals already carried out in the sector, a hydrological study of the study area was carried out using the HEC-HMS software, in order to define a project rainfall and a coherent flood hydrograph. The flows obtained are much higher than those used in previous studies.

An HEC-RAS 1D-2D model was then constructed to precisely define the flood hazard to which the study area is subject. The cost of the damage caused by floods of different occurrences was then calculated.

Finally, various partial development proposals are proposed in this memorandum, but the proposals will be further developed following this study. In particular, these proposals will be subject to a cost-benefit analysis (CBA) in connection with the calculation of the damage.

267 words

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier Matthieu Ropert et Céline Rogier-Djouka pour m'avoir permis d'effectuer mon stage au sein de Suez Consulting Aix-en-Provence.

Je tiens à remercier tout particulièrement Julie Archambault pour son implication et son soutien tout au long du stage. Ce travail aurait été autrement plus difficile sans ses nombreuses explications, conseils et illustrations. Merci encore !

Un grand merci à Aurélien Deconninck, mon tuteur de stage, pour sa confiance et ses conseils.

Enfin merci à toute l'équipe de Suez Consulting pour m'avoir accueilli et intégré au sein de l'entreprise.

Je remercie également Emilie Beaulieu, ma référente école pour m'avoir guidé et conseillé pendant toute la durée du projet.

TABLE DES MATIERES

Résumé	3
Abstract.....	4
Remerciements	5
Liste des figures.....	8
Liste des tableaux.....	9
Introduction	10
1. Contexte de l'étude	11
1.1. Localisation du secteur d'étude	11
1.2. Contexte réglementaire	12
1.2.1. Territoire à Risque d'Inondation (TRI) Nice-Cannes-Mandelieu	12
1.2.2. Plan de Prévention des Risques Inondations (PPRI) de la basse vallée du Var	12
1.2.3. Programme d'Action de Prévention contre les Inondations (PAPI) du Var	13
1.2.4. Schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE) de la nappe et basse vallée du Var.....	14
1.2.5 Zones d'intérêt écologique	15
1.3 Description du secteur d'étude	15
1.4 Historique des études et des projets envisagés sur le vallon de Lingostière	23
1.5 Objectif de l'étude et problématique	26
2. Hydrologie du secteur d'étude	27
2.1 Caractérisation du bassin versant	27
2.1.1 Caractéristiques physiques et coefficients de ruissellement.....	27
2.1.2 Calcul du temps de concentration (Tc)	28
2.2 Analyse des pluies.....	29
2.2.1 Pluviométrie statistique	29
2.2.2 Evènement historiques	30
2.2.3. Pluie de projet.....	33
2.3 Débits de pointe et hydrogrammes de crue	34
2.3.1 Construction du modèle HEC-HMS	34
2.3.2 Résultats pour les différentes pluies de projets	35
2.3.3 Analyse critique des résultats et conclusion	35

3. Modélisation hydraulique, alea et enjeux a l'état actuel	38
3.1 Données d'entrée	38
3.1.1 Données topographiques.....	38
3.1.3 Conditions amont.....	39
3.1.4 Condition aval	40
3.2 Calage	40
3.2. Résultats de la modélisation pour l'état actuel	42
3.2.1 Premiers débordements	42
3.2.2 Crue décennale	43
3.2.3 Crues vicennale et cinquantiennale.....	47
3.2.4 Crue centennale.....	47
3.2.4 Crues historiques	52
3.3 Tests sur la modélisation.....	52
3.3.1 Test de l'influence du Var	52
3.3.2 Test de sensibilité des coefficients de rugosité	53
3.4 Coût des dommages à l'état initial	55
4. Aménagement du vallon	57
4.1 Suppression des canalisations au niveau du vallon de Lingostière et création d'un lit	57
4.2 Suppression de la vanne aval	59
4.3 Aménagements pour la gestion du transport solide.....	59
4.4 Recalibrage du vallon.....	61
4.5 Synthèse	63
Conclusion.....	65
Bibliographie	67
Annexes.....	70

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation du site d'étude.....	11
Figure 2 : Extrait de la cartographie des aléas du PPR de la basse vallée du Var (Var Q10 et Vallon Q100) (source [1]).....	13
Figure 3 : Localisation des zones d'intérêt écologique.....	15
Figure 4 : Localisation des tronçons et des ouvrages.....	16
Figure 5 : Description du poste A.....	18
Figure 6 : Description du poste B.....	19
Figure 7 : Description du poste C.....	20
Figure 8 : Description du poste D.....	21
Figure 9 : Description du poste E.....	22
Figure 10 : Description du poste F.....	23
Figure 11 : Découpage en sous-bassins versants.....	27
Figure 12 : Analyse du cumul des pluies mesurées lors de l'épisode du 1 et 2 octobre 2015 comparé aux courbes IDF à la station Météo France de Nice.....	31
Figure 13 : Analyse du cumul des pluies mesurées lors de l'épisode du 3 octobre 2015 comparé aux courbes IDF à la station Météo France de Nice.....	32
Figure 14 : Analyse du cumul des pluies mesurées lors de l'épisode du 4 novembre 2014 comparé aux courbes IDF à la station Météo France de Nice.....	33
Figure 15 : Hyétoigrammes double triangle.....	33
Figure 16 : Hyétoigramme de Kiefer de 4h.....	33
Figure 17 : Hydrogrammes de la crue centennale.....	37
Figure 18 : MNT de la zone d'étude (Source : Métropole Nice Côte d'Azur).....	38
Figure 19 : MNT original.....	39
Figure 20 : MNT modifié.....	39
Figure 21 : Photo de la chute au Var.....	40
Figure 22 : Coefficients de frottement associés aux zones d'écoulement 2D.....	41
Figure 23 : Localisation des premiers débordements observés sur le vallon de Lingostière.....	42
Figure 24 : Canalisation de la partie amont du vallon de Lingostière au moment des premiers débordements.....	43
Figure 25 : Hauteur d'eau maximale pour Q10 à l'état actuel.....	44
Figure 26 : Vitesse maximale pour Q10 à l'état initial.....	45
Figure 27 : Profil en long du Collet des Etoiles en amont de la confluence.....	46
Figure 28 : Profil en long du vallon de Lingostière en amont de la confluence.....	46
Figure 29 : Profil en long de l'aval du Vallon de Lingostière pour Q10.....	47
Figure 30 : Hauteur d'eau maximale pour Q100 à l'état actuel.....	48
Figure 31 : Vitesse maximale pour Q100 à l'état actuel.....	49
Figure 32 : Profil en long de la partie aval du vallon avec les hauteurs d'eau maximales atteintes pour une crue centennale.....	50
Figure 33 : Grille d'aléa en vigueur dans les Alpes Maritimes (06).....	51
Figure 34 : Carte des aléas inondation pour une crue centennale.....	51
Figure 35 : Différence entre l'état initial et des valeurs de Manning de -10%.....	54
Figure 36 : Différence entre l'état initial et des valeurs de Manning de +10%.....	54
Figure 37 : Enjeux touchés pour une crue centennale.....	56
Figure 38 : Localisation de la création du nouveau lit.....	58
Figure 39 : Profil en travers du nouveau lit créée.....	58
Figure 40 : Comparaison des lignes d'eau entre l'état actuel et l'état projet - Suppression de vanne pour une crue centennale.....	59
Figure 41 : Zone de dépôt/érosion dans le vallon.....	60
Figure 42 : Emplacement du bassin de dégravement.....	61
Figure 43 : Localisation des aménagements d'ISL.....	62

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Description des postes.....	17
Tableau 2 : Tableau comparatif des dimensions des ponts.....	24
Tableau 3 : Récapitulatif des caractéristiques des sous-bassins versants	28
Tableau 4 : Coefficients de ruissellement en fonction de l'occupation du sol.....	28
Tableau 5 : Calcul du temps de concentration (min).....	29
Tableau 6 : Coefficients de Montana à la station de Nice aéroport sur la période 1982-2016	30
Tableau 7 : Cumul de la pluie (mm) en fonction du temps de concentration et de la période de retour.....	30
Tableau 8 : Cumuls pluviométriques maximum mesurés le 01 et 02/10/2015	31
Tableau 9 : Cumuls pluviométriques maximum mesurés le 03/10/2015	31
Tableau 10 : Cumuls pluviométriques maximum mesurés le 04/11/2014	32
Tableau 11 : Calcul du Curve Number	34
Tableau 12 : Valeur de CN utilisée	35
Tableau 13 : Comparatif des débits de pointe centennaux à l'exutoire pour différents types de pluies (m ³ /s).....	35
Tableau 14 : Résultats du modèle : débits à l'exutoire pour des pluies de différentes occurrences	36
Tableau 15 : Résultats de l'analyse de sensibilité.....	37
Tableau 16 : Niveau d'eau du Var à partir duquel la zone RTE est inondée	52
Tableau 17 : Valeur des coefficients de Manning-Strickler pour l'étude de sensibilité	53
Tableau 18 : Coût des dommages agricoles par culture	55
Tableau 19 : Coût des dommages pour différentes occurrences	55
Tableau 20 : Synthèse des aménagements	63

INTRODUCTION

Le secteur Lingostière situé au Nord de l'agglomération Niçoise (06), est traversé par le vallon de Lingostière. Long de 4 km, ce vallon possède un bassin versant de 4 km². Il se jette dans le Var, à environ 7 km de son débouché en Méditerranée. Ce vallon est classé comme cours d'eau mais a un régime intermittent.

L'amont du bassin versant du vallon de Lingostière est constitué majoritairement de forêts et de zones faiblement urbanisées. Le cours d'eau y est en bon état. En revanche, le secteur aval du vallon se situe au cœur d'une zone urbanisée à proximité de la gare de Lingostière. Dans ce secteur, le vallon n'a été que partiellement aménagé et l'urbanisation mal maîtrisée dans les années 80 s'est traduit par une réduction des capacités hydrauliques du vallon. Ce dernier ne permet plus le transit des crues ce qui est incompatible avec la présence des enjeux alentours. Ce quartier de Lingostière est donc exposé au risque d'inondation par débordement du vallon de Lingostière, cartographié par le PPR de la basse vallée du Var, approuvé en 2011 [1].

Plusieurs projets d'aménagements du vallon visant à contenir les écoulements jusqu'à une occurrence centennale avaient été conçus dans les années 2000 mais n'ont pas pu être concrétisés pour des raisons technico-économiques et environnementales. La Métropole Nice Côte d'Azur (MNCA) souhaite aujourd'hui relancer une étude afin d'aménager ce vallon pour permettre le développement de ce secteur tout en intégrant les exigences de protection contre les inondations, de gestion écologique du vallon de Lingostière, classé comme cours d'eau et en assurant un équilibre coûts-bénéfices des aménagements. Cette étude entre dans le cadre d'action du Plan d'Action et de Prévention contre les Inondations (PAPI) du Var (action 4.4.1) correspondant à la restauration capacitaire du vallon de Lingostière afin de mettre en sécurité le secteur de Lingostière [2].

Cette étude se divise en trois phases. La première phase consiste en une analyse de l'état actuel comprenant une analyse du site d'étude, une analyse bibliographique des aménagements conseillés par les études antérieures et une étude hydrologique du secteur. La deuxième phase correspond à la construction d'une modélisation hydraulique (HEC-RAS) permettant de définir précisément l'aléa inondation à l'état actuel, l'occurrence des premiers débordements, des premiers dommages et le coût des dommages occasionnés par les crues de différentes périodes de retour. Enfin, l'objectif de la dernière phase est de proposer des aménagements permettant de réduire la vulnérabilité du secteur en s'appuyant sur une Analyse Coût-Bénéfice (ACB) permettant de répondre aux objectifs de la Métropole de Nice d'intégrer les aménagements au sein du futur PAPI 3 Var.

1. CONTEXTE DE L'ETUDE

1.1. Localisation du secteur d'étude

Le vallon de Lingostière se situe dans les Alpes Maritimes (06), au Nord de la ville de Nice, en rive gauche du Var. Il se jette dans le Var à environ 7 km de son débouché sur la Méditerranée. Ce vallon classé comme cours d'eau est géré par la Métropole Nice Côte d'Azur qui possède la compétence GEMAPI [3].

La Figure 1 ci-dessous présente le secteur d'étude ainsi que le réseau hydrographique du vallon de Lingostière.

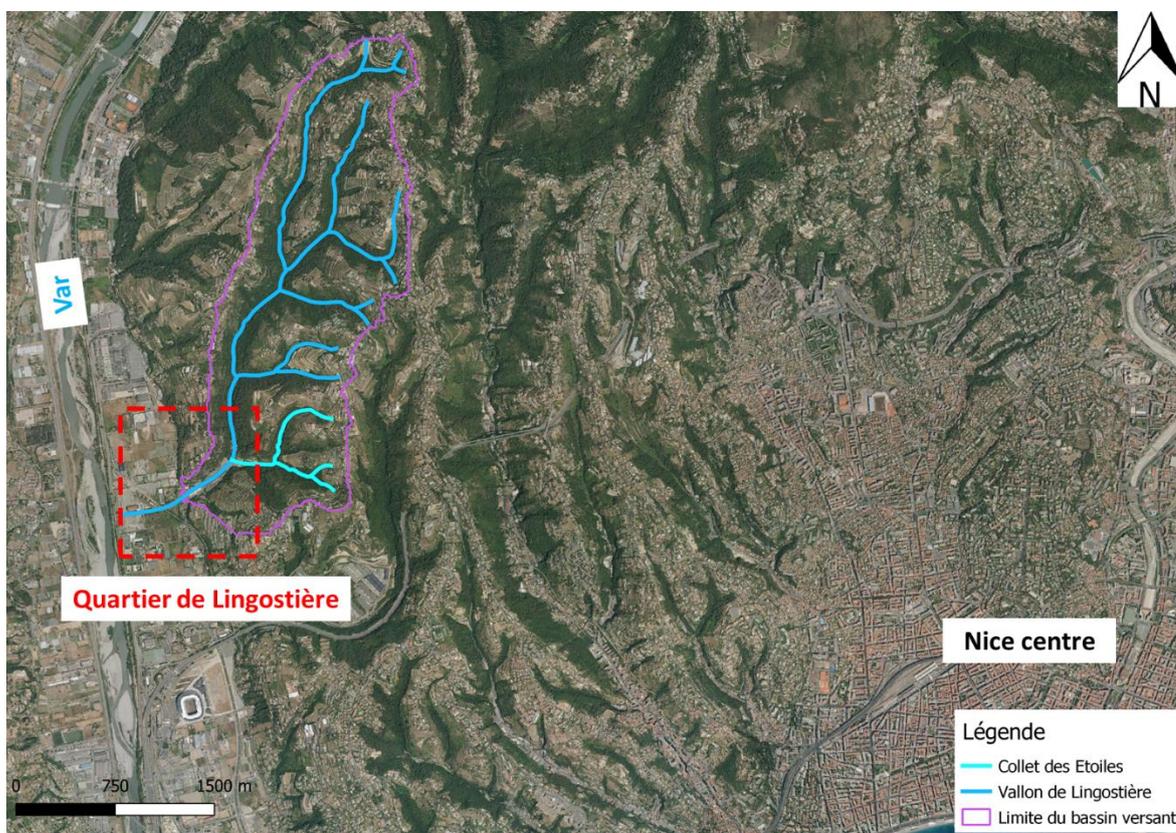


Figure 1 : Localisation du site d'étude

Le bassin versant du Vallon de Lingostière possède une superficie d'environ 4 km².

Le secteur amont du bassin versant est constitué des vallons obscurs, une zone naturelle remarquable. Le bassin versant n'y ait pas très urbanisé.

Dans ce secteur, le vallon n'a été que partiellement aménagé et l'urbanisation mal maîtrisée dans les années 80 s'est traduit par une réduction des capacités hydrauliques du vallon. Ce dernier ne permet plus le transit des crues ce qui est incompatible avec la présence des enjeux alentours. Cette partie du bassin versant est exposée au risque inondation cartographié par le PPR de la basse vallée du Var, approuvé en 2011.

1.2. Contexte réglementaire

1.2.1. Territoire à Risque d'Inondation (TRI) Nice-Cannes-Mandelieu

A l'échelle du bassin Rhône-Méditerranée, 31 TRI ont été identifiés. Le vallon de Lingostière est inclus au sein du TRI Nice-Cannes-Mandelieu [5].

Le TRI cartographie les zones inondables pour trois événements types :

- L'aléa de forte probabilité, est un événement provoquant les premiers dommages conséquents, commençant à un temps de retour de 10 ans et dans la limite d'une période de retour de l'ordre de 30 ans. Cet événement est appelé l'événement fréquent ;
- L'aléa de probabilité moyenne est un événement ayant une période de retour comprise entre 100 et 300 ans qui correspond dans la plupart des cas à l'aléa de référence des PPRI s'il existe. Cet événement est appelé l'événement moyen ;
- L'aléa de faible probabilité est un phénomène d'inondation exceptionnel inondant toute la surface alluviale fonctionnelle. La période de retour associée est d'au moins 1000 ans. Cet événement s'appellera l'événement extrême

Les cartes des zones inondables (événement moyen et extrême) du vallon de Lingostière identifiées par le TRI sont disponible en Annexe 1.

1.2.2. Plan de Prévention des Risques Inondations (PPRi) de la basse vallée du Var

Le vallon de Lingostière est concerné par le Plan de Prévention des Risques Inondation de la basse vallée du Var, approuvé en 2011 [1]. Ce plan de prévention a été construit à l'aide d'aléas « de base » et d'aléas « exceptionnels » (rupture de digue, crue exceptionnelle). La Figure 2 ci-dessous représente l'aléa au niveau du quartier de Lingostière lorsque le vallon est en crue centennale et le Var en crue décennale (scénario de base).



Figure 2 : Extrait de la cartographie des aléas du PPR de la basse vallée du Var (Var Q10 et Vallon Q100) (source [1])

Le croisement des aléas avec les enjeux a permis de définir le zonage ainsi qu'une réglementation disponible en Annexe 2.

1.2.3. Programme d'Action de Prévention contre les Inondations (PAPI) du Var

Le 24 Juillet 2009, un premier Programme d'Actions de Prévention contre les Inondations (PAPI Var 1) a été signé entre l'Etat et le département. Ce programme concernait la réalisation des travaux prioritaires de protection de la basse vallée du Var. Il a été prévu pour une période allant de 2009 à 2014.

Suite aux améliorations effectuées et à l'approbation du PPRi du 18 avril 2011, un nouveau PAPI (PAPI Var 2) a été élaboré afin d'élargir les actions engagées dans la version précédente du PAPI [2]. La nouvelle stratégie se base sur trois principes primordiaux :

1. Mieux prévoir les crues rapides du fleuve et des vallons ;
2. Réduire la vulnérabilité des personnes et des biens ;
3. Conforter les ouvrages de protection vétuste.

Cette stratégie compte 25 actions à réaliser sur la période 2014-2019, pour un montant de 97 millions d'euros.

C'est dans ce contexte qu'est intégrée la présente étude, qui concerne l'action 4.4.1 du PAPI Var 2. Cette action consiste en une restauration capacitaire du vallon de Lingostière afin de mettre en sécurité le secteur de Lingostière.

Les travaux d'aménagement qui seront déterminés à l'issue de cette étude, seront intégrés au sein du PAPI3 Var, actuellement en cours d'élaboration.

1.2.4. Schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE) de la nappe et basse vallée du Var

Le site d'étude se situe au sein du périmètre du Schéma d'Aménagement de Gestion des Eaux (SAGE) de la nappe et basse vallée du Var [4].

Le SAGE, approuvé le 9 août 2016, indique la politique de gestion de l'eau à suivre pour les dix prochaines années. D'une façon plus générale, il préconise le comportement à suivre afin de prévenir et réduire le risque d'inondation mais surtout pour préserver en qualité et en quantité la ressource en eaux et les milieux naturels.

La basse vallée du Var est caractérisée par la présence d'une nappe souterraine abondante et de qualité. Mais aussi par la présence de multiples vallons concernés par le risque inondation. Le SAGE indique qu'ils jouent un rôle déterminant dans le fonctionnement des hydrosystèmes et qu'il est important de lutter contre leur artificialisation. A ce titre, les constructions en bordure des vallons canalisés pouvant nuire à leur bon fonctionnement hydraulique doivent être strictement évitées.

Le SAGE préconise également différentes actions à suivre pour préserver le fonctionnement hydraulique de la basse vallée du Var :

- Favoriser l'installation de bassin de dégrèvement en amont des canaux à la sortie des vallons et assurer leur entretien régulier ;
- Sur la partie canalisée, rétablir une pente suffisante permettant d'évacuer le transport solide charrié par les vallons lors des crues ;
- Réaliser un entretien régulier des canaux pour limiter la formation d'embâcles en période de crue ;
- Éviter tout type de constructions dans une bande de 10m environ de part et d'autre du canal, en l'absence de toute étude hydraulique. La largeur de la bande inconstructible pourra être définie plus précisément par une étude hydraulique ;
- Prendre en compte dans toute opération d'aménagement du territoire le fonctionnement hydraulique des canaux et les objectifs du SAGE.

1.2.5 Zones d'intérêt écologique

Le vallon de Lingostière est entouré de plusieurs zones d'intérêt écologique :

- Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF) de type 1 du vallon de Lingostière, située sur la partie amont du bassin versant [6] ;
- ZNEFF de type 2 du Var, ayant pour périmètre le lit mineur du Var donc en aval de la zone d'étude [7] ;
- Zone Natura 2000 (Directive Oiseaux) « ZPS de la basse vallée du Var » située là aussi au niveau du lit mineur du Var (en aval de la zone d'étude) [8] ;
- Un projet d'Arrêté de Protection de Biotope (APB) « Vallons obscurs en rive gauche de la basse vallée du Var » est en cours de réalisation. Cette zone protégée pourrait se situer sur la partie amont du bassin versant, au niveau de la zone ZNIEFF de type 1 [9].

La Figure 3 ci-contre montre plus précisément la localisation de ces zones.

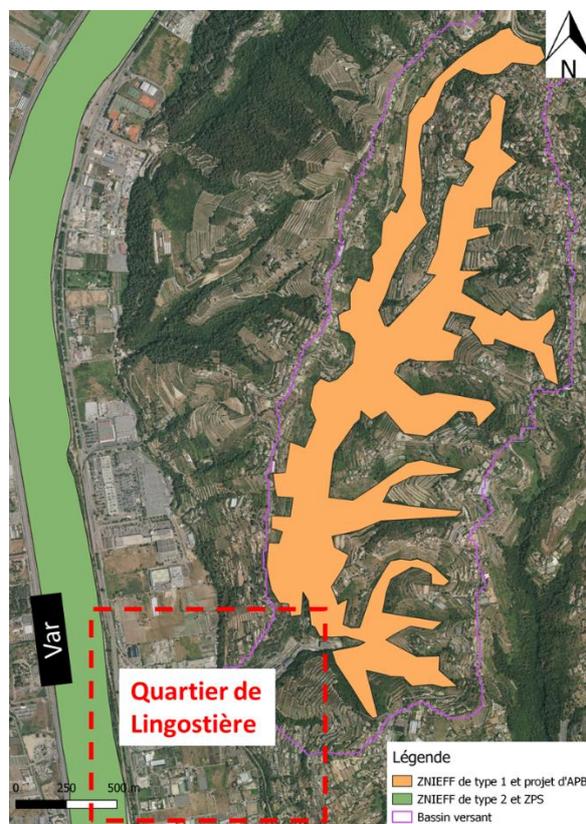


Figure 3 : Localisation des zones d'intérêt écologique

1.3 Description du secteur d'étude

Cette étude s'intéresse plus particulièrement à l'aval du vallon et comprend 150 m du lit mineur du Collet des Etoiles et 1150 m du vallon de Lingostière (150 m en amont de la confluence avec le Collet des Etoiles et 1000 m en aval). Pour les besoins de l'étude, le linéaire de cours d'eau a été découpé en différents secteurs (cf. Figure 4 et Tableau 1). Cette sectorisation reprend en partie celle réalisée par des études antérieures : SOGREAH en 2007 [10] et ISL en 2010 et 2012 [11] [12].

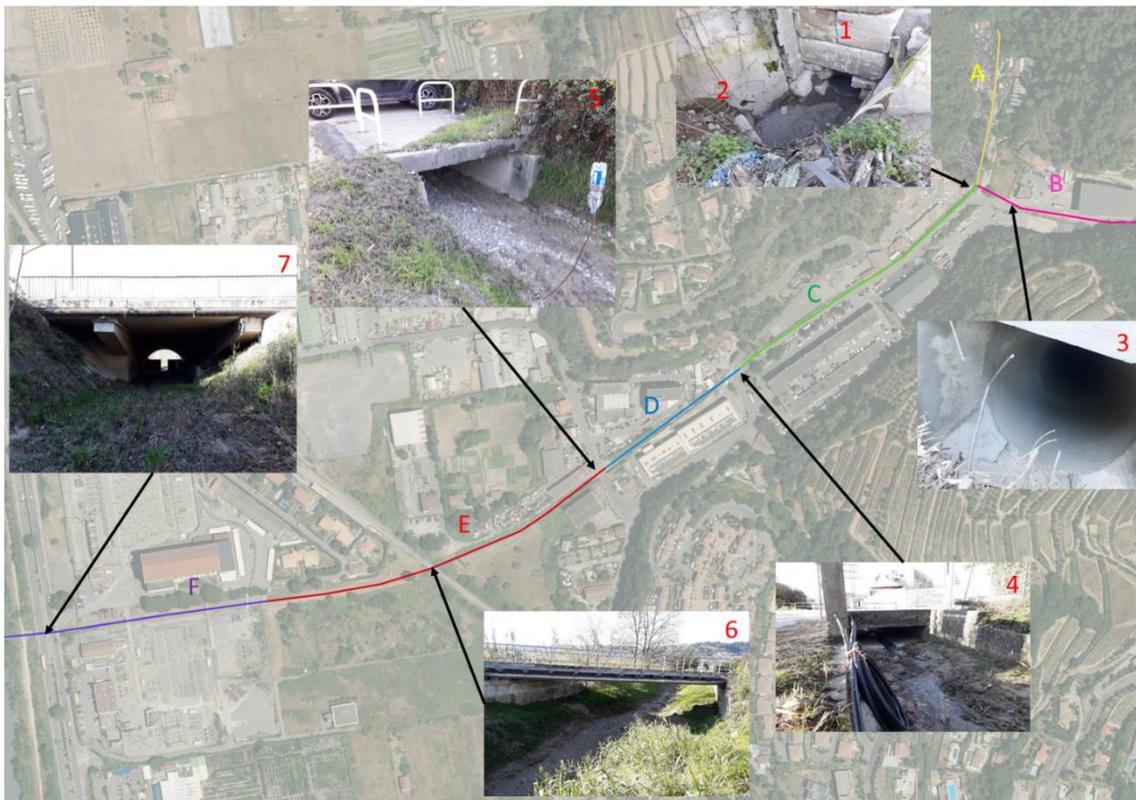


Figure 4 : Localisation des tronçons et des ouvrages

Le linéaire étudié comprend 4 ponts et 2 seuils localisés sur la Figure 4.

- Le pont du chemin de Saquier (4) ;
- Le pont du chemin de la Glacière (5) ;
- Le pont des Chemins de Fer de Provence (6) ;
- Un petit seuil à l'entrée du canal EDF ;
- Le pont de la RM 6202 qui comprend une vanne martellière sur la partie aval (7).

Ce linéaire comprend également des passages busés :

- Sur le Collet des Etoiles en amont immédiat de la confluence : canalisation circulaire de diamètre 1000 mm sur 40 m (3) ;
- Sur le Vallon de Lingostière en amont immédiat de la confluence : canalisation circulaire de 600 mm en PEHD sur 20,5 m (1) ;
- Sur le Vallon de Lingostière à l'aval immédiat de la confluence : canalisation circulaire de 600 mm en béton sur 50 m (2).

Tableau 1 : Description des postes

Poste	PM (point métrique amont)	PM aval	Description
A	PM -150	PM 0	En amont de la confluence sur la partie vallon de Lingostière
B	PM -150	PM 0	En amont de la confluence sur la partie Collet des Etoiles
C	PM 0	PM 279	De la confluence du vallon de Lingostière et du Collet des Etoiles jusqu'au pont du chemin de Saquier
D	PM 330	PM 434	Entre l'aval du cuvelage en béton et le pont du chemin de la Glacière
E	PM 434	PM 761	Entre le pont du chemin de la Glacière et le canal EDF
F	PM 761	PM1020	Canal EDF jusqu'au débouché au Var

Une visite de terrain a permis de dresser une description de l'état actuel du vallon.

- Poste A :

Au niveau du poste A, le vallon est naturel, visiblement en bon état et bien matérialisé. Sur 100 m, le lit mineur disparaît, l'eau s'écoule alors sur un chemin bordé en rive droite par un mur avec des tôles menaçant de s'effondrer. Ensuite sur environ 50 m, le vallon est canalisé grâce à une conduite souterraine de 600 mm. Cette canalisation a été réalisée très récemment. La Figure 5 ci-dessous résume l'état actuel du vallon.

ETUDE DE REDUCTION DE LA VULNERABILITE DU SECTEUR DE LINGOSTIERE POUR LA METROPOLE DE NICE

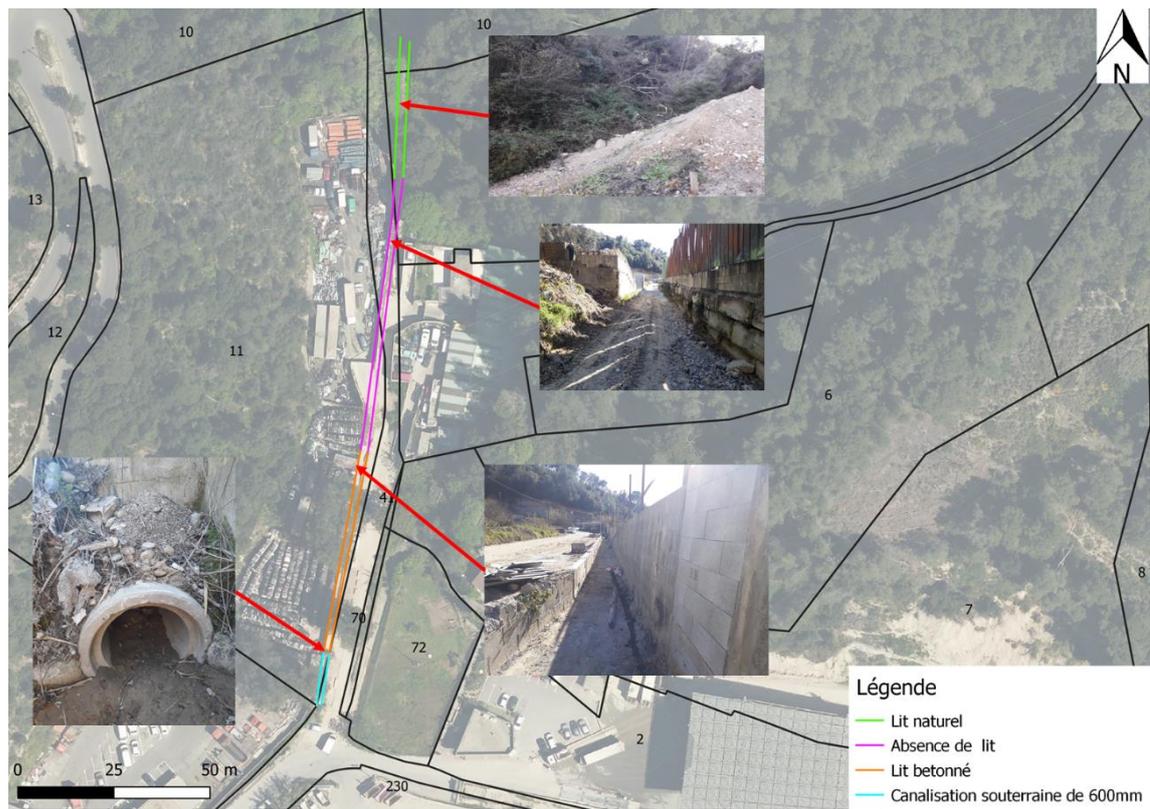


Figure 5 : Description du poste A

- Poste B :

ETUDE DE REDUCTION DE LA VULNERABILITE DU SECTEUR DE LINGOSTIERE POUR LA METROPOLE DE NICE

Il s'agit de la partie aval du Collet des Etoiles, juste en amont de la confluence avec le vallon de Lingostière. Le lit du poste B est composé de petits graviers. En rive droite se trouve une falaise et en rive gauche un mur bétonné le sépare du centre de tri Véolia. A 40m en amont de la confluence, se trouve un bassin de dégrèvement très encombré d'environ 3m de large, 20 m de long et 2 m de haut. Véolia est le gestionnaire de ce bassin contrairement au reste du cours d'eau qui est géré par la Métropole Nice Côte d'Azur. Ce bassin de dégrèvement débouche sur une canalisation circulaire de 1000 mm qui débouche sur le vallon de Lingostière (cf. Figure 6).

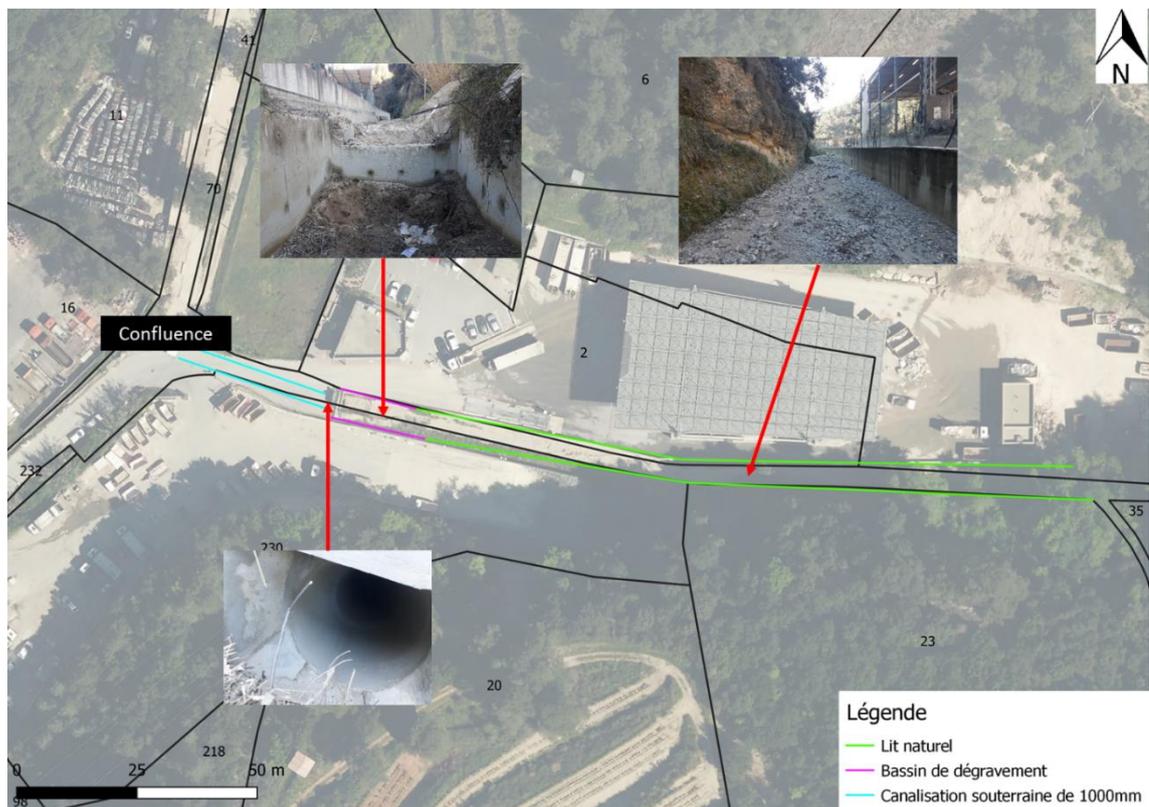


Figure 6 : Description du poste B

- Poste C :

Au niveau du poste C, le vallon est canalisé sur 20,5 m sur sa partie amont avec une canalisation circulaire de diamètre 600 mm. Au débouché de cette canalisation, le lit du vallon est composé d'une cunette en béton sur 250 m de long en bordure de route. Le lit s'élargi ensuite brusquement pour atteindre une largeur de 3 m, correspondant à la largeur du pont du chemin

Saquier. Le lit y est naturel mais très encombré par des déchets et les berges sont constituées de murets bétonnés (cf. Figure 7).

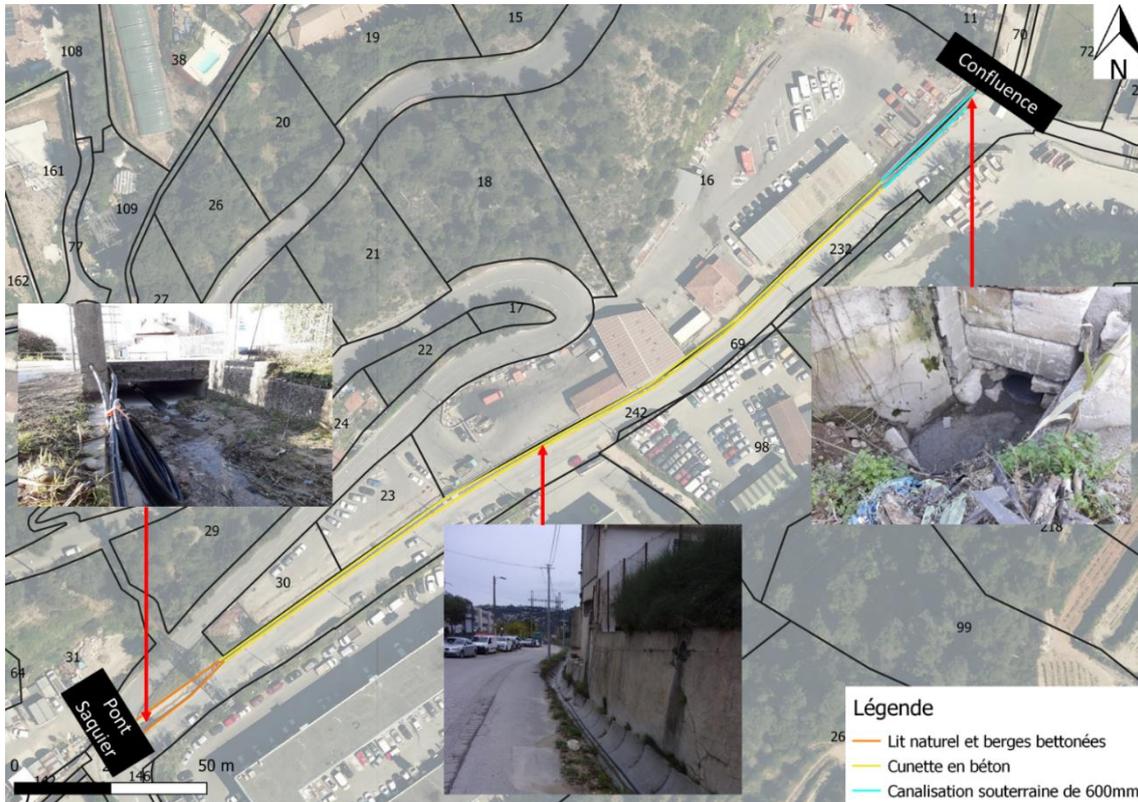


Figure 7 : Description du poste C

- Poste D :

A l'aval du pont du chemin de Saquier, le vallon possède un lit bétonné encadré par deux murs verticaux sur 45 m. Le lit redevient ensuite naturel sur environ 100 m tout comme les berges. Des plantes envahissantes (cane de Provence) se trouvent sur cette portion du vallon. Le lit semble particulièrement soumis à l'érosion notamment en amont du pont du chemin de la Glacière (cf. Figure 8).

Le pont du chemin de la Glacière se situe à la limite entre le poste D et le poste E. L'amont du pont possède une plus grande section que l'aval. Un panneau indique que la route passant au-dessus de ce pont est inondable.

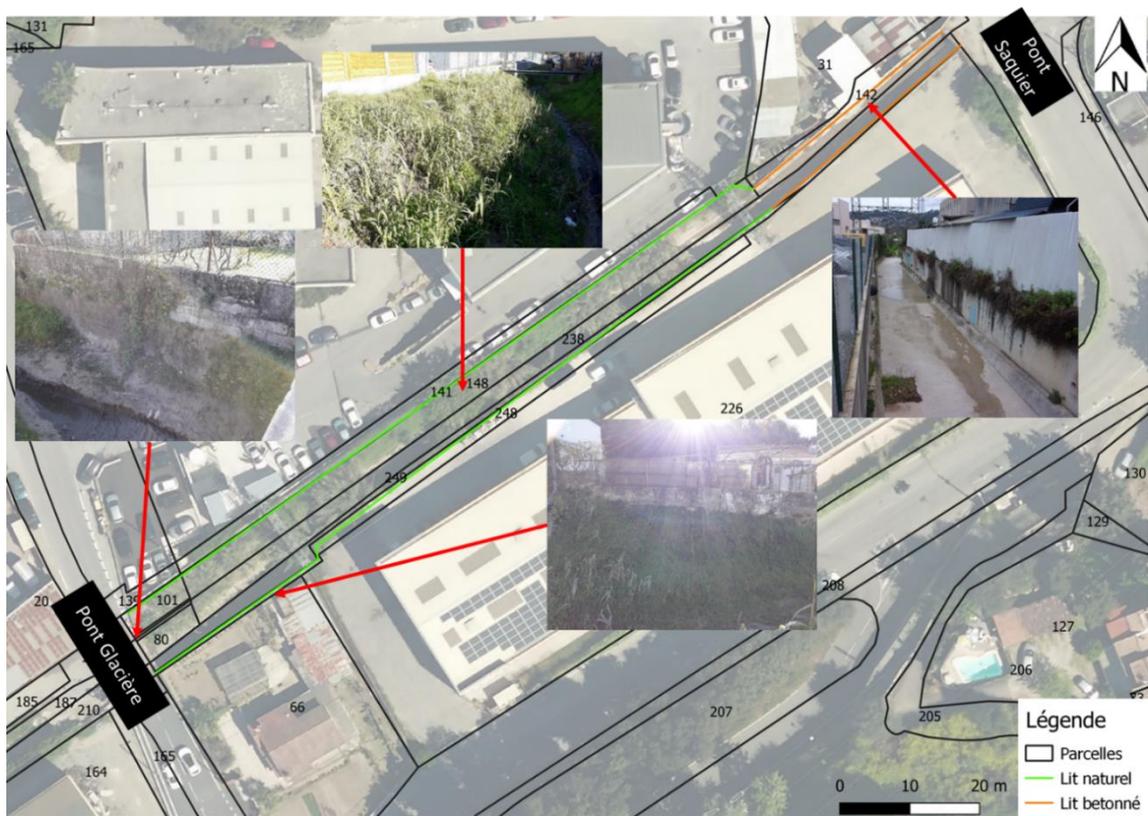


Figure 8 : Description du poste D

- Poste E :

Sur cette portion du vallon, le lit est naturel et bien plus large qu'en amont. Une surélévation des berges a été mise en place pour protéger les terrains voisins des inondations. Le pont des Chemins de Fer de Provence (CFP) se situe au milieu de ce poste.

Un ouvrage souterrain dédié à l'irrigation des serres présent en rive gauche passe sous le fond de vallon.

A l'aval du poste, le lit devient de plus en plus ensablé (cf. Figure 9).

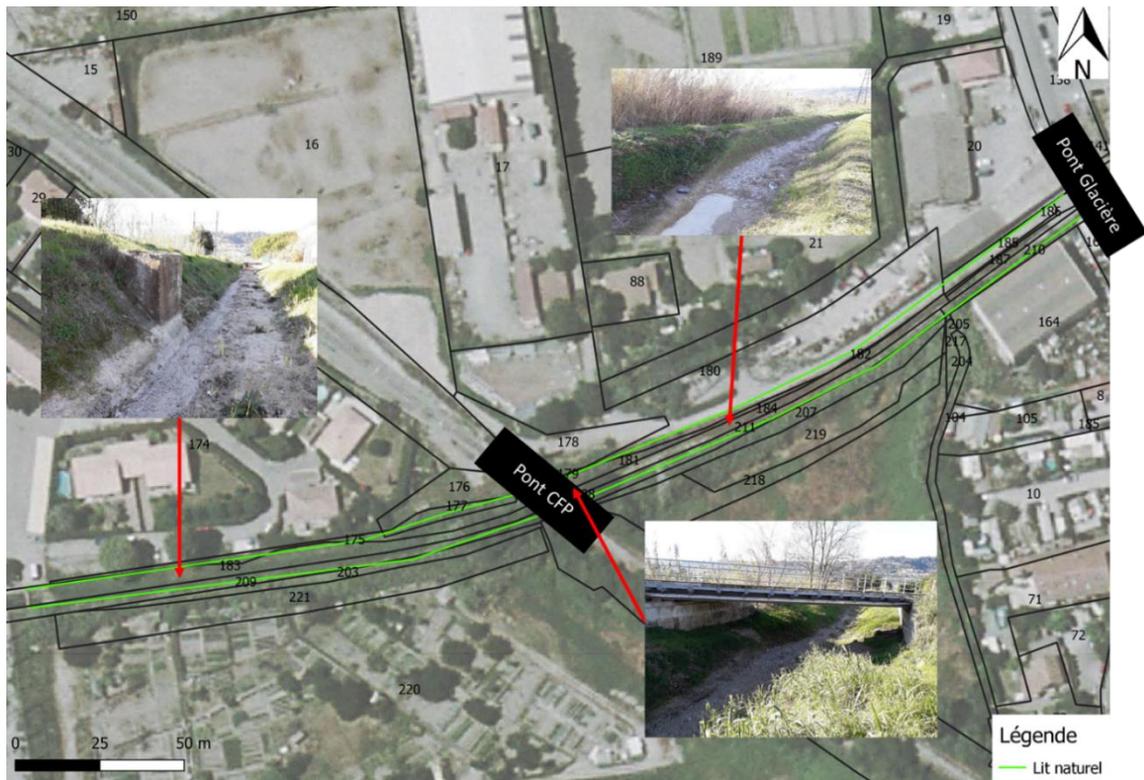


Figure 9 : Description du poste E

- Poste F :

Ce poste est constitué principalement du canal EDF, un canal bétonné rectangulaire de 6 m de large et 2,5 m de haut. Ce canal a pour but de protéger les zones du Réseau de Transport Electrique (RTE) présent en rives gauche et droite du vallon. Le lit de ce canal est très ensablé. A la sortie du canal EDF, sur environ 50 m, le lit du vallon redevient naturel avant de franchir un seuil de 1,2 m de haut équipé d'une vanne martellière et d'une buse de 800 mm pour ensuite aller se jeter dans le Var. La chute au Var possède une très forte pente et est aménagée avec des enrochements en mauvais état (cf. Figure 10).

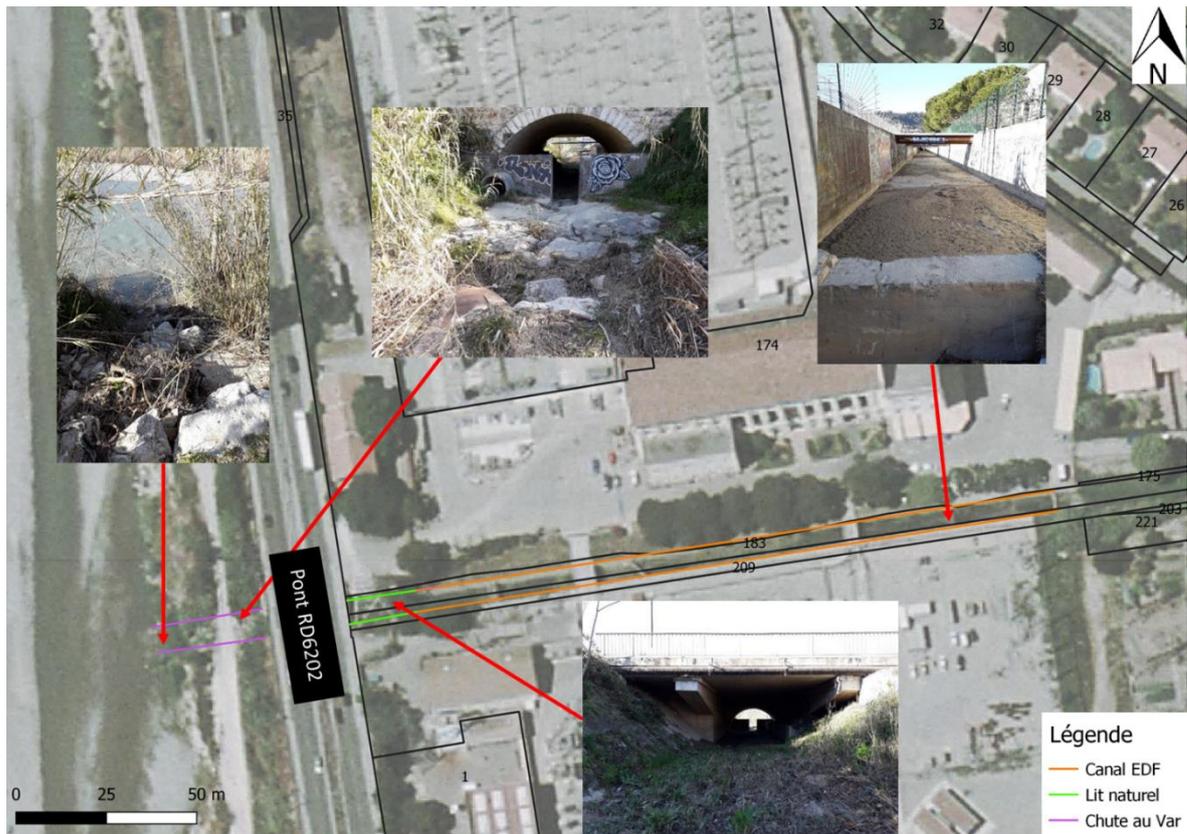


Figure 10 : Description du poste F

1.4 Historique des études et des projets envisagés sur le vallon de Lingostière

Dès les années 2000, dans le but de développer l'urbanisation du secteur, il s'avère nécessaire de réaliser des aménagements permettant de faire transiter la crue centennale dans le vallon de Lingostière.

Une étude hydrologique réalisée en 1999 par SOGREAH [13] a estimé le débit centennial du vallon à $29 \text{ m}^3/\text{s}$. Des propositions d'aménagements ont ensuite été faites par ce même bureau d'étude en 2007 [10] afin que la crue centennale puisse transiter dans le vallon. Entre 2010 et 2012, ISL a réalisé deux propositions d'aménagements en reprenant l'étude hydrologique précédente [11] [12].

Ces études ne se sont intéressées qu'au vallon en aval de la confluence (postes C, D, E et F), aucun aménagement sur les postes A et B n'a donc été proposé. Les propositions d'aménagements réalisées par les deux bureaux d'études sont décrites ci-dessous par postes.

- **Poste C :**

L'étude de SOGREAH et la première étude d'ISL prévoient la création d'un ouvrage de mise en vitesse et d'un bassin de dessablement à la confluence du vallon de Lingostière et du vallon du Collet des Etoiles, ayant pour vocation de limiter l'ensablement du vallon de Lingostière.

Dans la première étude d'ISL, la cunette actuelle située le long du chemin Val des Serres est remplacée par une tranchée couverte en béton armé sous la chaussée sur un linéaire d'environ 260 m et de dimension 4 m × 1,70 m.

Le projet de tranchée couverte n'est pas retenu dans l'étude SOGREAH ni dans la deuxième étude d'ISL, au profit d'un ouvrage d'entonnement en amont du pont du chemin de Saquier, composé d'un cadre béton ouvert muni d'un seuil déversant en rive gauche permettant de reconduire les eaux de ruissellement et de les restituer au vallon. A cela s'ajoute un mur de protection en béton armé qui permettrait de protéger la parcelle BN 144 exposée au risque inondation. Cette configuration accepte l'inondation du chemin Val des Serres, impliquant l'arrêt des activités en cas de crue (de même qu'en configuration actuelle). Cette deuxième configuration présente un avantage économique (solution aérienne) vis-à-vis du premier projet. Cette dernière configuration ne traite plus de la question du transport sédimentaire, très important sur ce vallon.

- **Poste D :**

Les trois études s'accordent sur le fait qu'un recalibrage des ponts du chemin de Saquier et du chemin de la Glacière ainsi qu'une réhausse de la route sont nécessaires. Le Tableau 2 ci-dessous résume les différentes dimensions des cadres des ponts proposés par chacune des études :

Tableau 2 : Tableau comparatif des dimensions des ponts

	Dimension actuelle		SOGREAH	ISL1	ISL2
Chemin de Saquier	Amont 3x0.8 m	Aval 5x1.25m	4x1.8m	4x1.7m	4x2m
Chemin de la Glacière	Amont 4x1 m	Aval 2.5x1.4 m	5x1.7m	4x1.7m	4x1.7m

Les trois études prévoient également de conserver le cuvelage existant avec une restauration en maçonnerie des parements les plus dégradés.

En aval de la portion en cuvelage béton, l'étude SOGREAH propose de conforter les murs existants avec de l'enrochement appareillé et de rehausser ponctuellement les berges pour avoir une hauteur minimum de 1,70 m par rapport au fond du lit alors que les deux études d'ISL proposent de recalibrer le fond de vallon sur un linéaire de 95 m avec un glacis en béton. Les études ISL choisissent de ne pas conserver le fond naturel du lit en le recouvrant afin de prévenir les phénomènes d'érosion, particulièrement importants sur cette portion. Ce choix implique une artificialisation supplémentaire du lit du vallon, alors que peu de portions naturelles subsistent sur le vallon de Lingostière.

- **Poste E :**

Toutes les études prévoient un recalibrage du lit du vallon et le confortement des berges permettant de faire transiter un évènement centennal sans débordements.

L'étude de SOGREAH propose la réalisation d'un élargissement de 5 à 6 m sur l'ensemble du poste. Les berges seront confortées par des murs verticaux en aval direct de l'ouvrage cadre du chemin de la Glacière et par la création d'une digue par renforcement, pour obtenir une hauteur minimum de 2,5 m au-dessus du fond du lit. L'arrière de ces digues est conforté par des gabions, afin de prévenir une érosion par des débordements dus à un évènement plus important. Le fond du lit est laissé naturel à l'exception d'une petite zone renforcée sur l'amont de la zone, prévue pour supporter l'érosion du lit à la rupture de pente.

Les études ISL conseillent de réaliser un recalibrage avec élargissement ponctuel du lit de 4 à 6 m et mise en place d'un revêtement béton en fond de vallon sur l'ensemble du linéaire. La berge en rive droite est remplacée par un mur de soutènement sur la partie amont (140 m, jusqu'au pont CFP) et conservée et renforcée par un glacis béton sur la partie aval (190 m). La berge en rive gauche est renforcée par un glacis béton sur tout son linéaire, rehaussée par des gabions sur plusieurs portions à risques (85 m en cumulé) et renforcée au déversement par des gabions.

L'étude de SOGREAH privilégie la sauvegarde d'un lit naturel et la mise en place de gabions pour prévenir les phénomènes d'érosion alors qu'ISL choisit la mise en place d'un revêtement béton en fond et en parement des berges. Dans la mesure du possible, il est préférable de laisser un fond de lit naturel afin de favoriser une diversité d'habitat pour les espèces. Le choix d'ISL est motivé par la prévention de l'érosion des berges et du fond, mais ne permet pas de préserver la continuité écologique.

- **Poste F :**

Les trois études s'accordent sur la suppression du seuil à l'entrée du canal EDF, en sortie de passage sous la RD 6202, de la vanne martellière et du caisson en béton renfermant la buse de 800 mm. Une étude réalisée en 2000 par Coyne et Bellier insistait aussi sur le fait que ces ouvrages induisent une augmentation de la ligne d'eau en amont (aggravation des inondations potentielles) et n'apportent pas une solution suffisante aux importants dépôts sédimentaires en jeu sur le canal EDF [14].

Elles mettent en place une chute au Var en enrochements bétonnés accompagnée d'un système de prévention de l'affouillement en aval : sabot pour SOGREAH, fosse de dissipation et bêche de pied pour ISL.

Conclusion :

L'étude de SOGREAH et la version finale de l'étude d'ISL s'accordent sur :

- La nécessité de recalibrer les ponts du Chemin de Saquier et du chemin de la Glacière et impliquant une réhausse de la route ;
- L'élargissement du lit au niveau du poste 3 dans le but de faire transiter la crue centennale sans débordements ;
- La suppression des deux seuils en amont et en aval du canal EDF ;
- La suppression des éléments réduisant la section d'écoulement sous la RD 6202 ;

- Le confortement du débouché au Var, avec la mise en place d'une rampe en enrochements bétonnés.

Il y a deux différences majeures parmi ces projets. La première est la stratégie d'aménagement au niveau du poste C.

La seconde est la méthode utilisée pour recalibrer le lit du cours d'eau au niveau du poste D et du poste E. L'étude de SOGREAH privilégie la sauvegarde d'un lit naturel et la mise en place de gabions pour prévenir les phénomènes d'érosion alors qu'ISL choisit la mise en place d'un revêtement béton en fond et en parement des berges afin de limiter l'érosion. Il est cependant préférable de laisser un fond de lit naturel afin de favoriser une diversité d'habitat pour les espèces et de favoriser une continuité écologique.

1.5 Objectif de l'étude et problématique

Les aménagements de SOGREAH ont fait l'objet d'une demande d'autorisation qui a été acceptée par les services de l'état mais le projet n'a pas pu être réalisé pour des raisons économiques, le coût de ce projet étant trop élevé (1 168 295 €) [15]. Le deuxième projet d'ISL a lui aussi fait l'objet d'une demande d'autorisation mais cette dernière a été refusée car l'artificialisation du lit mineur était beaucoup trop importante dans le projet, ce qui ne correspondait pas aux objectifs environnementaux et aux objectifs de bon état des cours d'eau fixé par le DCE.

Aucune des études ne semble avoir trouvé d'aménagements viables à la fois sur les plans économique, technique et écologique.

L'objectif de cette étude est donc de réduire la vulnérabilité du secteur de Lingostière, contrairement aux études précédentes où l'objectif était de contenir une crue centennale dans le vallon sans débordement. L'objectif de protection n'est pas pour une crue centennale mais plutôt pour une crue d'occurrence de l'ordre de 20-30 ans. L'occurrence de protection sera définie par concertation entre la Métropole et les acteurs locaux, et appuyée par la réalisation d'une analyse coût-bénéfice des aménagements. La réduction de la vulnérabilité du secteur devra permettre à la ville de Nice de se développer dans ce secteur. En effet, différents projets d'aménagement comme la construction d'un collège, le prolongement d'une ligne de tram, la création d'un dépôt (50 bus et 6 tramways) et la création d'une ZAC au niveau du quartier de Lingostière sont en cours de réflexion.

L'autre enjeu important de cette étude est la prise en compte des exigences de gestion écologique du Vallon. En effet, le vallon est très artificialisé ce qui l'empêche de divaguer et de s'étendre davantage en largeur. L'emprise foncière, très importante en aval le restreint également. De plus, le vallon n'est pas en eau toute l'année ce qui pose des problèmes de continuité écologique.

Le transport solide très important dans ce vallon est aussi un enjeu clé de cette étude qui a été très peu abordé dans les études précédentes.

2. HYDROLOGIE DU SECTEUR D'ETUDE

2.1 Caractérisation du bassin versant

2.1.1 Caractéristiques physiques et coefficients de ruissellement

Le bassin versant du vallon de Lingostière a été scindé en sous-bassins afin d'affiner les calculs hydrologiques, comme le montre la Figure 11.

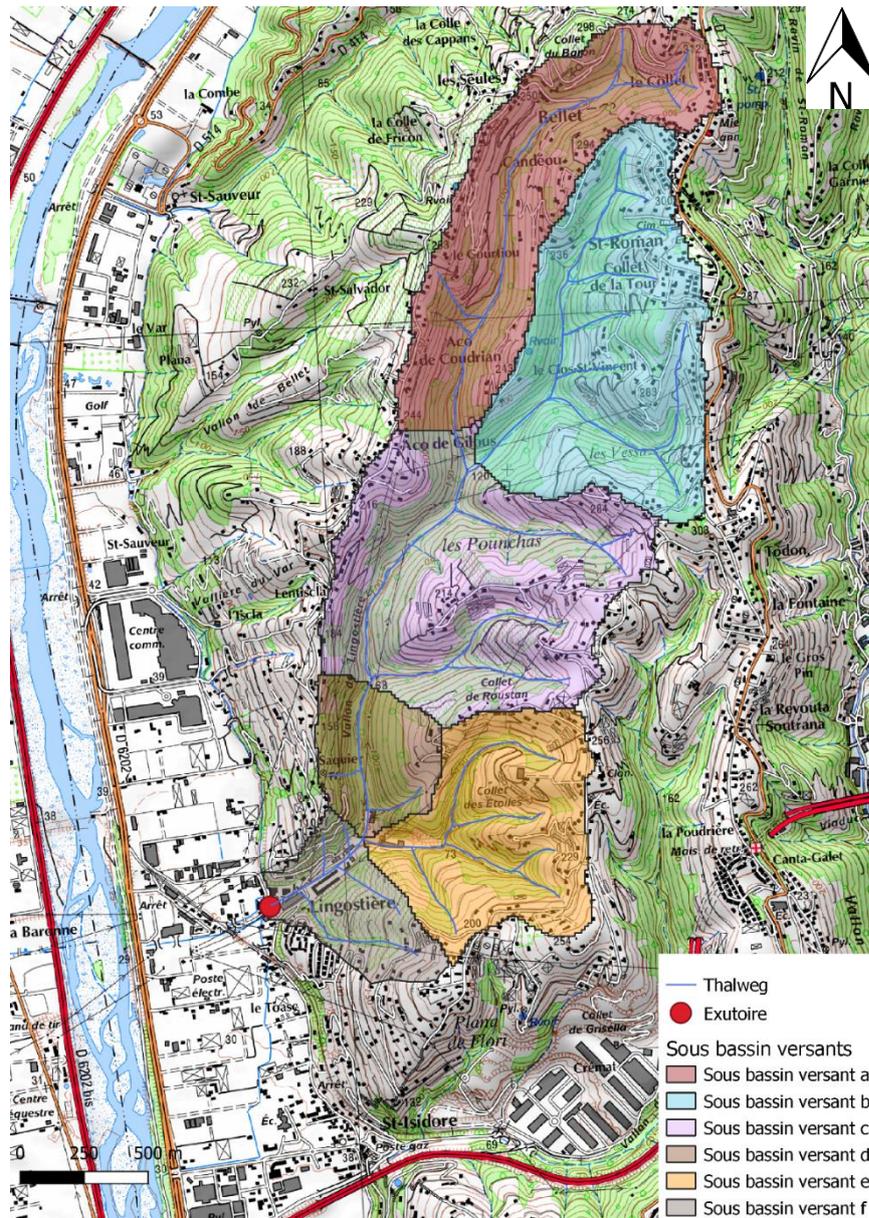


Figure 11 : Découpage en sous-bassins versants

ETUDE DE REDUCTION DE LA VULNERABILITE DU SECTEUR DE LINGOSTIERE POUR LA METROPOLE DE NICE

Les caractéristiques du bassin versant total et de ses sous-bassins versants sont résumées dans le Tableau 3 ci-dessous.

Tableau 3 : Récapitulatif des caractéristiques des sous-bassins versants

BV	Superficie (km ²)	Pente %	Plus long Thalweg (m)	% tissu urbain	% tissu routier	% Forêt et espaces verts	Cr 50-100ans	Cr 5-30 ans
BV total	3.87	6.31	4090	9.4	1.5	77.6	0.40	0.30
SBV a	0.79	8.30	2003	10.2	2.4	87.4	0.33	0.23
SBV b	0.95	9.51	1437	9.8	0.0	90.2	0.31	0.21
SBV c	1.05	2.96	1580	6	0.5	93.5	0.29	0.19
SBV d	0.24	5.45	613	5.8	1.3	92.8	0.30	0.20
SBV e	0.59	16.28	1063	9.3	1.9	88.7	0.32	0.22
SBV f	0.25	1.63	710	29.4	6.8	63.8	0.49	0.39

Le coefficient de ruissellement d'un sous-bassin versant est obtenu par une moyenne pondérée en fonction de l'occupation du sol. Les valeurs des coefficients de ruissellements utilisés pour différentes occurrences de pluies et d'occupation de sol sont reprises dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Coefficients de ruissellement en fonction de l'occupation du sol

	Tissu urbain	Forêt et espaces verts	Tissu routier
Cr 5-30 ans	0.8	0.15	0.85
Cr 50-100 ans	0.9	0.25	0.95

2.1.2 Calcul du temps de concentration (Tc)

Le temps de concentration correspond à la durée que met une goutte d'eau à parcourir le plus long chemin hydraulique du bassin versant jusqu'à l'exutoire. Les temps de concentration aux différents points de calcul ont été estimés à partir des caractéristiques des bassins versants et des méthodes présentées dans l'Annexe 3.

Les résultats obtenus sont présentés dans le Tableau 5 suivant. On notera qu'en règle générale, les formules de Kirpich et Bressand Golossov donnent des résultats systématiquement minorés par rapport aux valeurs issues des formules de Turazza, Passini et Ventura (la formule de Passini étant une adaptation de la formule de Ventura). Les formules de Kirpich et de Bressand-Golossov sont utilisées pour les petits bassins versants contrairement aux formules de Turazza, Passini et Ventura qui sont plutôt utilisées pour des grands bassins versants. Les résultats issus de la formule de Bressand Golossov semblent par ailleurs sous-estimer les valeurs de Tc pour les bassins à faible pente, pour le sous-bassin f. Ceci s'explique par la notion de valeur seuil introduite dans le calcul des vitesses associées aux pentes.

ETUDE DE REDUCTION DE LA VULNERABILITE DU SECTEUR DE LINGOSTIERE POUR LA METROPOLE DE NICE

Les formules de Giandotti et SOGREAH sont utilisées pour les bassins versants ruraux, ce qui est le cas sur 90% du bassin versant.

Compte-tenu de l'approximation de l'ensemble de ces formules et à défaut de données de calage du temps de concentration, nous avons pris par hypothèse la moyenne des résultats des formules de Kirpich, Bressand-Golosov, et SOGREAH.

Tableau 5 : Calcul du temps de concentration (min)

	Kirpich	Passini	Ventura	Turazza	Bressand Golossov	Giandotti	SOGREAH	Moyenne
BV total	34	65	60	60	34	65	40	43
SBV a	18	26	24	24	17	38	21	24
SBV b	13	23	24	22	12	39	22	22
SBV c	22	45	46	41	22	71	41	39
SBV d	8	15	16	14	7	37	18	18
SBV e	8	14	15	13	9	27	14	15
SBV f	15	29	30	26	11	68	28	30

2.2 Analyse des pluies

2.2.1 Pluviométrie statistique

La station de Nice aéroport est la station la plus proche de notre zone d'étude (environ 5 km) permettant d'effectuer un traitement statistique des données pluviométriques. Elle dispose d'une quarantaine d'années de données.

Le Tableau 6 reprend les coefficients de Montana fournis par Météo France en 2019 estimés à la station de Nice aéroport sur la période 1982-2016.

ETUDE DE REDUCTION DE LA VULNERABILITE DU SECTEUR DE LINGOSTIERE POUR LA METROPOLE DE NICE

Tableau 6 : Coefficients de Montana à la station de Nice aéroport sur la période 1982-2016

T	0.1h < d < 0.5h		0.5h < d < 1h		1h < d < 2h		2h < d < 24h	
	a	b	a	b	a	b	a	b
5 ans	4.833	0.371	7.969	0.533	9.034	0.573	21.553	0.759
10 ans	5.339	0.362	8.578	0.515	9.595	0.550	28.465	0.781
20 ans	5.541	0.353	8.886	0.505	9.821	0.537	33.173	0.794
30 ans	5.805	0.344	9.200	0.493	10.009	0.520	39.873	0.81
50 ans	6.108	0.333	9.505	0.475	10.155	0.496	50.48	0.831
100 ans	4.833	0.371	7.969	0.533	9.034	0.573	21.553	0.759

A partir de ces données, il est possible de calculer la pluviométrie cumulée et l'intensité de la pluie en fonction des différentes périodes de retour pour différentes durées de pluie en utilisant la formule de Montana $h = a \times t_c^{1-b}$ (cf. Tableau 7). Les durées de pluie ont été choisies en fonction des temps de concentration des bassins versants du secteur d'étude calculés dans la partie précédente.

Tableau 7 : Cumul de la pluie (mm) en fonction du temps de concentration et de la période de retour

T	Tc	6	15	30	45	60	120	180	240	360
10 ans		14.9	26.5	39.0	47.1	51.9	69.8	75.3	80.7	89.0
20 ans		16.7	30.0	44.6	54.3	60.6	82.7	88.8	94.5	103.3
50 ans		18.8	34.3	51.6	63.4	71.4	99.6	106.9	113.0	122.0
100 ans		20.2	37.2	56.7	70.1	80.0	113.4	121.4	127.5	136.5

2.2.2 Evènement historiques

Les événements pluviométriques historiques sur le secteur d'étude ainsi que leur période de retour ont dû être identifiés afin de les tester ultérieurement dans le modèle hydraulique. Plusieurs évènements pluviométriques extrêmes ont été enregistrés par la station pluviométrique de l'aéroport de Nice (à environ 5 km de la zone d'étude) :

- 1 et 2 octobre 2015 présentant un cumul total de 102 mm sur 26 heures, qui a joué un rôle de saturation des sols avant l'évènement du 3 octobre 2015 ;
- 3 octobre 2015 avec un cumul de près de 120 mm sur 4 heures ;
- 4 novembre 2014 avec un total de 180 mm étalé sur 11 heures.

2.2.2.1 Octobre 2015

L'épisode d'octobre 2015 s'étend entre le 1^{er} et le 3 octobre et comporte deux épisodes.

ETUDE DE REDUCTION DE LA VULNERABILITE DU SECTEUR DE LINGOSTIERE POUR LA METROPOLE DE NICE

Le premier épisode s'est étalé sur une période de 26 h entre le 1er et le 2 octobre. Un cumul de 102 mm a ainsi été mesuré entre 20 h le 1er octobre et 22 h le 2 octobre à la station de Nice. En cumul maximal et ramené aux statistiques antérieures (Nice 1982- 2016), cet événement serait qualifié de biennal sur une période de 6 à 12h. Il retombe sous une occurrence infra biennale sur des périodes plus courtes mesurées en moyenne glissante (cf. Tableau 8 et Figure 12).

Tableau 8 : Cumuls pluviométriques maximum mesurés le 01 et 02/10/2015

Durée (h)	0.25	0.5	1	2	3	6	12	24
Cumul max (mm)	4.07	6.80	11.60	20.20	27.40	46.60	68.00	101.20

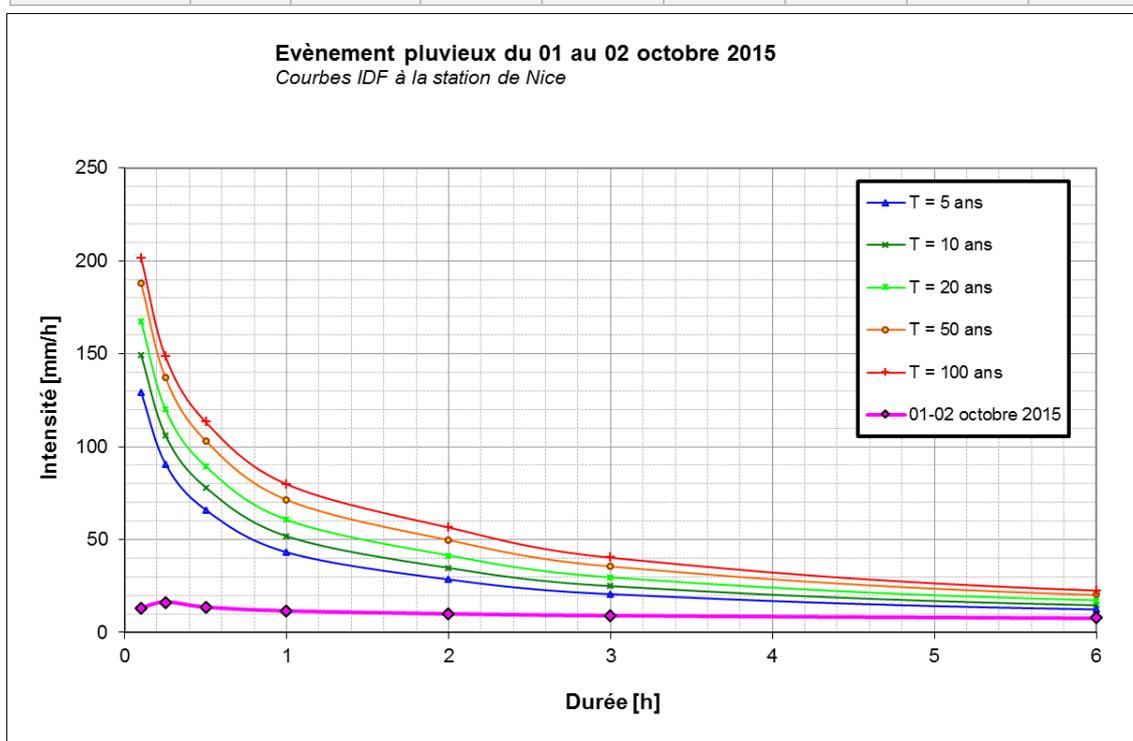


Figure 12 : Analyse du cumul des pluies mesurées lors de l'épisode du 1 et 2 octobre 2015 comparé aux courbes IDF à la station Météo France de Nice

Le deuxième épisode s'est déroulé le 03 octobre et s'est étalé sur une période de 4 h en fin de journée. Un cumul de 120 mm a ainsi été mesuré entre 19 h et 23 h à la station de Nice. En cumul maximal et ramené aux statistiques antérieures, cet événement serait qualifié de centennal voir plus que centennal sur toute sa durée (cf. Tableau 9 et Figure 13).

Tableau 9 : Cumuls pluviométriques maximum mesurés le 03/10/2015

Durée (h)	0.25	0.5	1	2	3	4	6
Cumul max (mm)	49.50	76.20	104.00	115.80	119.80	120.60	120.60

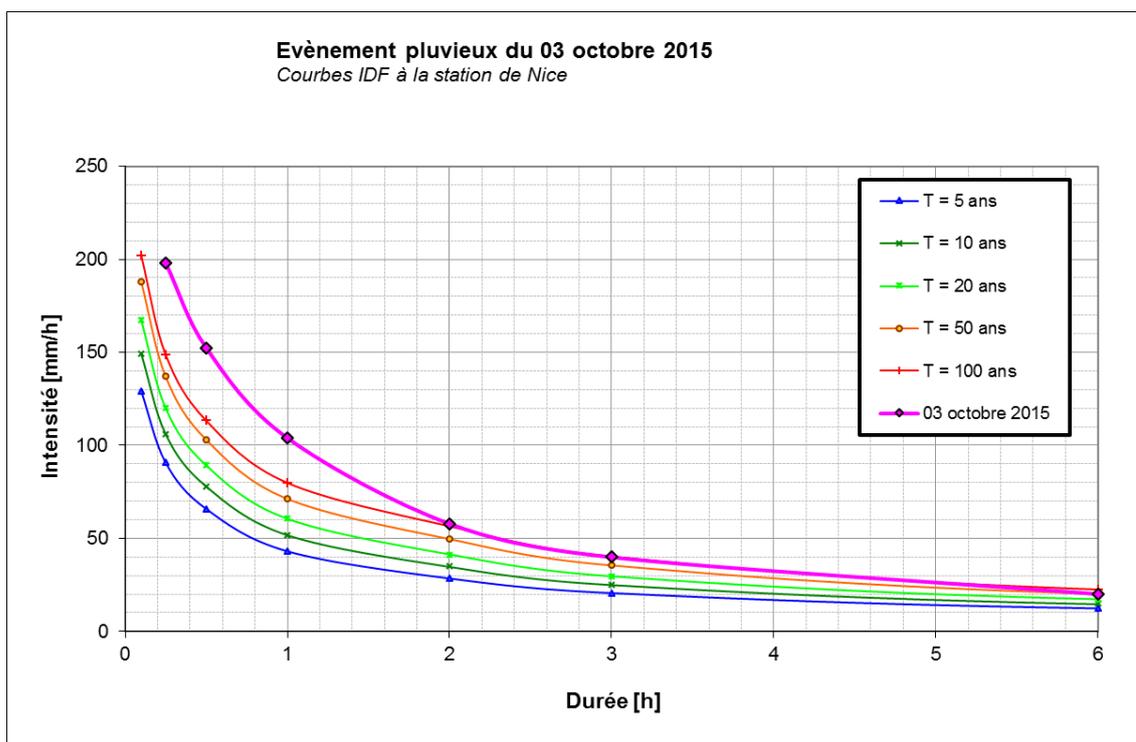


Figure 13 : Analyse du cumul des pluies mesurées lors de l'épisode du 3 octobre 2015 comparé aux courbes IDF à la station Météo France de Nice

Cet épisode ne peut pas être totalement dissocié du précédent (1 et 2 octobre 2015) c'est pourquoi dans la suite de l'étude deux évènements seront traités : un prenant en compte uniquement la pluie du 3 octobre et un regroupant les deux évènements pluvieux (du 1^{er} octobre au 3 octobre 2015).

2.2.2.2 04 novembre 2014

L'épisode du 04 novembre 2014 s'est étalé sur une période de 11 h. Un cumul de 180 mm a ainsi été mesuré entre 12 h et 23 h à la station de Nice. En cumul maximal et ramené aux statistiques antérieures, cet événement serait qualifié de décennal sur une période de 15 à 30 minutes, vicennal sur une période de 1 à 2 heures et plus que centennal sur sa durée totale (cf. Tableau 10 Figure 14).

Tableau 10 : Cumuls pluviométriques maximum mesurés le 04/11/2014

Durée (h)	0.25	0.5	1	2	3	6	12
Cumul max (mm)	28.50	36.60	60.40	89.00	92.40	129.00	180.60

ETUDE DE REDUCTION DE LA VULNERABILITE DU SECTEUR DE LINGOSTIERE POUR LA METROPOLE DE NICE

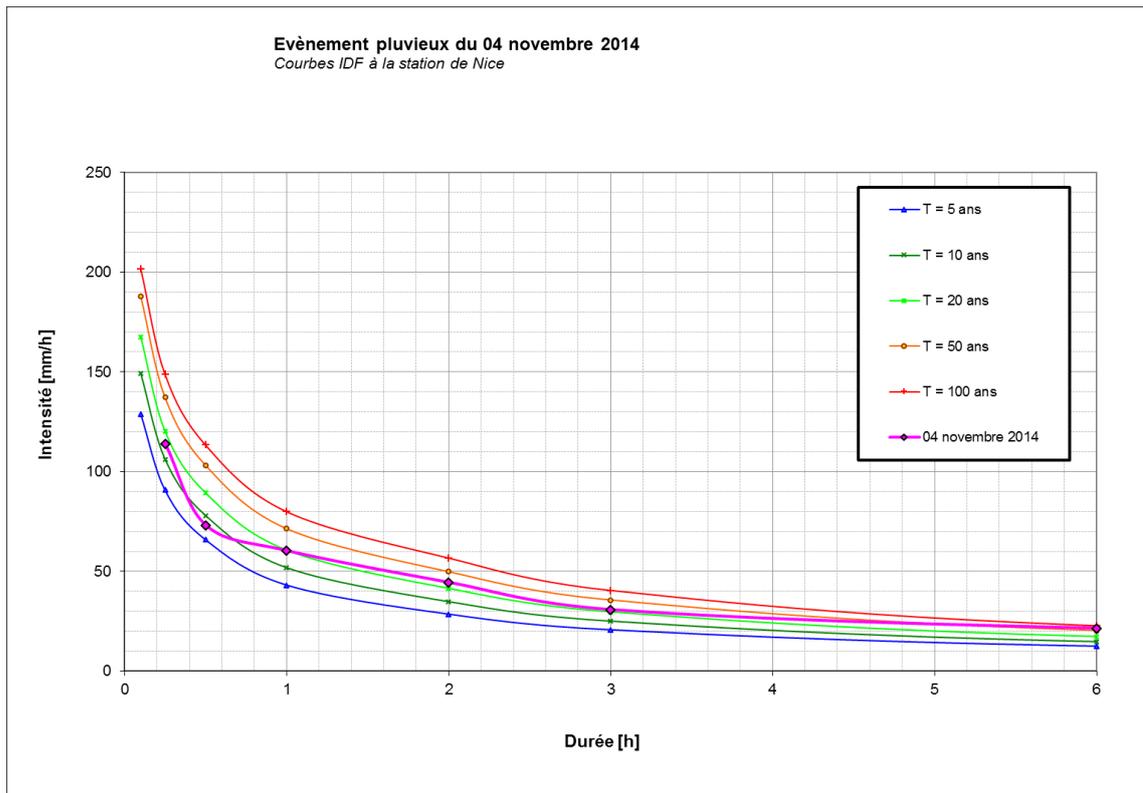


Figure 14 : Analyse du cumul des pluies mesurées lors de l'épisode du 4 novembre 2014 comparé aux courbes IDF à la station Météo France de Nice

2.2.3. Pluie de projet

Afin de choisir la pluie de projet la plus adaptée au secteur d'étude, différentes pluies de projet ont été testées :

- Des pluies double triangle de durée intense 15 min, 30 min et de durée totale 2h et 4h (cf. Figure 15) ;
- Des pluies de Kiefer de durée totale 3 et 4 heures. Les pluies de Kiefer sont construites de sorte que la pluie soit centennale sur toute sa durée (cf. Figure 16).

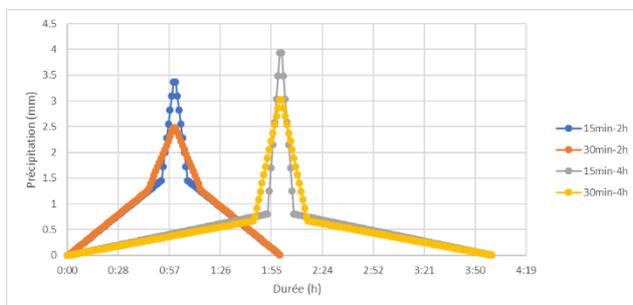


Figure 15 : Hyéto grammes double triangle

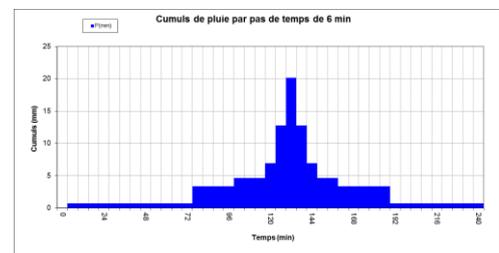


Figure 16 : Hyéto grammes de Kiefer de 4h

2.3 Débits de pointe et hydrogrammes de crue

2.3.1 Construction du modèle HEC-HMS

La transformation des pluies en débit a été réalisée à l'aide du logiciel HEC-HMS.

Après avoir construit un modèle comprenant les 6 sous-bassins versants et leurs caractéristiques (cf. Figure 11), la méthode SCS a été utilisée pour le calcul de perte et de transformation. Cette méthode est préconisée pour la transformation pluie-débit par le département du Var qui est un département voisin des Alpes-Maritimes, pour les bassins versants inférieurs à 5 km² [16]. Pour la méthode de transformation SCS, le modèle n'a besoin que du lag time qui a été approximé avec la formule : $t_{lag\ time} = 0.6 \times t_c$ donné par le guide utilisateur de HEC-HMS [17]. Pour les pertes, le modèle a besoin d'un pourcentage de surface imperméabilisée et d'un Curve Number (CN). Ce Curve Number doit normalement être un paramètre de calage or comme aucun débit n'a jamais été relevé à l'exutoire du vallon de Lingostière (le bassin versant n'est pas instrumenté), il est donc impossible de caler ce paramètre. Pour l'estimer au mieux, la grille fournie dans le guide utilisateur de HEC-HMS a été utilisée. Le sol étant majoritairement sableux-limoneux d'après les études géotechniques réalisées en 2010 et 2014, la catégorie de sol choisi est de type B [18] [19]. Une moyenne pondérée a ensuite été effectuée avec le pourcentage d'occupation des sols et le Curve Number préconisé pour l'occupation du sol correspondante comme le résume le Tableau 12 et le Tableau 11.

Pour le calcul de la surface imperméabilisée, une moyenne pondérée avec les coefficients préconisés par le guide utilisateur et l'occupation du sol a été effectuée [17].

Tableau 11 : Calcul du Curve Number

	% zone pavillonnaire	% tissu routier et parking	% forêt et espaces verts	% surface agricole	% zone industrielle	Imperméabilisation retenue (%)	CN retenu
BV total	21.07	2.90	45.37	29.30	1.36	14.14	69.2
SBV a	25.04	3.01	44.02	27.92	0.02	15.34	69.1
SBV b	31.86	1.62	41.34	24.90	0.28	17.75	69.1
SBV c	13.75	3.43	55.42	26.78	0.62	10.76	68.6
SBV d	6.08	2.36	71.94	16.90	2.72	7.36	67.7
SBV e	15.96	2.50	35.69	43.72	2.13	12.01	69.6
SBV f	24.50	6.52	20.56	38.80	9.61	25.69	73.0

Tableau 12 : Valeur de CN utilisée

	Valeur imperméabilisation (%)	Valeur de CN	Catégorie correspondante dans le manuel HEC-HMS
Zone pavillonnaire	50	72	Résidentiel district (≈30% impervious area)
Tissu routier	100	98	Impervious area: paved parking, lots, roofs, driveway...
Forêt et espaces verts	0	65	Woods-grass combination (fair hydraulic condition)
Surface agricole	0	70	Small grain contoured and traced
Zone industrielle	72	88	Urban district industrial

2.3.2 Résultats pour les différentes pluies de projets

Les différentes pluies de projets centennales ont été testées avec le modèle HEC-HMS. Le Tableau 13 ci-dessous récapitule les résultats des débits à l'exutoire obtenus ainsi que les débits spécifiques.

Tableau 13 : Comparatif des débits de pointe centennaux à l'exutoire pour différents types de pluies (m³/s)

Type de pluie	Durée totale	Durée intense	Débit max (m ³ /s)	Débit spécifique (m ³ /s/km ²)
Double triangle	2	15	56	14.4
		30	54	13.8
	4	15	55	14.1
		30	57	14.6
Kiefer	3		54	13.8
	4		56	14.4

2.3.3 Analyse critique des résultats et conclusion

Les débits centennaux obtenus sont nettement supérieurs au débit centennal de 29 m³/s obtenu dans l'étude hydrologique réalisée en 1999 par SOGREA [13], qui a été reprise pour les propositions d'aménagements.

En entrant la pluie qui a servi à déterminer le débit de 29 m³/s dans le modèle HEC-HMS, on obtient un résultat proche de ce dernier (28 m³/s). L'écart entre les résultats s'explique donc principalement par la pluie prise en compte. Dans l'étude de 1999, la pluie de projet centennale

ETUDE DE REDUCTION DE LA VULNERABILITE DU SECTEUR DE LINGOSTIERE POUR LA METROPOLE DE NICE

est construite à l'aide d'une loi de Gumbel sur les pluies afin de déterminer le cumul maximal journalier d'une pluie centennale. Deux pluies ont ensuite été construites : une pluie homogène courte et intense, d'une durée égale au temps de concentration minimal du bassin versant et une autre avec le temps de concentration maximal du bassin versant. Le temps de pluie total est donc extrêmement faible et ne correspond pas aux évènements pluvieux observés dans la région de Nice.

A cela s'ajoute le fait que la région de Nice a connu de nombreux épisodes pluvieux intenses ces dernières années, ce qui a modifié les statistiques associées à la loi de Gumbel, utilisée pour déterminer le cumul de pluie journalier centennal, et les coefficients de Montana.

D'autre part, la base de données SHYREG d'IRSTEA donne pour le vallon de Lingostière un débit centennal de pointe à l'exutoire de 69.2m³/s pour 5 km² de bassin versant, soit 13.84 m³/s en débit spécifique, ce qui correspond au débit centennal pour une pluie de projet de 4 heures (cf. Tableau 13). La méthode SHYREG est une approche développée sur l'ensemble de la France pour la connaissance de l'aléa pluvial et hydrologique. Les pluies utilisées pour ce modèle sont construites à partir de 8 paramètres (dont le nombre moyen d'évènement pluvieux par an, le nombre d'averse par évènement, le volume moyen des averses, la durée moyenne des évènements, la moyenne des pluies journalières maximale des évènement pluvieux...), puis le modèle GR3H est utilisé pour transformer les pluies en débit. Il s'agit d'un modèle de deux réservoirs, un de production et un de transfert permettant de déterminer le débit à l'exutoire d'un bassin versant [20].

Finalement, la pluie de projet choisie pour cette étude est la pluie de Kiefer d'une durée totale de 4 heures (cf. Figure 16). Ce type de hyétogramme présente l'avantage de pouvoir intégrer l'ensemble des durées et intensités de pluies critiques permettant de garantir une réaction maximale des différents bassins versants constitutifs du secteur d'étude. Cette méthode de construction de pluies de projet se justifie au regard de la forme que prennent généralement les épisodes pluvieux, caractérisés par une période de pluie relativement longue d'intensité soutenue, à l'intérieur de laquelle viennent s'insérer des épisodes plus courts, caractérisés par des intensités très fortes dont la période de retour est associée à la pluie de projet.

Après avoir généré les pluies de projet pour différentes périodes de retour, les débits à l'exutoire récapitulés dans le Tableau 14 sont obtenus. Le modèle est également testé sur les pluies d'octobre 2015 et novembre 2014.

Tableau 14 : Résultats du modèle : débits à l'exutoire pour des pluies de différentes occurrences

	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	1, 2 et 03/10/15	03/10/15	04/11/14
Débit de pointe à l'exutoire (m³/s)	31	38.5	48	56	102	69	35
Débit spécifique (m³/s/km²)	8.0	9.9	12.4	14.5	26.4	17.8	9.0

Les hydrogrammes de crue obtenus à l'exutoire du bassin versant pour les évènements historiques et la pluie projet de période de retour 100 ans se trouvent sur le graphique suivant. L'hydrogramme des autres périodes de retour des pluies de projet possède la même forme que ce dernier, seul le débit de pointe est différent. Les hydrogrammes des crues historiques sont disponibles en Annexe 4.

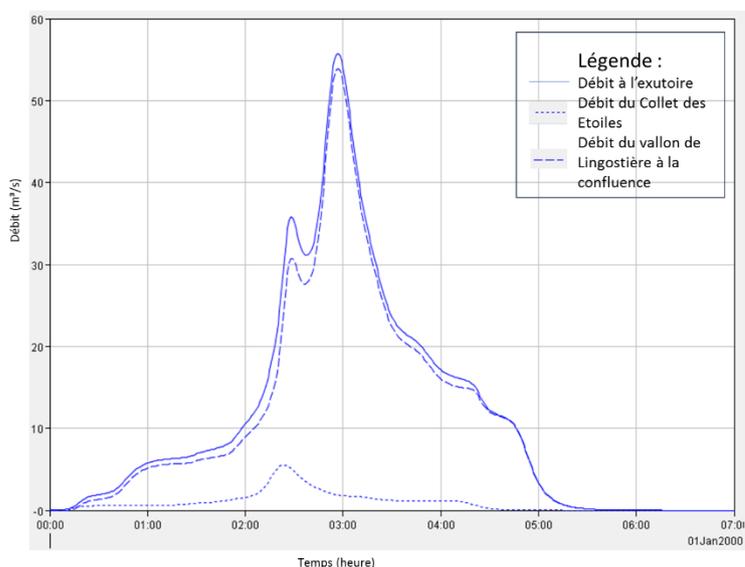


Figure 17 : Hydrogrammes de la crue centennale

Un test de sensibilité sur le CN (+/- 10%) a été effectué, pour la pluie de projet centennale, les résultats sont disponibles dans le tableau ci-dessous :

Tableau 15 : Résultats de l'analyse de sensibilité

	CN		CN+10%		CN-10%	
	Débit (m ³ /s)	Débit spécifique (m ³ /s/km ²)	Débit (m ³ /s)	Débit spécifique (m ³ /s/km ²)	Débit (m ³ /s)	Débit spécifique (m ³ /s/km ²)
Pluie de projet 100 ans	56	14.4	64	16.4	48	12.3

La variation du débit à l'exutoire est quasiment proportionnelle à la variation des CN. Le résultat est donc extrêmement sensible à la variation de CN. Ce coefficient a donc été réajusté plusieurs fois en prenant en compte 5 catégories d'occupation du sol différentes grâce à la couche d'occupation du sol (couche SIG 2107 fournie par MNCA) afin de déterminer ce coefficient le plus précisément possible (cf. Annexe 5).

3. MODELISATION HYDRAULIQUE, ALEA ET ENJEUX A L'ETAT ACTUEL

Une modélisation couplée 1D-2D réalisée avec le logiciel HEC-RAS a été choisie pour l'étude de vulnérabilité du vallon de Lingostière. Elle permet de prendre en compte les spécificités du lit mineur du cours d'eau grâce au modèle 1D construit avec les profils en travers et les ouvrages hydrauliques ainsi que la topographie des zones de débordements, grâce au MNT introduit pour la modélisation 2D.

3.1 Données d'entrée

3.1.1 Données topographiques

Un MNT de la zone, réalisé par LIDAR, a été fourni par la Métropole Nice Côte d'Azur. Ce dernier a une précision horizontale supérieure à 10 points/m² et inférieure à 30 cm en altitude.

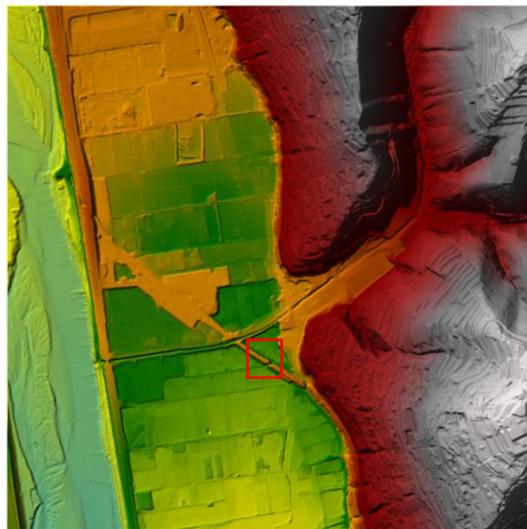


Figure 18 : MNT de la zone d'étude (Source : Métropole Nice Côte d'Azur)

Ce MNT a été modifié au niveau du carré rouge (cf. Figure 18). En effet, à cet endroit, se situe un ouvrage permettant à l'eau de s'écouler sous la voie ferrée. Or, le MNT n'était pas assez creusé comme le montre les figures ci-dessous, le terrain a donc été abaissé à cet endroit.

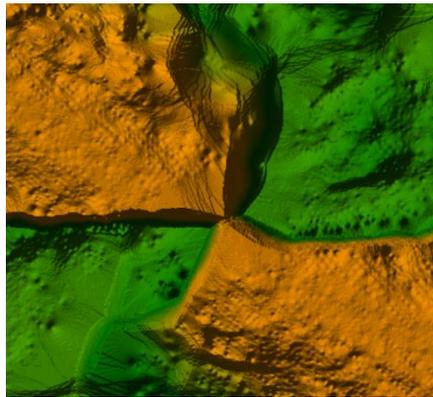


Figure 19 : MNT original

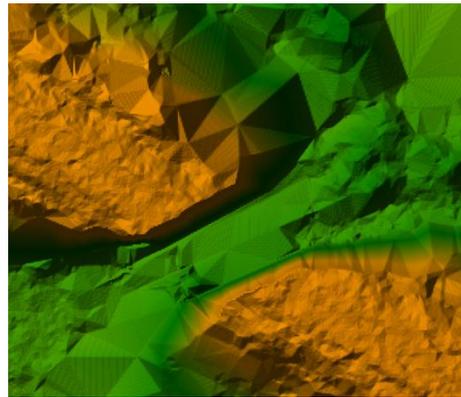


Figure 20 : MNT modifié

Cette prise de vue aérienne est complétée par des levés terrain de profils en travers sur l'ensemble de linéaire d'étude afin de construire la géométrie 1D du modèle.

Les profils utilisés pour construire la géométrie 1D du modèle proviennent :

- Des levés topographiques réalisées en février 2020 par Suez Consulting (en particulier les levés des conduites en partie amont) ;
- Des données fournies par la Métropole de Nice Côte d'Azur :
 - Datant de 2008 provenant de la Direction Centrale de la Maintenance et de l'Exploitation des espaces publics, Direction de la Voirie et des Réseaux de la Mairie de Nice ;
 - Datant de 2009 provenant de SEGC.
- Des relevés provenant directement du LIDAR.

L'Annexe 6 donne la source de chaque profil utilisé dans la construction du modèle et l'Annexe 7 la cohérence entre le MNT et les profils en travers.

Les ouvrages pris en compte pour la modélisation sont présentés sur la Figure 4. L'Annexe 8 montre plus précisément comment les ouvrages ont été modélisés sur le logiciel HEC-RAS.

3.1.3 Conditions amont

Le modèle nécessite deux conditions amont : une au niveau du vallon de Lingostière et une autre au niveau du Collet des Etoiles. Les conditions amont du modèle correspondent aux hydrogrammes de crue calculés avec HEC-HMS pour les différentes occurrences (cf. Figure 17).

3.1.4 Condition aval

A l'aval du modèle, le vallon de Lingostière se jette dans le Var. Cette chute, qui n'est actuellement pas aménagée puisqu'elle est constituée d'un chaos de rochers et de terre, possède une pente d'environ 40% selon les différents profils en long à disposition (cf. Figure 21). Le Var et le vallon de Lingostière ont des bassins versants très différents en taille (environ 4 km² pour le vallon et 2822 km² pour le Var) et donc des réactions différentes face à un même évènement pluviométrique. Il est en effet très peu probable qu'un évènement faisant réagir le Vallon de Lingostière à hauteur d'un évènement centennal puisse faire réagir le Var à hauteur d'un évènement important.



Figure 21 : Photo de la chute au Var

De plus, le décalage des temps de réaction des deux bassins versants rend peu probable la concomitance pure des deux évènements à la confluence.

Une configuration hydrologique pessimiste serait de considérer un évènement globalisé sur une partie importante du bassin versant du Var qui atteindrait le bassin versant de Lingostière en dernier. On peut alors considérer la concomitance d'un évènement type décennal sur le Var et d'un évènement centennal sur le Vallon de Lingostière.

Malheureusement, très peu de données sont disponibles concernant les niveaux d'eau atteints par le Var en crue au niveau de la confluence avec le vallon de Lingostière.

En condition « normale » du Var, la condition aval du modèle la plus cohérente serait donc une hauteur critique. Cependant HEC-RAS ne permet pas de fixer une hauteur critique à l'aval d'un modèle 2D mais seulement une hauteur normale. Plusieurs tests ont été effectués pour définir la condition la plus cohérente alliant réalité, cohérence et stabilité du modèle. Avec une pente supérieure à 10 % le modèle devient incohérent et instable.

La condition aval retenue est donc une condition « normale » avec une pente de 10 %.

Les conditions de « crue courante » du Var n'étant pas connues, plusieurs niveaux du Var ont été testés pour en constater les incidences possibles sur le vallon (§ 3.3.1).

3.2 Calage

Aucune donnée sur les plus hautes eaux rattachées au vallon de Lingostière n'est disponible. De plus le cours d'eau n'est pas instrumenté ; aucune mesure de débit n'est donc disponible.

Les coefficients de Strickler, qui sont normalement une donnée de calage, ont donc été définis à l'aide de la littérature et notamment le guide utilisateur proposé par HEC-RAS [21].

Pour la modélisation 1D, les coefficients suivants ont été appliqués :

- $K_s=20$ lorsque le lit mineur et les berges sont naturels ;
- $K_s=40$ lorsque les berges sont des routes ou des chemins (en amont du pont du chemin Saquier et en amont immédiat de la confluence) ;
- $K_s=60$ lorsque les lits mineurs sont artificiels (cunette, canal EDF et canalisation).

La Figure 22 montre les coefficients choisis en fonction de l'occupation du sol pour le modèle 2D :

- Les zones urbanisées et imperméabilisées (en jaune) ont un $KS=12$
- Les zones faiblement urbanisées et peu imperméabilisées (en vert) ont un $KS=10$
- Les bâtiments n'étant pas représentés sur le MNT, ils ont été intégrés au modèle grâce à la couche de bâti SIG avec un Strickler très faible ($KS=1$). Cette technique permet de ralentir fortement les écoulements contrairement à l'extrusion des bâtiments qui empêche totalement les écoulements. Il est donc plus cohérent de prendre en compte les bâtiments avec un Strickler faible car lors d'une inondation, l'eau peut quand même rentrer dans les bâtiments.

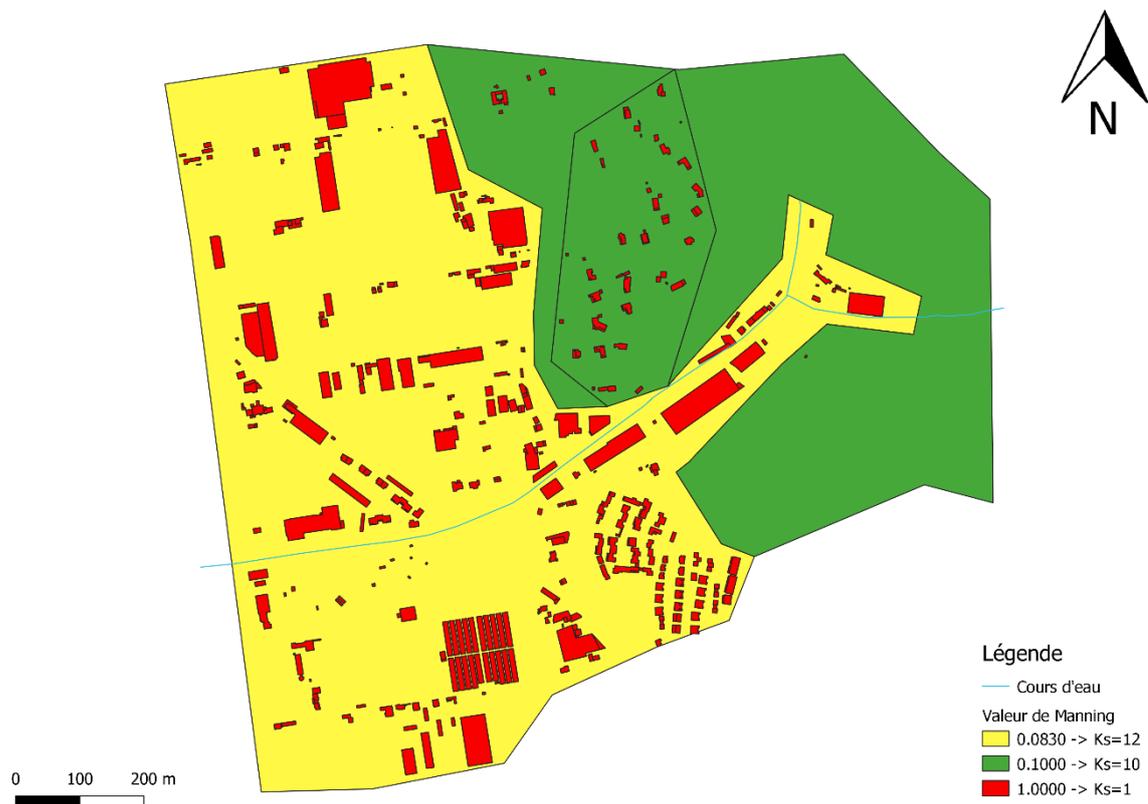


Figure 22 : Coefficients de frottement associés aux zones d'écoulement 2D

3.2. Résultats de la modélisation pour l'état actuel

3.2.1 Premiers débordements

La dynamique des premiers débordements est représentée sur la Figure 23 ci-dessous.

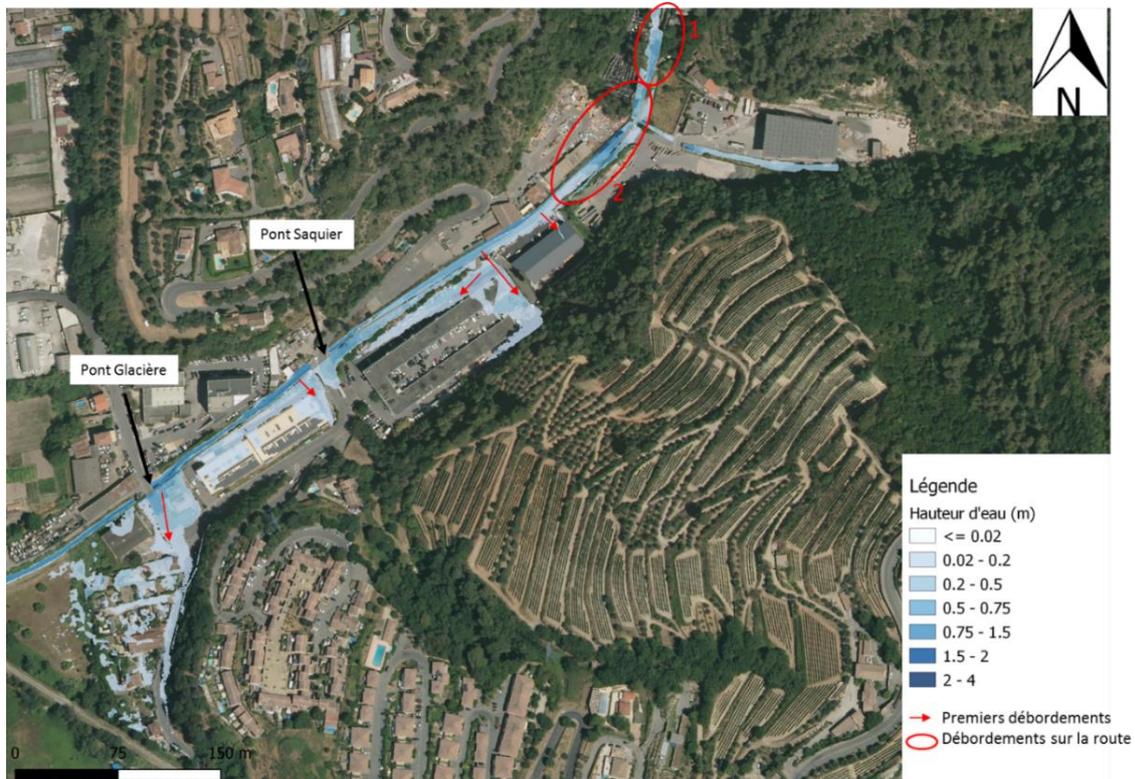


Figure 23 : Localisation des premiers débordements observés sur le vallon de Lingostière

Sur la partie amont (zone1), le chemin est inondé dès le début car il n'y a pas de lit. Comme l'eau s'écoule sur toute la largeur du chemin, toute l'eau ne rentre pas dans les canalisations au niveau de la zone 2 et une partie de l'eau s'écoule sur la route alors que la canalisation n'est pas en charge comme la montre la Figure 24 .

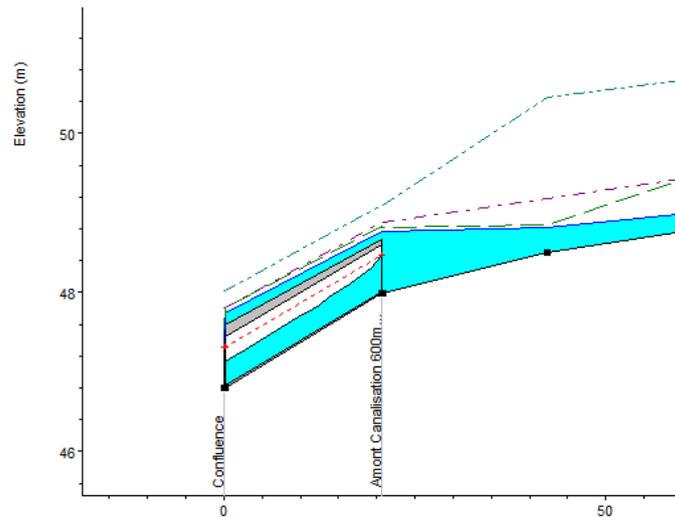


Figure 24 : Canalisation de la partie amont du vallon de Lingostière au moment des premiers débordements

En aval, les premiers débordements ont lieu à partir de $2.1 \text{ m}^3/\text{s}$ sur le chemin Val des Serres à la sortie de la partie canalisée du vallon (au niveau de la cunette), $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ au droit du pont du chemin de Saquier et à partir de $2.6 \text{ m}^3/\text{s}$ en amont du pont du chemin de la Glacière.

Le pont du chemin de Saquier est en charge à partir de $6.4 \text{ m}^3/\text{s}$ et le pont du chemin de la Glacière à partir de $7 \text{ m}^3/\text{s}$. l'eau passe au-dessus des ponts à partir de $10.25 \text{ m}^3/\text{s}$.

3.2.2 Crue décennale

La Figure 25 donne la répartition des hauteurs d'eau obtenues pour la modélisation d'une crue décennale.

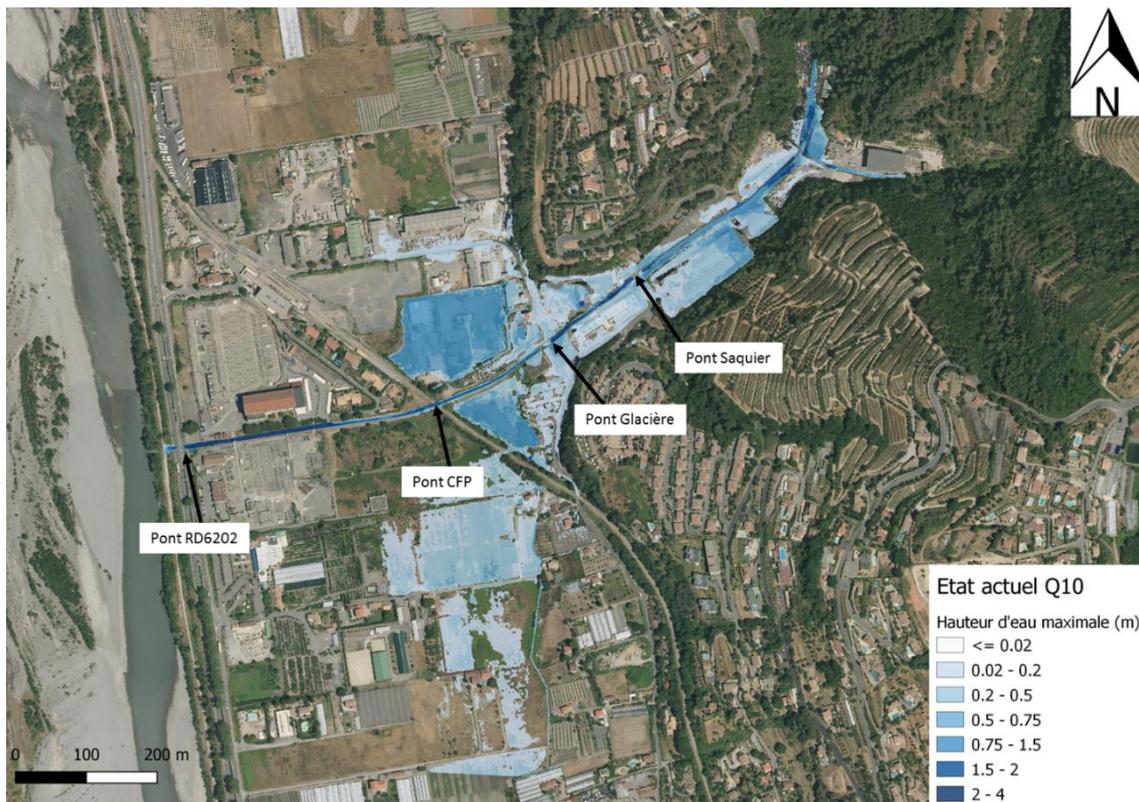


Figure 25 : Hauteur d'eau maximale pour Q10 à l'état actuel

En amont de la confluence entre le vallon de Lingostière et le Collet des Etoiles, les hauteurs d'eau sont importantes. Cela est dû au fait que sur cette partie, il n'y a plus de lit et l'eau s'écoule directement sur le chemin. Les hauteurs d'eau sont également importantes au niveau de la confluence et sur le chemin Val des Serres au niveau de la cunette, sous dimensionnée pour laisser passer une crue décennale.

Les hauteurs d'eau sont également élevées en rives gauche et droite entre le pont du chemin de la Glacière et le pont CFP : une zone d'accumulation se forme en amont du remblai du chemin de fer et retient les eaux débordant au niveau du pont de la Glacière, sous dimensionné pour laisser transiter un évènement décennal. Le cours d'eau possède une configuration en toit c'est-à-dire que le fond du lit est plus haut que les terrains environnants. Les eaux débordantes sont donc stockées dans les plaines et ne peuvent pas retourner au cours d'eau. En rive gauche, l'eau s'écoule sous la voie ferrée, au niveau de l'ouvrage qui n'était pas bien représenté sur le MNT (cf. Figure 20).

La Figure 26 donne la répartition des vitesses obtenues pour la modélisation d'une crue décennale.

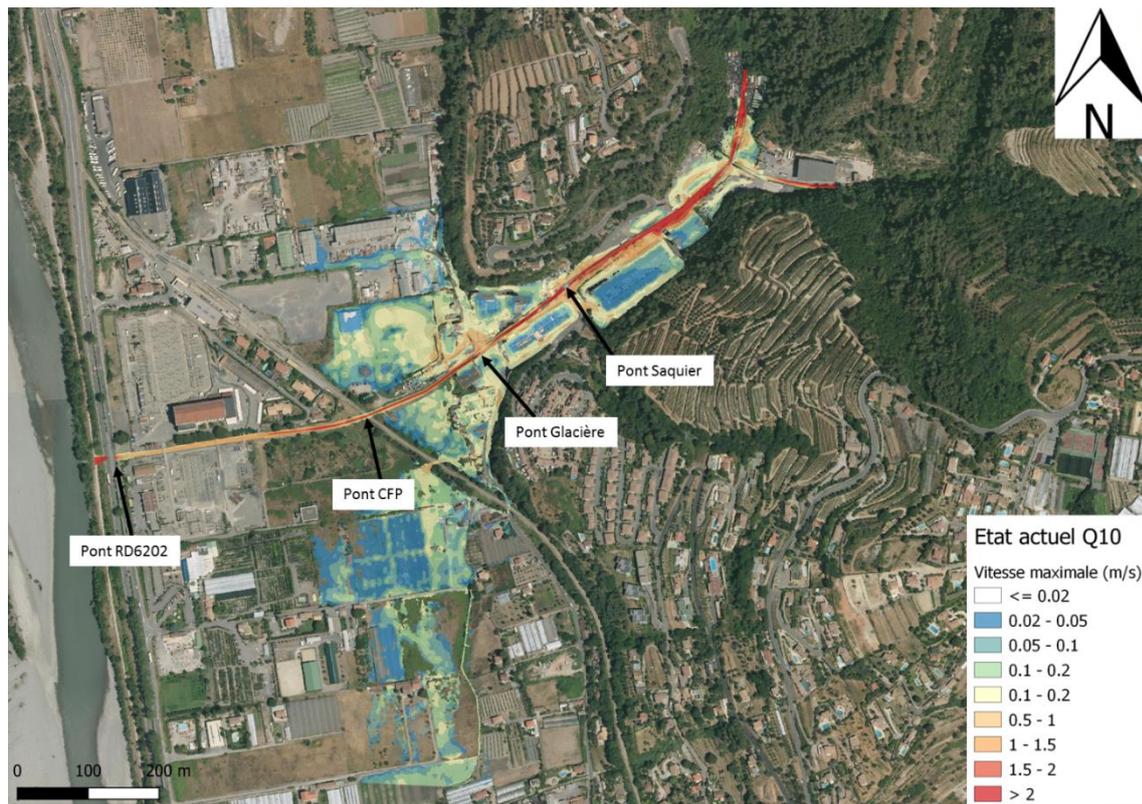


Figure 26 : Vitesse maximale pour Q10 à l'état initial

Les vitesses dans le lit mineur sont très élevées, elles atteignent 7 m/s au maximum dans le vallon en amont de la confluence avec le Collet des Etoiles, là où les pentes sont les plus élevées. Les vitesses sont aussi très élevées en lit majeur dans la partie encaissée du vallon, elles peuvent atteindre jusqu'à 1.5 m/s par endroit. Au niveau des parties canalisées du vallon, les vitesses sur le chemin qui longe ces canalisations sont également très élevées.

En lit majeur, les vitesses maximales sont de 1.5 m/s en rive droite à hauteur du pont du chemin de la Glacière.

A l'exutoire du vallon, les vitesses atteignent 4 m/s, à cause de la chute au Var qui possède une forte pente et qui accélère donc les écoulements.

Les Figure 27 et Figure 28 ci-dessous représentent les profils en long du vallon de Lingostière et du Collet des Etoiles.

ETUDE DE REDUCTION DE LA VULNERABILITE DU SECTEUR DE LINGOSTIERE POUR LA METROPOLE DE NICE

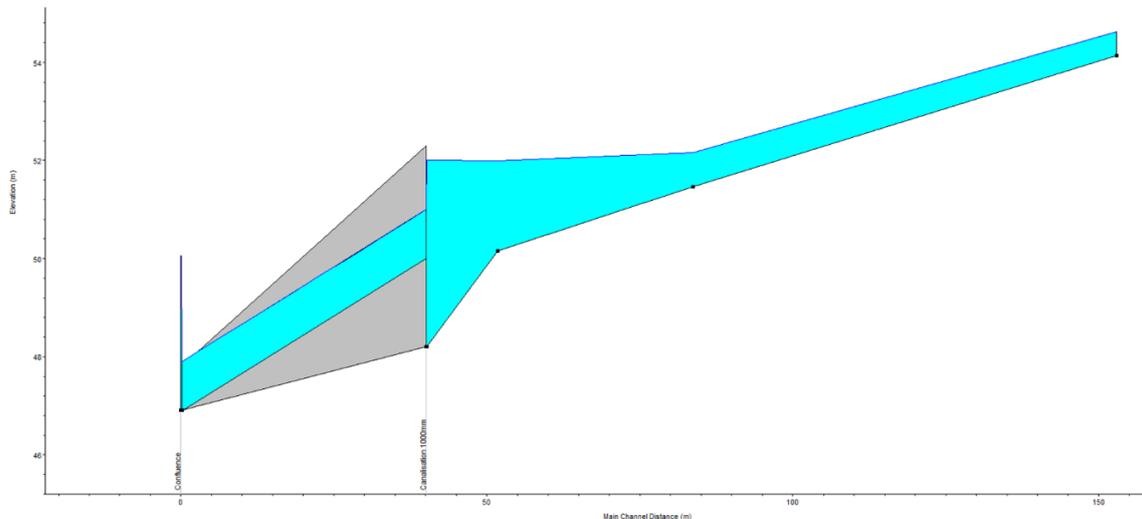


Figure 27 : Profil en long du Collet des Etoiles en amont de la confluence

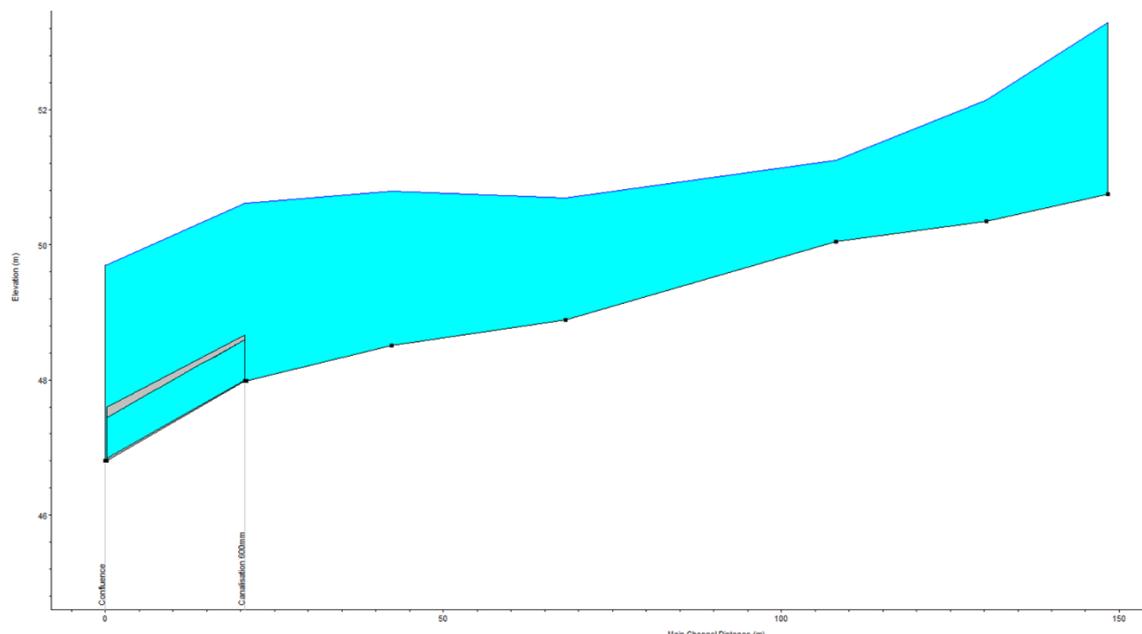


Figure 28 : Profil en long du vallon de Lingostière en amont de la confluence

Au niveau du Collet des Etoiles :

- Les eaux provenant de ce vallon n'entraînent aucun débordement (les eaux en lit majeur en aval sont dues aux débordements à la confluence) et la canalisation est correctement dimensionnée pour laisser passer une crue décennale ;
- La canalisation se met en charge et on observe que le bassin de dégrèvement en amont de la canalisation joue un rôle de maintien de la ligne d'eau sans débordement au niveau de l'entrée de la canalisation. Il faudra être prudent à ce que cette fosse ne s'engrave pas (tout comme la conduite), engrèvement qui pourrait causer des débordements au niveau du terrain Veolia par exemple.

Sur la partie amont du vallon de Lingostière :

ETUDE DE REDUCTION DE LA VULNERABILITE DU SECTEUR DE LINGOSTIERE POUR LA METROPOLE DE NICE

- Des débordements sont généralisés en amont de la conduite, où aucun lit n'est présent sur l'amont mais aussi au niveau de la conduite de 600 mm qui est sous-dimensionnée pour un évènement décennal.

La Figure 29 représente le profil en long de la partie du vallon en aval de la confluence.

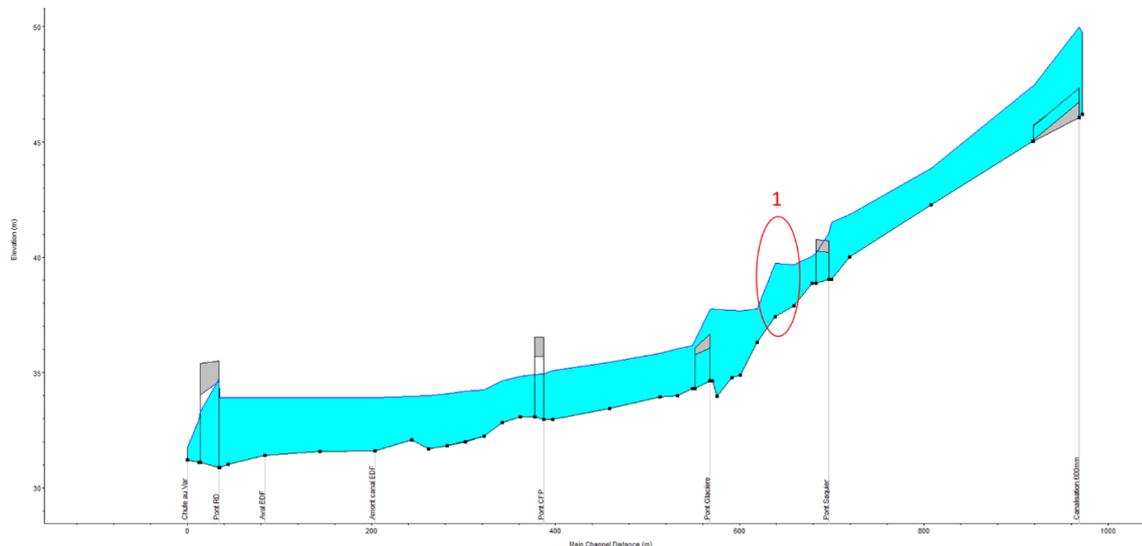


Figure 29 : Profil en long de l'aval du Vallon de Lingostière pour Q10

Il est possible de faire plusieurs remarques sur ce profil :

- Les ponts du chemin de Saquier et du chemin de la Glacière sont en charge mais pas les ponts des CFP et de la RD6202 ;
- Zone 1 : les écoulements forment un ressaut hydraulique. Il se situe à la jonction entre le cuvelage en béton et la partie naturelle du radier du lit mineur. Il s'explique par le fait d'une différence de rugosité et d'une rupture de pente. Ce ressaut entre les ponts du chemin de la Glacière et du chemin de Saquier est également observé dans l'étude de SOGREAH 2007 [10].

3.2.3 Crues vicennale et cinquantennale

Les cartes de hauteurs et de vitesses sont disponibles en Annexes 9 et 10. Plus l'occurrence est faible et plus les plaines en rives gauche et droite sont touchées, l'enveloppe de crue est davantage étendue.

3.2.4 Crue centennale

La Figure 30 donne les hauteurs d'eau des débordements et dans le lit mineur obtenues pour la modélisation d'une crue centennale.

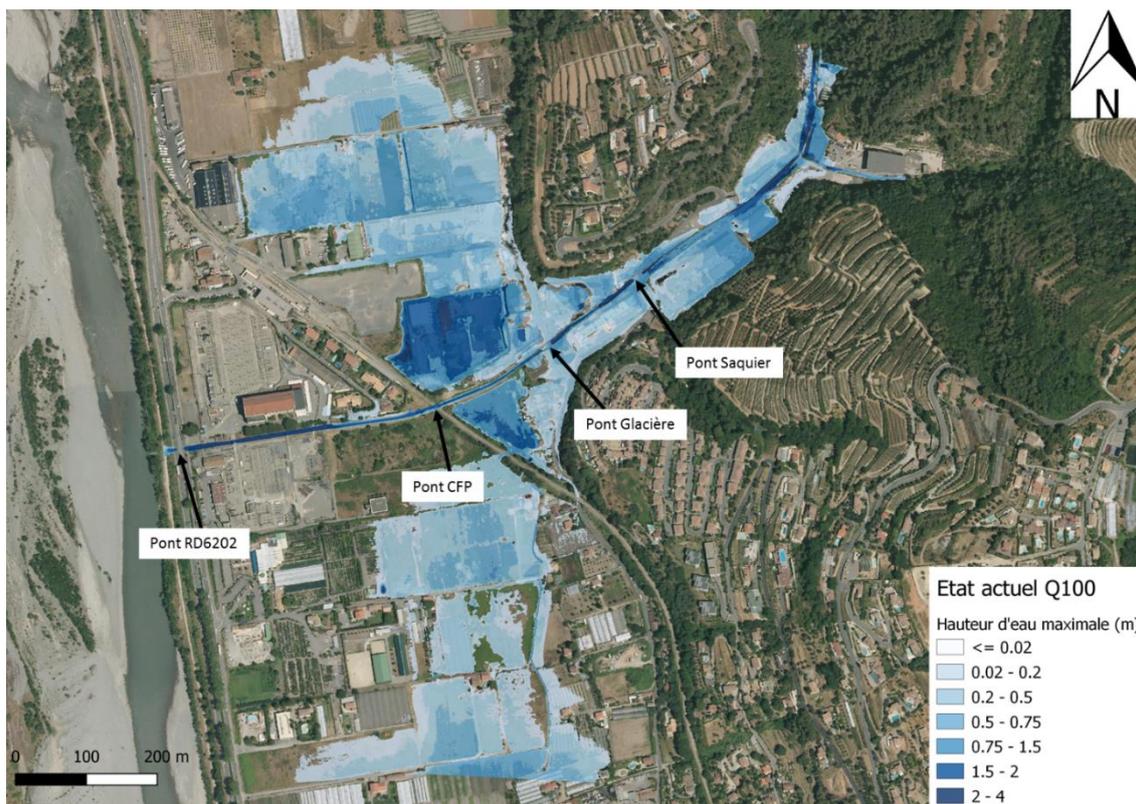


Figure 30 : Hauteur d'eau maximale pour Q100 à l'état actuel

L'emprise de la zone touchée par une inondation centennale est légèrement différente de celle obtenue dans le PPR (cf. Figure 2) puisque la zone touchée en rive droite, au niveau de la plaine, est plus importante, cette augmentation étant cohérente avec l'évolution du débit de pointe estimé pour une crue centennale. Sur la rive opposée, la zone touchée est moins importante puisque le remblai de la ligne de chemin de fer retient les écoulements. Ces différences peuvent s'expliquer par le fait qu'une modélisation 1D avec le logiciel CAPRIS a été utilisée pour construire le PPRI alors qu'ici il s'agit d'une modélisation permettant de mieux prendre en compte les écoulements au niveau des plaines. De plus, le débit de pointe d'une crue centennale pris en compte est bien plus élevé dans le cas de notre étude ($54 \text{ m}^3/\text{s}$ contre $29 \text{ m}^3/\text{s}$ dans le PPR).

De plus, la zone au niveau de la confluence avec le Collet des Etoiles n'est pas considérée comme une zone à risque dans le PPRi [1]. Cependant, au vu de l'état du vallon dans cette zone (cunette, canalisation et pont largement sous dimensionné), des débordements sont à prévoir.

Les hauteurs d'eau sont très élevées en rives gauche et droite entre le pont du chemin de la Glacière et le pont CFP : une zone d'accumulation se forme en amont du remblai du chemin de fer et retient les eaux débordant au niveau du pont de la Glacière, sous dimensionné pour laisser transiter un évènement centennial. En rive gauche, un ouvrage présent dans le remblai permet à l'eau de le traverser, provoquant l'inondation des plaines en aval du chemin de fer. A cause de la configuration en toit du cours d'eau, ces eaux sont ensuite stockées car elles ne peuvent pas retourner au cours d'eau.

Il est également possible de remarquer une accumulation d'eau au niveau de la limite sud du modèle. Cette accumulation n'est pas représentative de la réalité. Elle est dû aux limites du MNT. Les cartes de hauteurs d'eau et de vitesses devront être revu une fois les données supplémentaires obtenues.

La Figure 31 donne la répartition des vitesses obtenues pour la modélisation d'une crue centennale.

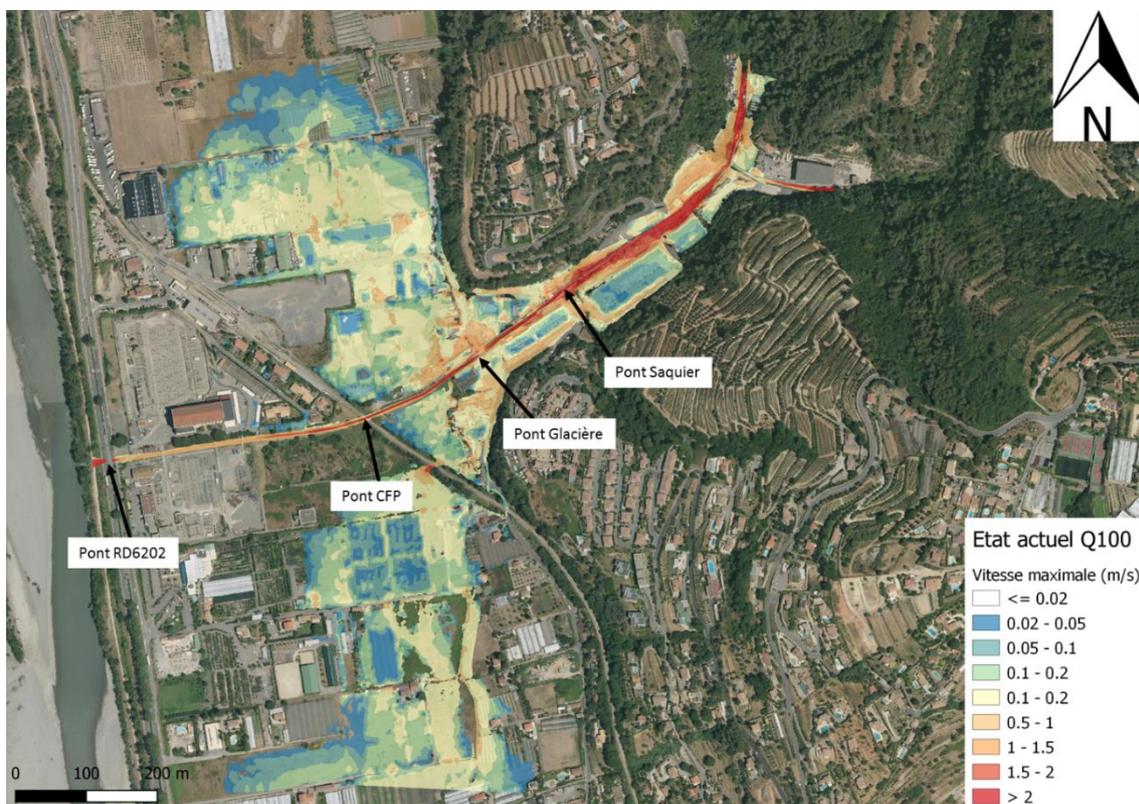


Figure 31 : Vitesse maximale pour Q100 à l'état actuel

Les vitesses dans le lit mineur sont très élevées, elles atteignent 7m/s au maximum dans le vallon en amont de la confluence avec le Collet des Etoiles, là où les pentes sont les plus élevées. Les vitesses sont aussi très élevées en lit majeur dans la partie encaissée du vallon, elles peuvent atteindre jusqu'à 3.2 m/s par endroit. Au niveau des parties canalisées du vallon, les vitesses sur le chemin qui longe ces canalisations sont également très élevées. Au niveau de la confluence avec le Collet des Etoiles, une veine d'écoulement se forme en rive droite, sur le terrain de l'ancienne casse. Cela est cohérent avec le témoignage du nouveau propriétaire qui lors d'une visite de terrain a dit avoir eu à plusieurs reprises beaucoup d'eau sur son terrain.

Au niveau de la plaine en rive droite, là où se trouvent des enjeux (entreprises de BTP...) et futurs (projet de ligne de tram, collège ...), les vitesses sont moyennes et peuvent atteindre 0.6 m/s (au niveau des zones en orange).

Les vitesses sont également élevées en lit majeur à l'exutoire du vallon, 4 m/s, à cause de la chute au Var qui possède une forte pente et qui accélère donc les écoulements.

Les profils en long du vallon de Lingostière et du Collet des Etoiles en amont de la confluence sont disponibles en Annexe 11. Comme pour la crue décennale, des débordements ont lieu du côté du vallon de Lingostière mais pas du côté du Collet des Etoiles où la canalisation est correctement dimensionnée.

Le profil en long obtenu pour la partie en aval de la confluence est le suivant :

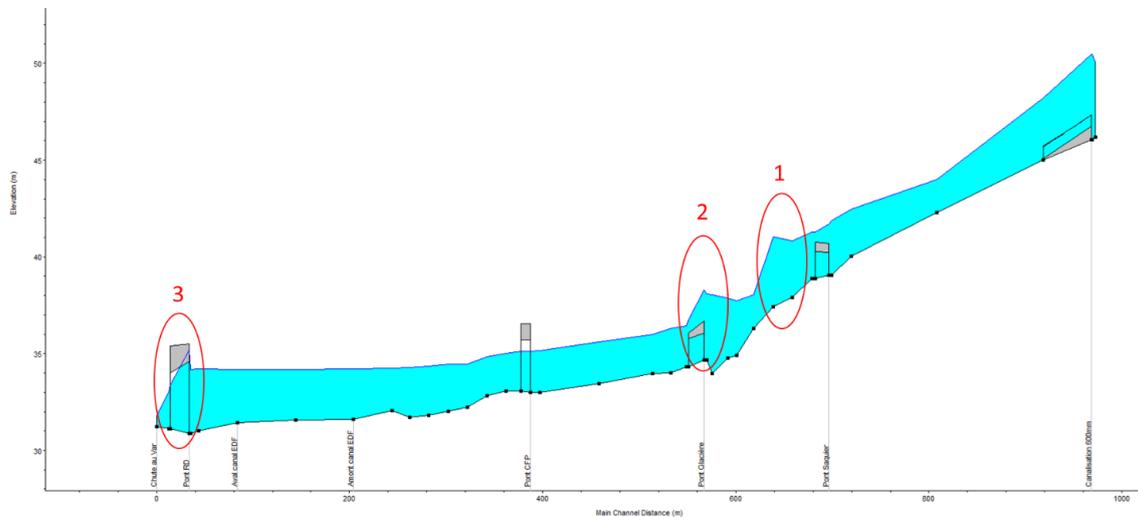


Figure 32 : Profil en long de la partie aval du vallon avec les hauteurs d'eau maximales atteintes pour une crue centennale

Il est possible de faire plusieurs remarques sur ce profil :

Les ponts du chemin de la Glacière et du chemin de Saquier sont en charge alors que le pont CFP ne l'est pas (conformément aux observations de l'étude ISL [12]), le pont de la RD 6202 est en limite de mise en charge :

- La canalisation de 600mm qui assure la continuité de la confluence vallon de Lingostière / Collet des Etoiles ne permet pas de contenir la totalité des écoulements ;
- Au niveau de la zone 1 : les écoulements forment un ressaut hydraulique comme pour la crue décennale (cf. §3.2.2) ;
- Sur la zone 2 : une augmentation soudaine du niveau d'eau due à une perte de charge importante apparaît lorsque le débit devient important. La configuration de cette zone est particulière, avec un lit incisé et un écoulement à vitesse élevée en amont du pont qui se confronte à un pont sous-dimensionné dont le radier est surélevé ;
- Sur la zone 3 : présence d'un ressaut qui augmente le niveau d'eau en amont du pont, sans le mettre en charge sur toute sa largeur.

A partir des cartes de hauteurs et de vitesses, il est possible de caractériser les aléas. Pour cela la grille d'aléa ci-dessous en vigueur dans les Alpes-Maritimes est utilisée.

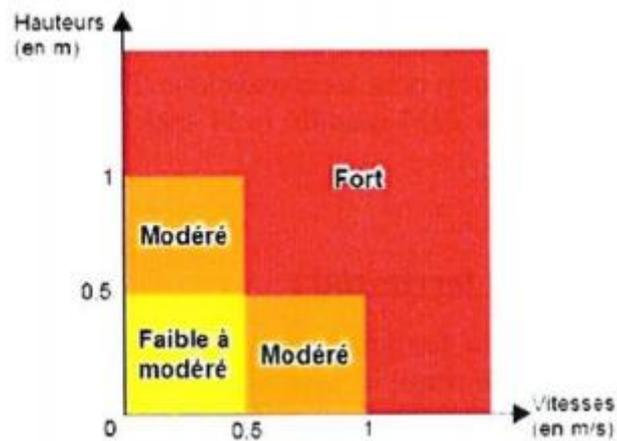


Figure 33 : Grille d'aléa en vigueur dans les Alpes Maritimes (06)

La carte de la Figure 34 représente l'aléa inondation pour une crue centennale du Vallon de Lingostière.

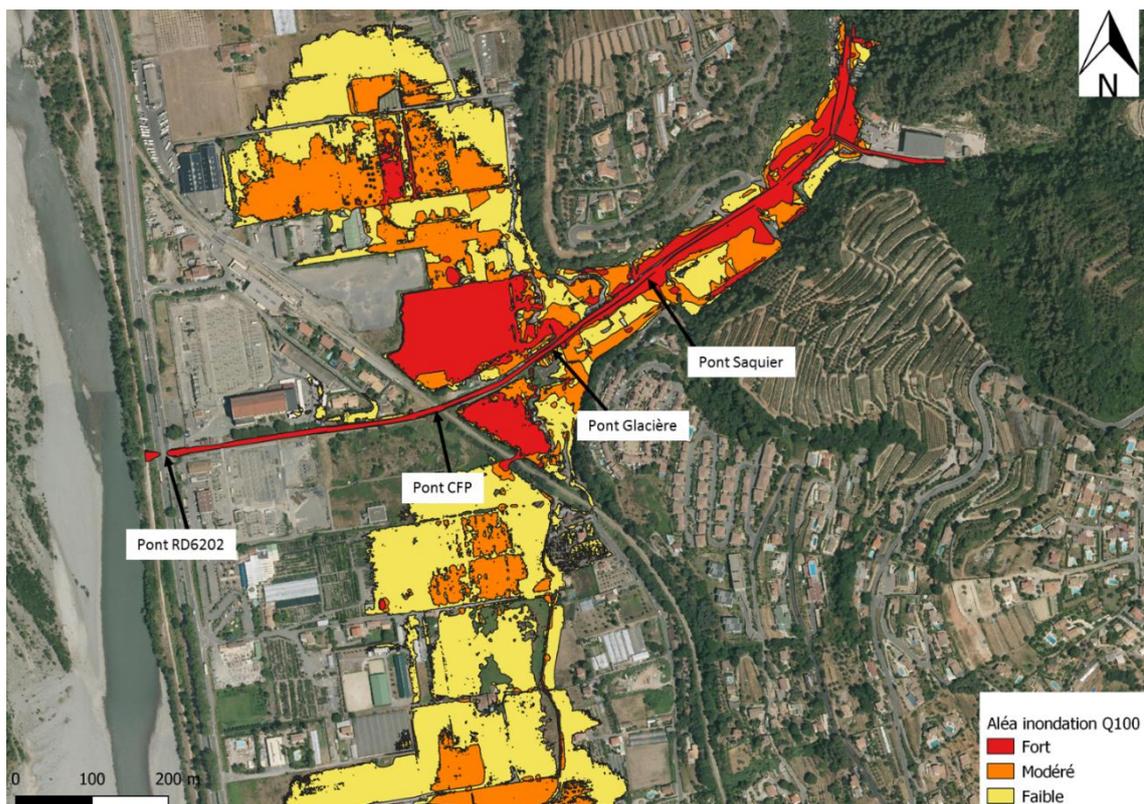


Figure 34 : Carte des aléas inondation pour une crue centennale

En amont du pont du chemin de Saquier, tout le chemin qui longe le vallon se trouve en aléa fort tout comme une partie du terrain de l'ancienne casse et les parkings des bâtiments situés en rive gauche. Entre le pont du chemin de la Glacière et le pont CFP, la rive droite et la rive gauche sont également en aléa fort à cause des hauteurs d'eau élevées.

3.2.4 Crues historiques

Les cartes de hauteurs et de vitesses des crues de novembre 2014 et octobre 2015 sont disponibles en Annexe 12 et Annexe 13.

Pour la crue d'octobre 2015, il est possible de remarquer que la crue prenant en compte l'ensemble de l'événement a un impact beaucoup plus important que l'épisode du 3 octobre seul notamment au niveau de la zone EDF. Au niveau des plaines en rive gauche et droite les enveloppes de crue sont également plus importantes et davantage de zones sont donc touchées. Les hauteurs d'eau sont également plus élevées sur l'ensemble de la zone d'étude. Ces deux évènements ne peuvent donc pas être dissociés.

3.3 Tests sur la modélisation

3.3.1 Test de l'influence du Var

Aucune information sur la hauteur du Var en crue centennale ou décennale au niveau de la chute du vallon n'est disponible.

Comme dit précédemment (§3.1.4), les niveaux courants du Var n'influencent peu voire pas le vallon. En l'absence d'informations, nous avons réalisé des tests pour voir à partir de quelle cote le Var a une influence sur les écoulements du vallon.

Le Tableau 16 ci-dessous résume les niveaux d'eau obtenus :

Tableau 16 : Niveau d'eau du Var à partir duquel la zone RTE est inondée

	Niveau du Var à partir duquel il influence les écoulements du vallon
Pluie de projet 10 ans	34.5 m NGF
Pluie de projet 100 ans	33 m NGF

Si le vallon est en crue centennale, la zone touchée en premier par une crue du Var est la zone RTE en rive droite. Cela se produit lorsque le Var atteint 33 m NGF.

Si le vallon est en crue décennale et que le Var est lui aussi en crue, il impactera le vallon à partir d'une cote de 34.5 m NGF en inondant la zone RTE en rive gauche et en rive droite.

Le Var ne provoque pas de sur-inondation sur la zone d'étude (> 15cm) pour des niveaux du Var inférieur.

Comme dit précédemment, il semble très peu probable que le vallon et le Var subissent des crues centennales concomitantes puisque leur bassin versant respectif ne sont pas du tout du même ordre

de grandeur de taille. La hauteur d'eau du Var a donc très peu de chance d'avoir un impact significatif sur le vallon.

3.3.2 Test de sensibilité des coefficients de rugosité

Les coefficients de Manning-Strickler sont choisis comme précisé dans la partie 3.2. Cependant, comme aucun calage du modèle n'a été effectué, il est préférable de faire une analyse de sensibilité des résultats en affectant plus ou moins 10 % aux coefficients de Strickler à l'exception de celui affecté aux bâtiments. Les valeurs affectées sont résumées dans le Tableau 17 ci-dessous :

Tableau 17 : Valeur des coefficients de Manning-Strickler pour l'étude de sensibilité

	Valeur initiale	-10%	+10%
Bâtiments	1	1	1
Zone urbanisée	12	10.8	13.2
Zone peu ou pas urbanisée	10	9	11
Lit mineur naturel	20	18	22
Lit mineur bétonné	60	54	66
Berges bétonnées (chemin, route...)	40	36	44

La Figure 35 et la Figure 36 ci-dessous montrent les différences de hauteur d'eau sur la zone d'étude en affectant + ou - 10 % aux coefficients de Strickler.

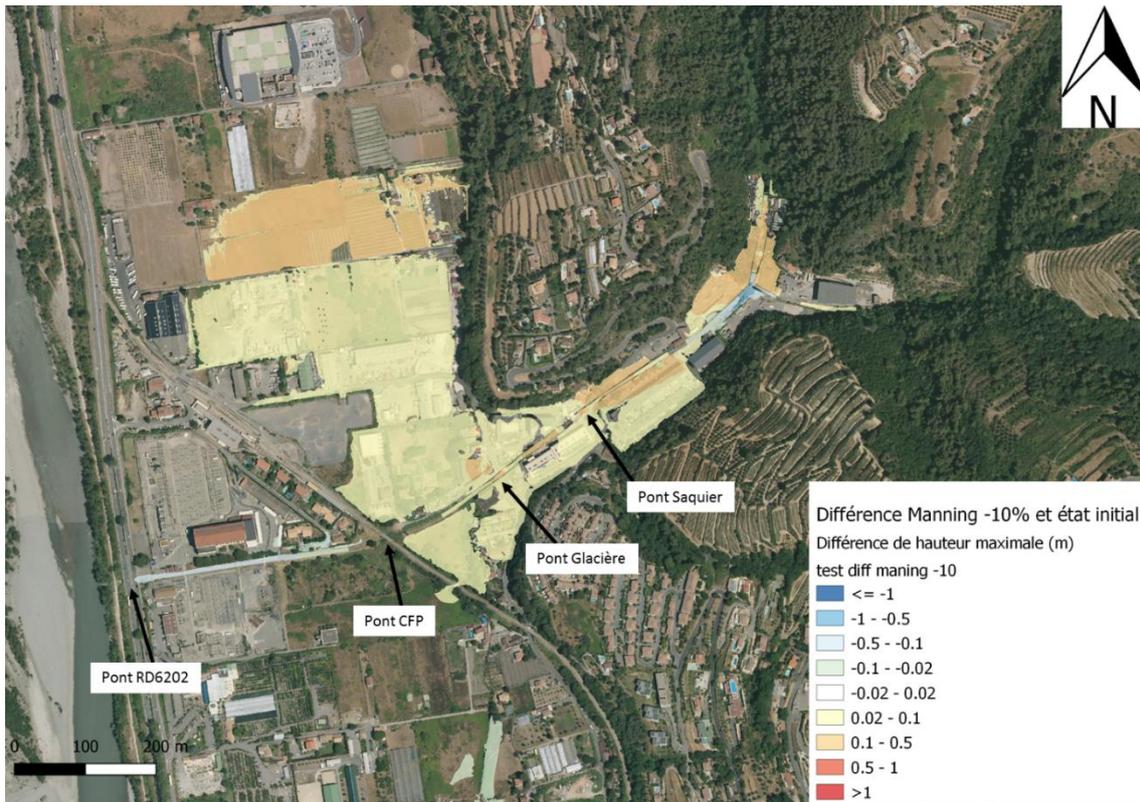


Figure 35 : Différence entre l'état initial et des valeurs de Manning de -10%

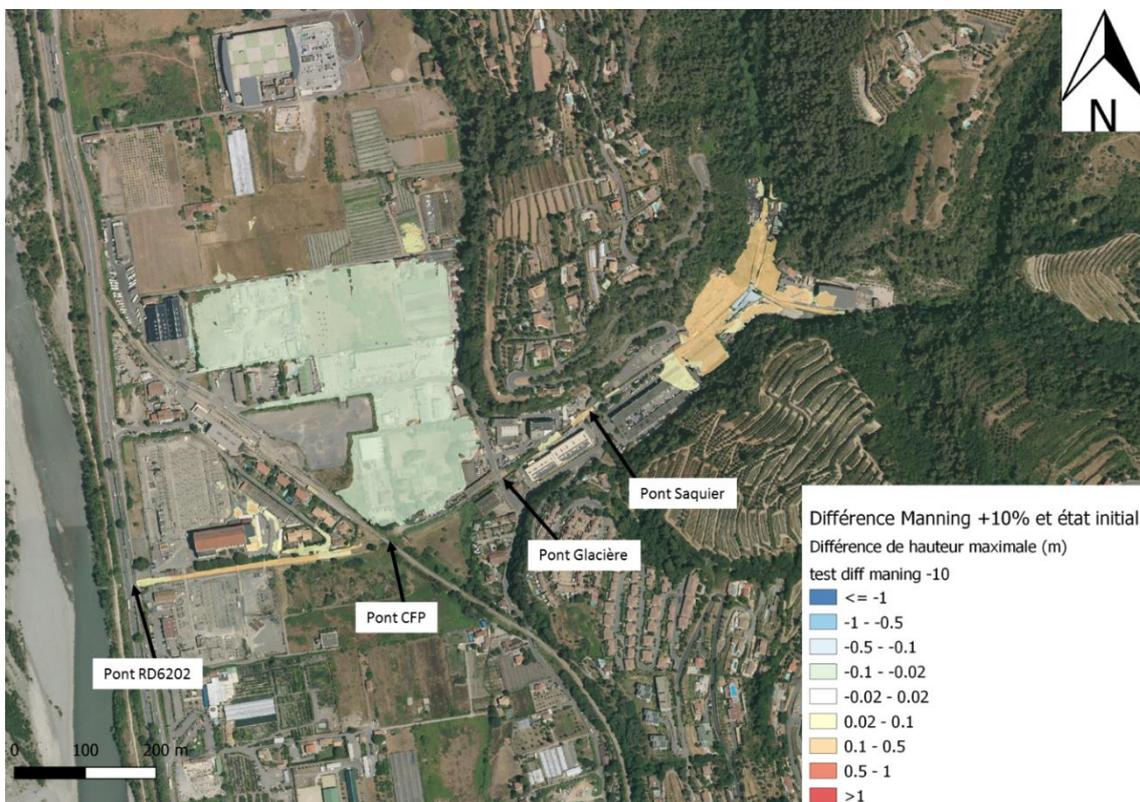


Figure 36 : Différence entre l'état initial et des valeurs de Manning de +10%

Lorsque la valeur de Manning augmente, les écoulements ont une vitesse plus importante, il y a donc un plus grand volume d'eau capable de passer dans le lit sans débordements, ce qui diminue légèrement les débordements en plaine.

Lorsque les valeurs de Manning diminuent, les écoulements ralentissent ce qui augmente les débordements en plaine.

La modification des coefficients de Strickler montre que les hauteurs d'eau obtenues par le modèle dépendent peu de ce paramètre puisque la différence moyenne est de 5cm. De plus, la dynamique des écoulements reste la même et la modification des Strickler n'engendre pas de différence importante au niveau de l'enveloppe de crue et des zones de premiers débordements.

3.4 Coût des dommages à l'état initial

Le coût des dommages a été évalué grâce à une superposition des cartes de hauteurs, des types de bâtiments (habitations, bâtiments publics ou entreprises) et les terrains agricoles. Le coût des dommages est ensuite estimé à l'aide de fonctions ArcGIS qui suivent une clé de détermination en fonction du type d'enjeux (habitats, bâtiments publics ou entreprises). Cette clé de détermination donne les coûts des dommages au mètre carré en fonction du type d'enjeux, de la hauteur d'eau au niveau du bâtiments et en fonction du type d'enjeux. L'estimation des dommages causés aux parcelles agricoles est présentée Tableau 18.

Tableau 18 : Coût des dommages agricoles par culture

Culture	Hauteur d'eau (m)	Coût des dommages (€/ha)
Légumes	0-1 m	1800
	>1 m	2100
Prairies permanentes	0-3.5 m	300
Céréales	0-1 m	420
	>1 m	720
Vergers	0-0.55 m	950
	0.55-0.7 m	1050
	0.7-0.9 m	1300
	>0.9 m	1400
Vigne	0-0.45 m	800
	>0.45 m	2000

Le

Tableau 19 récapitule les coûts des dommages en fonction de l'occurrence de l'évènement. La Figure 37 montre où se situent les enjeux touchés lors d'une crue centennale.

Tableau 19 : Coût des dommages pour différentes occurrences

	Q10	Q20	Q50	Q100
--	-----	-----	-----	------

ETUDE DE REDUCTION DE LA VULNERABILITE DU SECTEUR DE LINGOSTIERE POUR LA METROPOLE DE NICE

Habitat	132,908 €	159,468 €	198,959 €	194,543 €
Entreprises	222,773 €	289,830 €	314,562 €	324,194 €
Agricole	5,771 €	6,642 €	8,600 €	9,472 €
Etablissements publics	121,413 €	147,113 €	161,092 €	170,836 €
Total	482,865 €	603,053 €	683,213 €	699,045 €

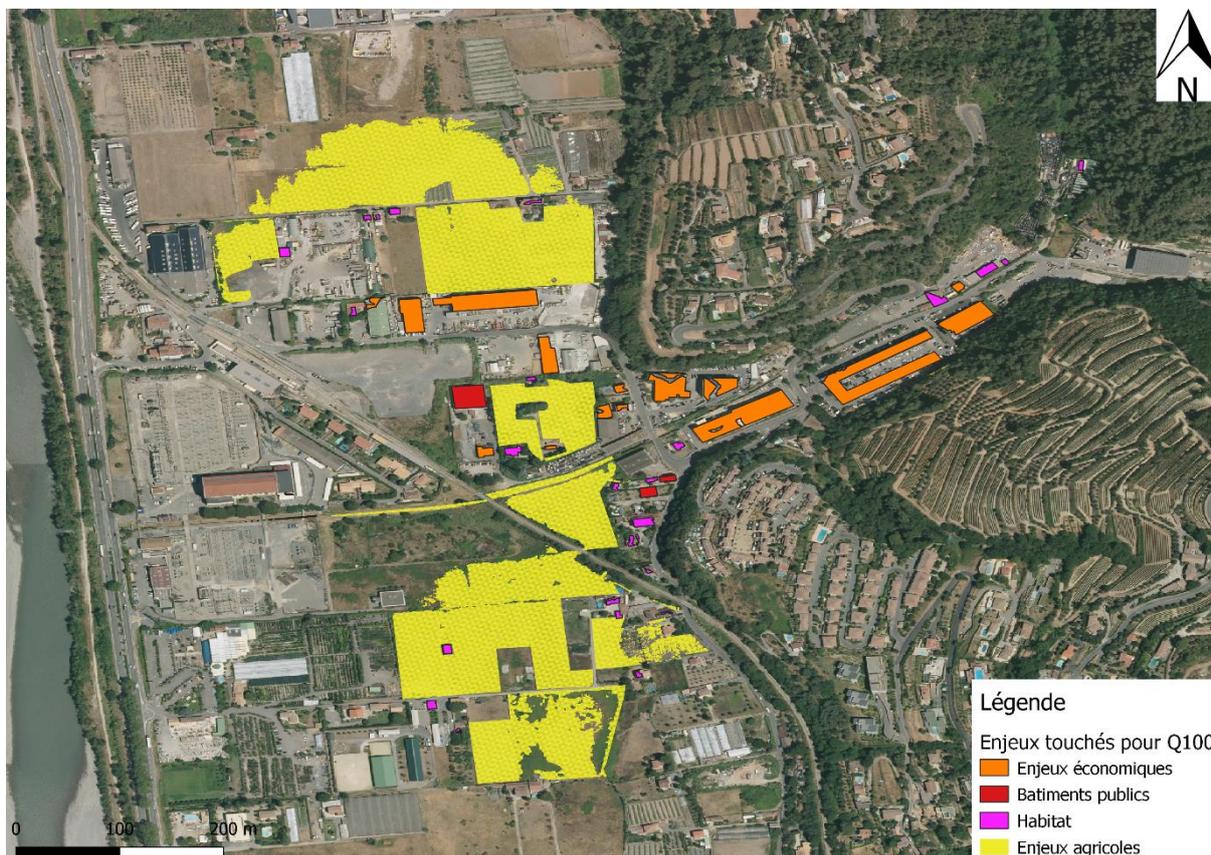


Figure 37 : Enjeux touchés pour une crue centennale

Le coût des dommages n'est pas très élevé comparé au coût des propositions d'aménagements faites lors des études précédentes (700 000 € de dégâts contre environ 1,4 millions d'euros d'aménagements [10] à 2,6 millions d'euros [11]). Cependant la Métropole de Nice Côte d'Azur souhaite que l'on se base sur une ACB pour justifier de la pertinence de réaliser les propositions d'aménagements [22]. Il faudra donc faire des choix judicieux quant aux aménagements proposés mais il sera difficile de proposer une solution permettant de contenir une crue centennale, c'est pourquoi l'objectif de protection sera plutôt de l'ordre de la crue vicennale voir trentennale. Mais quel que soit l'occurrence de dimensionnement, le montant à investir sera faible c'est pourquoi il est nécessaire de privilégier la réduction de la vulnérabilité à des aménagements lourds et coûteux.

4. AMENAGEMENT DU VALLON

L'aménagement du vallon de Lingostière dans le but de réduire la vulnérabilité du quartier de Lingostière sera l'objectif d'un des axes du PAPI 3 du Var qui est actuellement en cours de rédaction.

Ces travaux seront financés par :

- L'Etat par l'intermédiaire des fonds Barnier ;
- La région PACA (Provence-Alpes-Côte d'Azur) ;
- Le Conseil Départemental des Alpes Maritimes ;
- La Métropole Nice Côte d'Azur ;
- L'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse si le programme d'aménagement comporte un volet écologique.

Les aménagements présentés ci-dessous ne sont donc qu'une première amorce de réflexion quant à la stratégie d'aménagement à adopter. Ces aménagements devront être chiffrés afin d'être mis en relation avec le coût des dommages afin d'assurer un équilibre entre les coûts et les bénéfices (ACB) [22].

4.1 Suppression des canalisations au niveau du vallon de Lingostière et création d'un lit

Afin d'améliorer la continuité écologique du vallon, les canalisations situées sur le vallon de Lingostière pourraient être supprimées et un lit naturel pourraient être créé [18] [19]. Ces canalisations ne permettent pas de laisser passer une crue décennale sans débordement, elles n'ont donc pas d'utilité sur le plan hydraulique et un lit végétalisé permettrait à la fois de réduire le risque inondation dans cette zone et d'améliorer le potentiel écologique du vallon. Cela limitera aussi les problèmes liés au transport solide car les canalisations qui sont actuellement en place sont encombrées de sable. La canalisation du Collet des Etoiles quant à elle remplit son rôle et permet de faire transiter une crue centennale, il n'est donc pas nécessaire de la détruire, surtout que cela engendrerait des coûts non négligeables.

Dans la continuité de cet aménagement, un lit pourrait aussi être recréé au niveau du poste A, où le lit n'est pas dessiné à l'heure actuelle (cf. Figure 38). Cela permettrait de réduire les débordements sur la route et le chemin qui longe le poste A pour les crues les plus fréquentes. Au niveau de la confluence, le vallon longe une route empruntée par les camions de Véolia se rendant au centre de tri, le nouveau lit du vallon ne peut donc pas excéder une largeur de 1.5 m. La Figure 39 ci-dessous montre ce qui pourrait être une coupe type du nouveau lit.

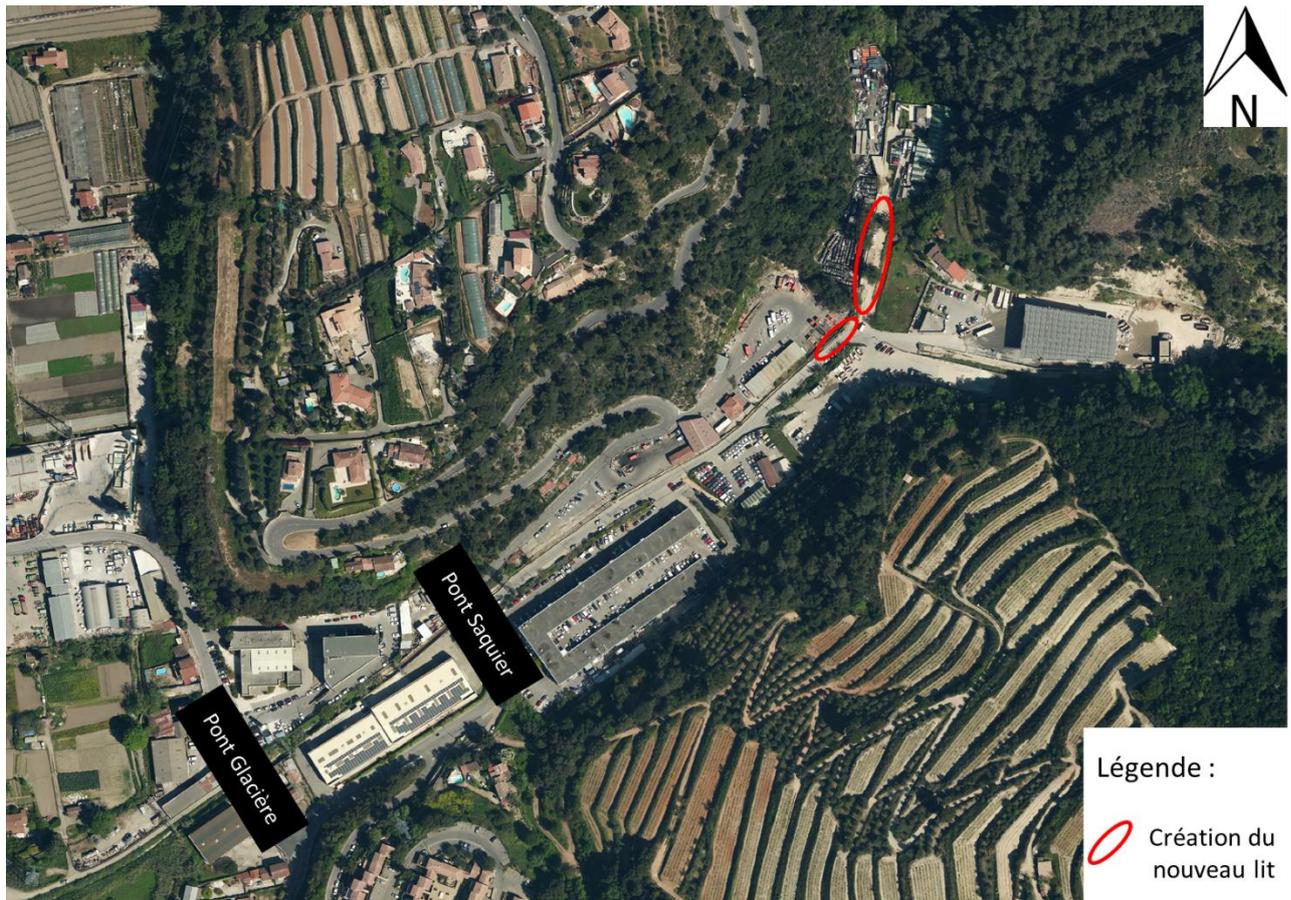


Figure 38 : Localisation de la création du nouveau lit

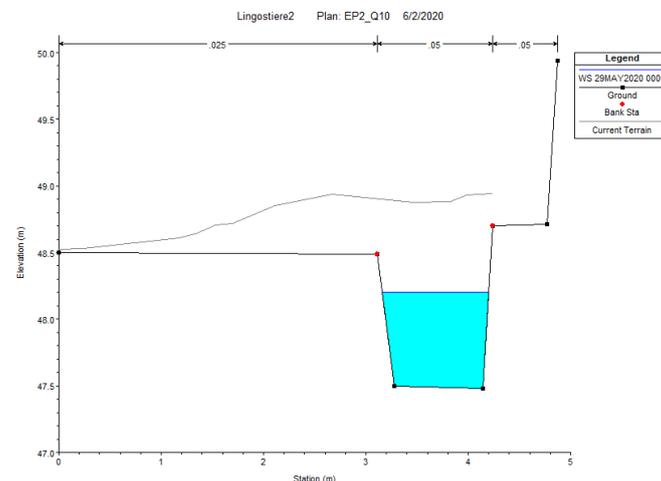


Figure 39 : Profil en travers du nouveau lit créée

Après simulation sur HEC-RAS, il s'avère que ces aménagements permettent de diminuer la hauteur d'eau jusqu'à 50 cm au niveau du centre de tri Véolia et 30 cm en rive droite en amont de la confluence pour une crue centennale (cf. Annexe 14).

4.2 Suppression de la vanne aval

La suppression de la vanne martellière à l'aval, déjà proposée par les études précédentes permet de faire baisser la ligne d'eau au niveau du pont de la RD 6202 et du canal EDF comme le montre la Figure 40.

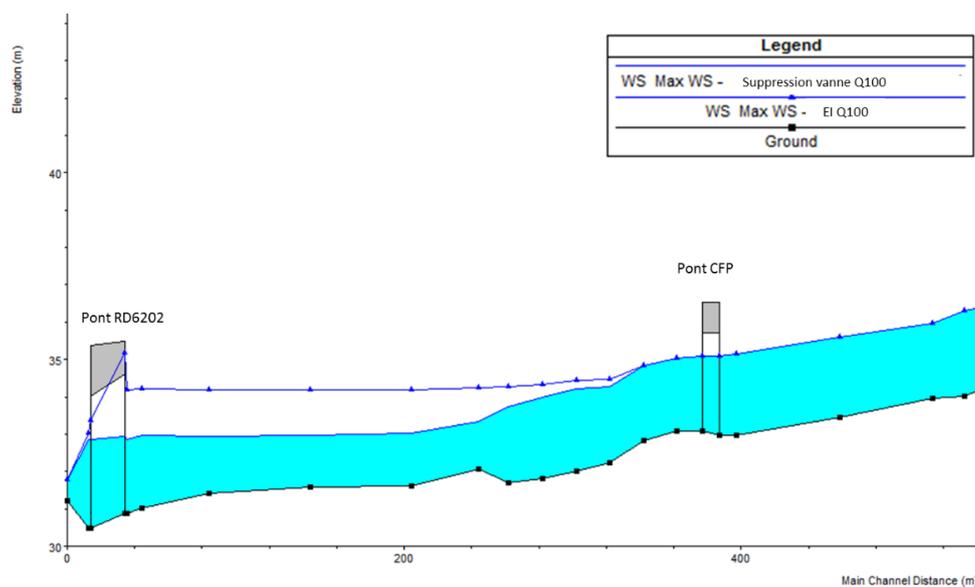


Figure 40 : Comparaison des lignes d'eau entre l'état actuel et l'état projet - Suppression de vanne pour une crue centennale

La suppression de la vanne n'a pas d'impact sur l'enveloppe de crue et sur les hauteurs d'eau en plaine pour la crue centennale puisque les débordements n'ont pas lieu au niveau du canal EDF (cf. Annexe 15). Mais sa suppression permettra de diminuer le risque d'inondation de la zone RTE en cas de crue exceptionnelle.

4.3 Aménagements pour la gestion du transport solide

Comme dit dans le paragraphe 1.3, le vallon comporte de nombreux endroits où le dépôt ou l'érosion sont des problèmes. Cela est dû aux nombreux changements brusques de pente et de section que comportent le vallon de Lingostière. En effet, lorsque la section augmente, la vitesse diminue ce qui favorise les dépôts et inversement. Idem, lorsque la pente est plus importante, la vitesse augmente ce qui favorise l'érosion. La présence d'un ressaut hydraulique entre les ponts du chemin de Saquier et de la Glacière favorise également l'augmentation de l'érosion.

La Figure 41 récapitule les portions du vallon qui sont soumises au phénomène d'érosion et/ou de dépôt. Cette sectorisation a été réalisée à partir des études géotechniques réalisées précédemment et des formules du paramètre de Shields [24] [25]. Les détails des calculs, et notamment des pentes à l'équilibre de chaque tronçon homogène sont disponibles en Annexe 16.

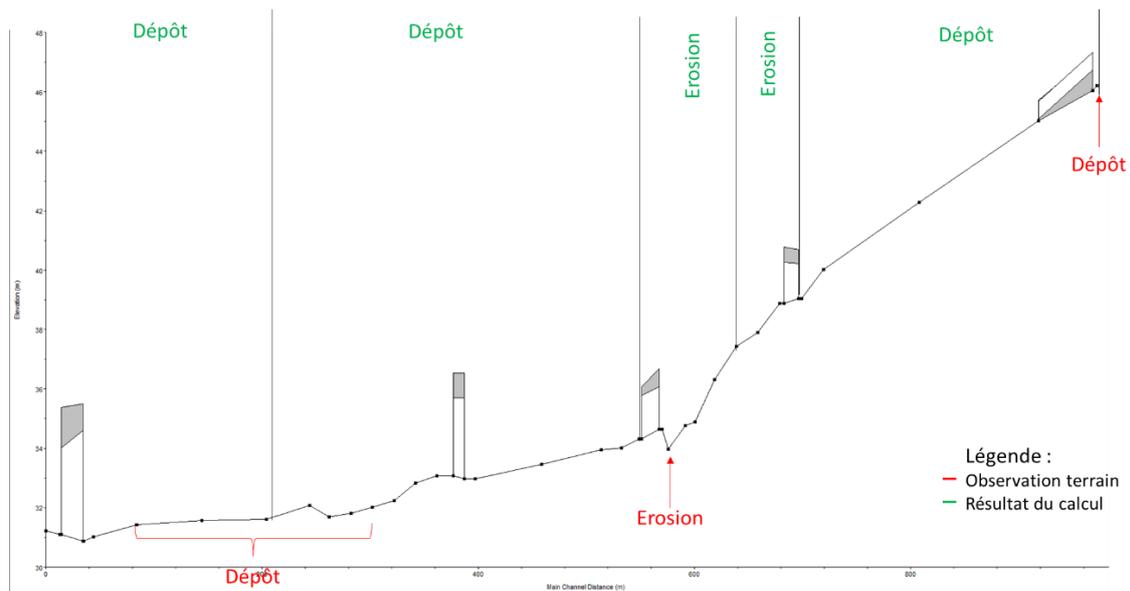


Figure 41 : Zone de dépôt/érosion dans le vallon

Le retour à une pente d'équilibre dans le vallon permettrait de réduire drastiquement ces problèmes de dépôt et d'érosion. Cependant, comme de nombreuses parties du vallon sont canalisées, il est impossible de changer la pente de ces portions sans les détruire (pour le canal EDF) ou alors trop coûteuses dans les autres cas.

Il est également possible de réaliser un bassin de dégrèvement comme le préconise le SAGE, afin de limiter le débit solide qui transite dans l'aval du vallon. La première étude d'ISL [11] préconise de mettre ce bassin en place au niveau de la confluence entre le vallon et le Collet des Etoiles (cf. Figure 42).

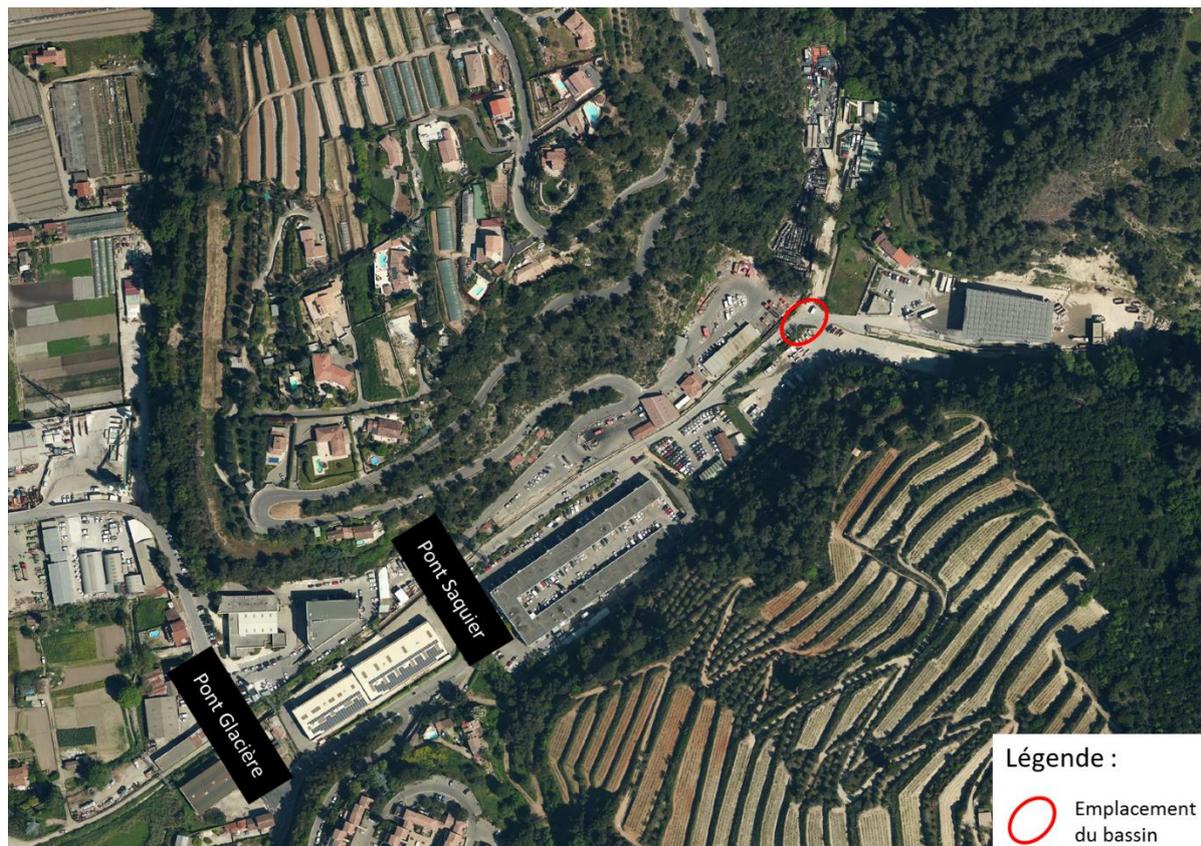


Figure 42 : Emplacement du bassin de dégrèvement

Compte tenu de la présence de voirie public et de propriétés privés à cet endroit, le bassin doit être enterré. Le sable et les graviers présent en aval du vallon se retrouveraient ainsi piégés dans le bassin qui consiste en un élargissement artificiel afin de diminuer la vitesse d'écoulement pour favoriser les dépôts. La mise en place d'un tel type de bassin serait en adéquation avec la configuration actuelle du vallon (canalisation en amont et en aval de la confluence) mais pas avec les objectifs écologiques. De plus ce bassin possède un coût élevé (60 000 € [10]) et nécessite un curage régulier afin qu'il soit toujours efficace. Des coûts de maintenance sont donc à prévoir. De plus, la route sous laquelle pourrait se trouver le bassin est empruntée par de nombreux poids lourds se rendant au centre de tri Véolia. Cette route ne pourra donc pas être coupé lors de la phase travaux.

4.4 Recalibrage du vallon

Pour limiter les débordements en plaine, il peut être intéressant de recalibrer le cours d'eau au niveau des poste D et E tout en redimensionnant le pont du chemin de Saquier et de la Glacière afin qu'ils puissent laisser s'écouler une crue décennale au minimum sans débordements. Ce recalibrage du vallon peut se faire sans utiliser de béton de propreté mais plutôt en laissant le fond du lit et les berges naturelles comme dans l'étude de SOGREAH [10].

ETUDE DE REDUCTION DE LA VULNERABILITE DU SECTEUR DE LINGOSTIERE POUR LA METROPOLE DE NICE

Les dimensions du recalibrage proposé par ISL (cf. 1.4) ont été testées sur le logiciel HEC-RAS sur une crue centennale et décennale afin de voir leurs effets. Quatre aménagements différents ont donc été testés séparément :

- Le redimensionnement du pont du chemin de Saquier et la création de la zone d'entonnement. Cette zone est composée d'un cadre béton ouvert muni d'un seuil déversant en rive gauche permettant de reconduire les eaux de ruissellement et de les restituer au vallon ;
- Le recalibrage du poste D ;
- Le redimensionnement du pont Glacière ;
- Le recalibrage du poste E.

La Figure 43 précise la localisation de ces aménagements.

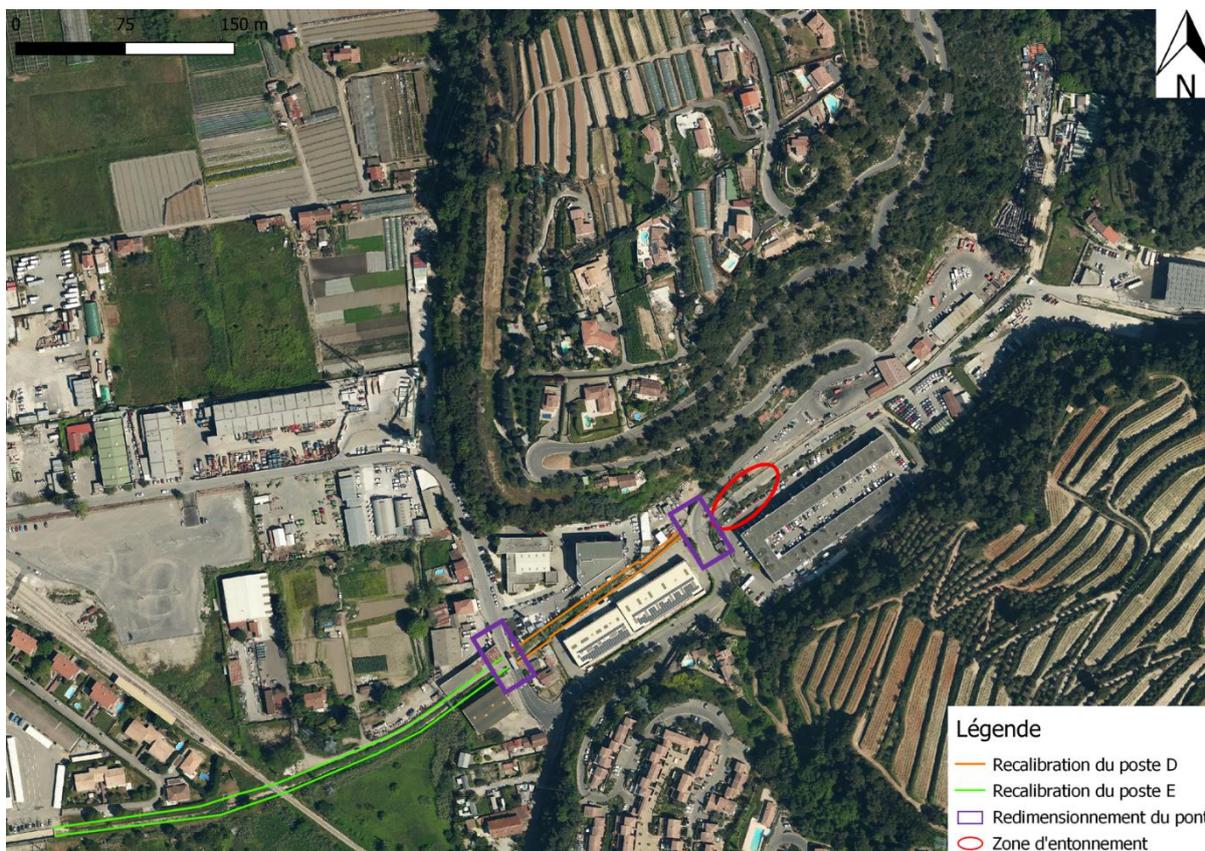


Figure 43 : Localisation des aménagements d'ISL

Les cartes de différence de hauteur d'eau entre les états projet et l'état initial pour une crue centennale sont disponibles en Annexe 17.

La création de la zone d'entonnement et le redimensionnement du pont du chemin de Saquier sont liés et ne peuvent pas être modélisés séparément. La modélisation du fonctionnement hydraulique de la zone d'entonnement a été réalisée par DHI, les données de cette étude ont donc été réutilisées afin de modéliser le plus fidèlement possible cette zone [25].

Avec ces aménagements, lors d'une crue centennale, une diminution de la hauteur d'eau au niveau du pont du chemin de Saquier et une augmentation en amont sont observées, ce qui correspond à

l'objectif de la zone d'entonnement. Il y a également une légère diminution au niveau de la confluence, en aval du pont du chemin de Saquier, en plaine en rives droite et gauche. Lors d'une crue décennale, la zone d'entonnement ne parvient pas à contenir une décennale et quelques débordements sont quand même observés au niveau de la zone mais il y a tout de même une diminution globale des hauteurs d'eau en aval de la zone d'entonnement.

Si le poste D est recalibré, il y a une diminution des débordements au niveau du poste D mais une augmentation au niveau de la confluence. Une très légère augmentation est également observée (3 cm environ) en plaine en rive droite et une diminution d'environ 3 cm en plaine en rive gauche.

En redimensionnant le pont du chemin de la Glacière, il y a une diminution légère de la hauteur d'eau en rive droite à l'aval du pont de la Glacière, une diminution en plaine rive droite et une augmentation en plaine en rive gauche. Pour une crue décennale, le pont est en charge mais n'occasionne pas de débordement alors que pour une crue centennale le pont provoque des débordements.

Si le poste E est recalibré, une augmentation de la hauteur d'eau en rive gauche est observée, au niveau de la plaine et une diminution en rive droite (débordement maximum de 1.9 m contre 2.1 m sans aménagement). Ce comportement a été souhaité par ISL car il y a plus d'enjeux au niveau de la rive droite que sur la rive gauche.

Un ressaut est présent entre le pont du chemin de la Glacière et le pont CFP, cela est conforme aux analyses faites dans le rapport d'ISL [12].

Bien que les aménagements d'ISL ont été conçus pour contenir une crue centennale de 29 m³/s alors que la crue centennale estimée lors de cette étude est de 56 m³/s, il n'en reste pas moins que ces aménagements permettent tout de même de réduire la vulnérabilité du secteur. Cependant, le coût de ces aménagements reste très important (environ 1,4 millions d'euros), notamment le redimensionnement des ponts du chemin de Saquier et de la Glacière qui nécessite une rehausse de la route qui les traverse. Ces travaux ne permettent donc sûrement pas un équilibre entre coûts et bénéfices.

4.5 Synthèse

Le Tableau 20 ci-dessous récapitule les impacts sur l'hydraulique, l'écologie, le transport solide des différents aménagements. Il prend également en compte l'emprise foncière des différents aménagements, leurs cout et l'impact sur les voiries (voiries ouvertes ou fermés)

Tableau 20 : Synthèse des aménagements

	Hydraulique	Ecologie	Transport solide	Emprise foncière	Coût	Maintiens des voiries ouvertes
Suppression des canalisation et création d'un nouveau lit				Diminution de la largeur de la route		

ETUDE DE REDUCTION DE LA VULNERABILITE DU SECTEUR DE LINGOSTIERE POUR LA METROPOLE DE NICE

Suppression de la vanne aval						
Bassin de dégrèvement				Doit-être souterrain		Fermé pendant les travaux
Zone d'entonnement et redimensionnement pont Saquier					Réhausse de la route nécessaire	Fermé pendant une crue
Recalibrage du poste D						
Redimensionnement du pont Glacière					Réhausse de la route nécessaire	Fermé pendant les travaux
Recalibrage du poste E						

	Impact positif
	Impact négatif
	Pas d'impact
	Impact moyen

CONCLUSION

Le secteur de Lingostière est exposé au risque inondation par débordement du vallon de Lingostière, cartographié par le PPR de la basse vallée du Var. La Métropole de Nice Côte d'Azur souhaite donc réaliser une étude afin de réduire la vulnérabilité du secteur. Cette action entre dans le cadre du PAPI 2 du Var. Les éventuels travaux qui suivront entreront dans le cadre du PAPI 3 du Var.

Trois propositions d'aménagements de ce vallon ayant pour objectif de faire transiter une crue centennale sans débordement ont été déterminées dans les années 2010 dont deux qui ont fait l'objet d'une demande d'autorisation. Mais ces propositions n'ont pas pu être concrétisées pour des raisons économiques dans le premier cas, bien que le dossier loi sur l'eau ait été accepté par les services de l'Etat, et pour des raisons écologiques dans le second cas car la proposition en question consistait en une artificialisation quasi-totale du fond du lit du vallon.

L'étude hydrologique du bassin versant, réalisée entre autres à l'aide d'un modèle HEC-HMS, a montré que le débit centennal à l'exutoire était de l'ordre de 56 m³/s alors que celui utilisé pour les études précédentes était de 29 m³/s. Cette différence s'explique par le fait que les pluies prises en compte ne sont pas les mêmes. En effet, l'étude précédente date de 1999 et la région de Nice a connu plusieurs événements intenses d'occurrence faible qui ont pu impacter les statistiques sur lesquelles se base la construction des pluies.

En injectant l'hydrogramme de crue dans un modèle HEC-RAS 1D-2D modélisant l'aval du vallon, les premiers débordements sont constatés à partir de 2.1 m³/s. De plus, avec l'absence de lit sur 100 m en amont de la confluence, la canalisation située en aval ne peut donc pas capter toute l'eau bien qu'elle ne soit pas en charge, une partie de l'eau s'écoule donc sur la route. La cunette présente au niveau du poste C est aussi largement sous dimensionnée, l'eau s'écoule donc là aussi en partie sur la route. L'autre problème majeur est que les ponts du chemin de Saquier et de la Glacière sont sous dimensionnés car ils sont en charge à partir de 6.4 et 7 m³/s respectivement et ne peuvent faire transiter que 10.25 m³/s sans débordement. Tout cela provoque donc des débordements importants en plaine, en rive gauche et droite au niveau du poste E. Ces débordements en plaine sont cohérents avec le PPR de la basse vallée du Var mais ce dernier n'a pas pris en compte le risque important de débordement au niveau de la confluence et a été établi à partir d'un débit inférieur.

Les coûts des dommages occasionnés par les crues de différentes occurrences ont ensuite été chiffrés. Ils sont bien inférieurs aux coûts des projets qui ont été proposés par les études antérieures (700 000 € de dommages pour la crue centennale contre 1,4 millions de travaux). Cependant, l'objectif ici n'est plus de faire transiter une crue centennale sans débordement mais plutôt de réduire la vulnérabilité du secteur en se basant sur une ACB qui permet de justifier la pertinence technico-économique des aménagements proposés.

En ce qui concerne les aménagements qu'il serait possible de réaliser afin de réduire la vulnérabilité du secteur, il peut être intéressant de supprimer la vanne martellière à l'aval du pont de la RD6202 qui n'a plus aucune utilité et qui ne fait qu'augmenter la ligne d'eau au niveau du canal EDF et du pont de la RD. Pour les problèmes de transport solide constatés à l'aval du vallon, il est intéressant de mettre en place un bassin de dégrèvement au niveau de confluence entre le collet des Etoiles et le vallon comme préconisé dans le SAGE de la nappe et basse vallée du Var. Le coût de ces aménagements devra

être estimé afin de le mettre en parallèle avec le coût des dommages pour assurer un équilibre entre coûts et bénéfices.

BIBLIOGRAPHIE

[1] DIRECTION DEPARTEMENTALE DES TERRITOIRES ET DE LA MER DES ALPES-MARITIMES. **Plan de prévention des risques d'inondation de la basse vallée du Var**, rapport de présentation part 5 : Etude hydraulique, avril 2011, 94 pages.

[2] DIRECTION DEPARTEMENTALE DES TERRITOIRES ET DE LA MER DES ALPES-MARITIMES. **Plan d'action et de prévention contre les inondations de la basse vallée du var 2**, août 2016.

CENTRE EUROPEEN DE PREVENTION DU RISQUE D'INONDATION (CEPRI). **Les ouvrages de protection contre les inondations**, 2016, 100 pages.

[4] COMISSION LOCALE DE L'EAU VAR. **Sage Nappe et basse vallée du Var – Règlement**, DEPARTEMENT DES ALPES MARITIMES, août 2016, 26 pages.

[5] DREAL PACA- SERVICE PREVENTION DES RISQUES. Territoire à risque important d'inondation (TRI) Nice-Cannes-Mandelieu : cartographie des surfaces inondables et des risques, décembre 2013, 50 pages.

[6] INVENTAIRE NATIONAL DU PATRIMOINE NATUREL. **ZNIEFF 06100133 – Vallon de Lingostière Var** [consulté le 05/06/2020] < <https://inpn.mnhn.fr/zone/znieff/930020440> >

[7] INVENTAIRE NATIONAL DU PATRIMOINE NATUREL. ZNIEFF 930020162 – **Le Var** [consulté le 05/06/2020] < <https://inpn.mnhn.fr/zone/znieff/930020162> >

[8] CENTRE DE RESSOURCE NATURA 2000. **Basse vallée du Var** [consulté le 05/06/2020] < <https://www.natura2000.fr/node/65573> >

[9] DIRECTION DEPARTEMENTALE DES TERRITOIRES ET DE LA MER DES ALPES-MARITIMES – SERVICE EAU, AGRICULTURE, FORET ET ESPACES NATURELS. **Projet d'arrêté préfectoral portant création de la zone de protection de biotope des « Vallons obscurs en rive gauche de la basse vallée du Var**, 18 pages.

[10] SOGREAH CONSULTANTS. **Protection des espaces en arrière des digues du Vallon de Lingostière – Ville de Nice**, août 2007, 30 pages.

[11] ISL INGENIERIE. **Vallon de Lingostière projet d'aménagements hydrauliques (Révision n°A)**, juin 2010, 95 pages.

[12] ISL INGENIERIE. **Vallon de Lingostière projet d'aménagements hydrauliques (Révision n°B)**, juin 2012, 95 pages.

[13] SOGREAH. **Fleuve Var étude globale du bassin versant : Définition d'orientation en vue d'une gestion équilibrée**, Volet hydrologie, Tome 2.02, janvier 1999, 85 pages.

[14] COYNE ET BELLIER. **Projet d'aménagement du Vallon de Lingostière**, août 200, 28 pages.

[15] SEGC FONCIER. **Vallon de Lingostière : Aménagements hydrauliques – Dossier de demande d'autorisation au titre de l'article L.214-3 du code de l'environnement**, mai 2009, 106 pages.

[16] CONSEIL GENERAL DU VAR. **Risque inondation : un référentiel hydrologique pour le bassin versant**, [consulté le 05/06/2020] <<https://www.var.fr/documents/20142/110788/Un+r%C3%A9f%C3%A9rentiel+Hydrologique+pour+l e+bassin+versant.pdf/48ef1c2d-0478-308b-7fe5-7454cf9883c9>>

[17] US ARMY CORPS OF ENGINEERS. **Hydrologic Modeling System HEC-HMS – Technical reference Manual**, mars 2000, 148 pages.

[18] ERG GEOTECHNIQUE. **Aménagement du Vallon Lingostière – Rapport d'étude géotechnique préliminaire du site**, mars 2010, 44 pages.

[19] GINGER CEBTP. **Vallon Lingostière – Etude géotechnique de conception**, octobre 2014, 61 pages.

[20] Y. AUBERT, P. ARNAUD, P. RIBSTEIM, J.A. FINE. **La méthode SHYREG, débit-application sur 1605 bassins versants en France métropolitaine**, Hydrological Sciences Journal, Taylor & Francis, 2014, 59 (5), p. 993 – p. 1005.

[21] US ARMY CORPS OF ENGINEERS. **HEC-RAS River Analysis System – Hydraulic Reference Manual, Version 5.0**, Février 2016, 547 pages.

[22] CENTRE EUROPEEN DE PREVENTION DU RISQUE D'INONDATION (CEPRI). **L'ACB (analyse coût/bénéfice) une aide à la décision au service des maitres d'ouvrage et de leurs partenaires**, novembre 2011, 44 pages.

[23] ASTEE. **La réhabilitation des petites rivières urbaines : retours d'expériences sur des projets multi-bénéfices**, février 2020, 94 pages.

[24] ASTEE. **Ingénierie écologique appliquée aux milieux aquatiques. Pourquoi ? Comment ?** décembre 2013, 357 pages.

[25] DHI. **Etude hydraulique du vallon de Lingostière poste 1 - rapport de modélisation hydraulique**, Décembre 2011, 44 pages.

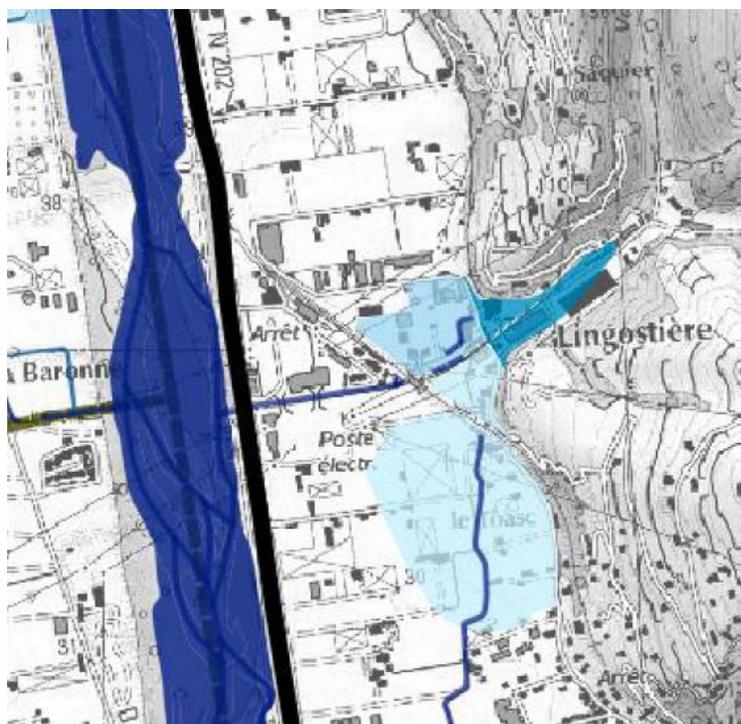
ANNEXES

TABLE DES MATIERES DES ANNEXES

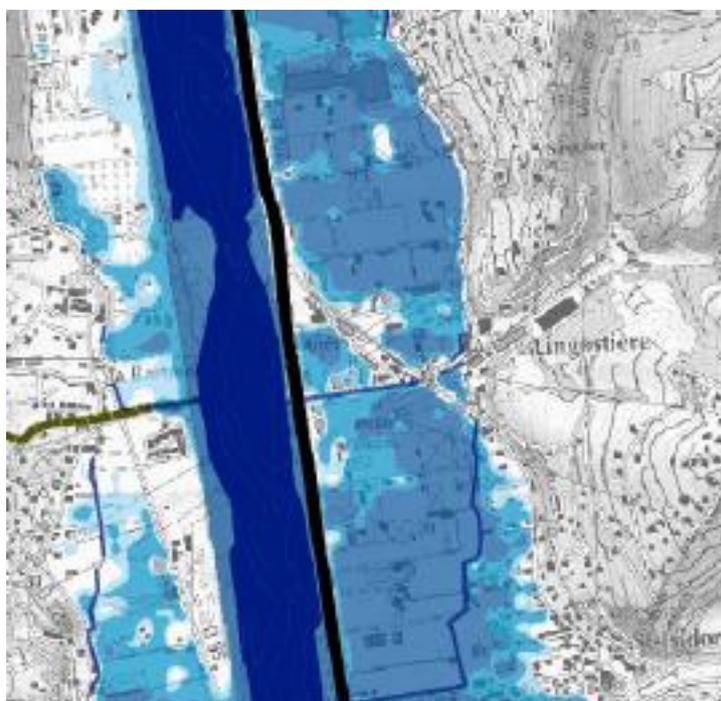
Annexe 1 : Carte du Territoire à Risque d’Inondation (TRI).....	71
Annexe 2 : Zonage et résumé de la réglementation du PPRI.....	72
Annexe 3 : Formules de calcul du temps de concentration	74
Annexe 4 : Hydrogrammes de crues des pluies historiques	76
Annexe 5 : Carte des valeurs de CN prises en compte.....	78
Annexe 6 : Source des profils en travers utilisés	79
Annexe 7 : Vérification de la cohérence du LIDAR	80
Annexe 8 : Représentation des différents ouvrages sur HEC-RAS	82
Annexe 9 : Cartes des hauteurs et des vitesses en crue vicennale	85
Annexe 10 : Carte des hauteurs et des vitesses en crue cinquantennale	86
Annexe 11 : Profil en long de l’amont de la confluence pour Q100.....	87
Annexe 12 : Carte des hauteurs d’eau de la crue d’octobre 2015	88
Annexe 13 : Carte des hauteurs et des vitesses de la crue de novembre 2014.....	89
Annexe 14 : Différence de hauteur d’eau entre l’état actuel et l’état projet - Suppression des deux canalisations pour une crue décennale.....	91
Annexe 15 : Différence de hauteur d’eau entre l’état actuel et l’état projet - Suppression de la vanne martellière.....	92
Annexe 16 : Note de calcul du transport solide	93
Annexe 17 : Différence de hauteur d’eau entre l’état actuel et les projets d’ISL.....	94

Annexe 1 : Carte du Territoire à Risque d'Inondation (TRI)

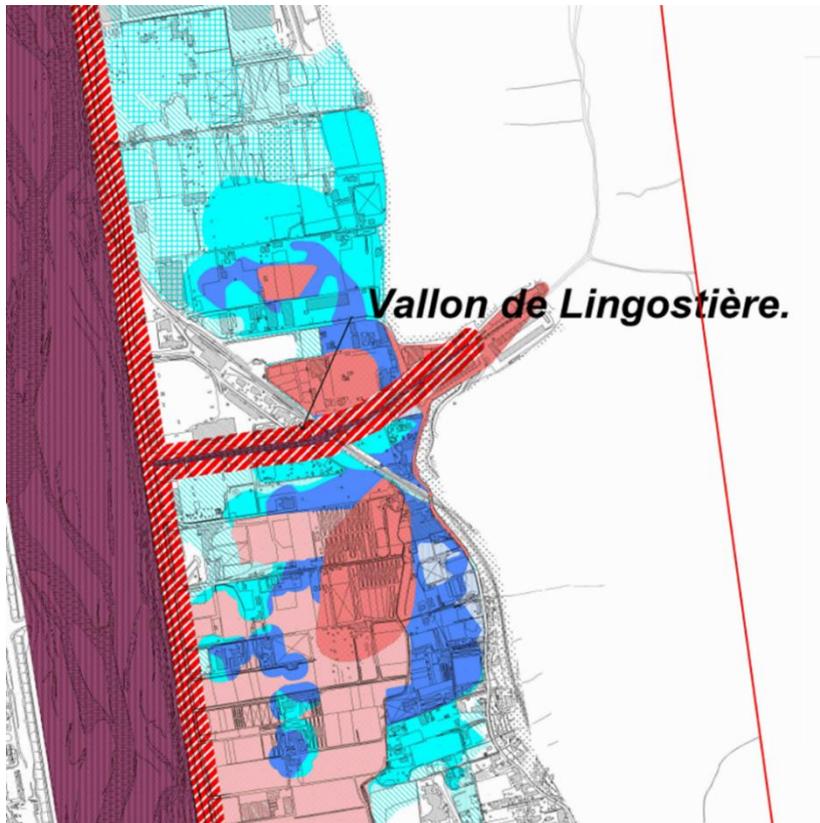
- Carte du TRI aléa moyen



- Carte du TRI aléa exceptionnel



Annexe 2 : Zonage et résumé de la réglementation du PPRI



ZONES BLEUES			
	Urbanisation de la zone	Niveau de l'aléa de base	Niveau de l'aléa exceptionnel
B1	Urbanisée	Faible	Nul à modéré
B2	Urbanisée	Modéré	Nul à modéré
B3	Urbanisée	Faible	Fort à très fort
B4	Urbanisée	Modéré	Fort à très fort
B5	Urbanisée ou pas	Nul	Faible à modéré
B6	Urbanisée ou pas	Nul	Fort à très fort

ZONES ROUGES			
	Urbanisation de la zone	Niveau de l'aléa de base	Niveau de l'aléa exceptionnel
R1	Urbanisée ou pas	Fort à très fort	Nul à très fort
R2	Non urbanisée	Faible à modéré	Nul à très fort
R0	Lit mineur endigué du Var et zones d'écoulement principal des vallons et canaux		
R3	Bande de recul à l'arrière des digues et des berges		

Le tableau ci-dessous récapitule la réglementation liée au zonage :

	R1	R2	B3	B4
Interdits	Tous travaux, ouvrages, exhaussements de sols, aires de stationnement, aménagements ou constructions de quelques natures		<ul style="list-style-type: none"> - Les bâtiments de classe 1 (établissements indispensables à la sécurité publique et stratégiques pour la gestion de crise) et 2 (commerces > 500 m² et les établissements « sensibles ») - La reconstruction des bâtiments de classe 1, 	<ul style="list-style-type: none"> - Bâtiments de classe 1 et 2 - Reconstruction des bâtiments de classe 1 et 2 - Les sous-sols et parkings souterrains.

			- Les sous-sols et parkings souterrains.	
Règle de construction	<p>- Si la cote de référence est indiquée sur le zonage réglementaire : la cote d'implantation = cote de référence + 0.5 m</p> <p>- Si la cote de référence n'est pas indiquée : cote d'implantation = cote terrain naturel + 1.5 m</p>	<p>-Si la cote de référence est indiquée sur le zonage réglementaire : la cote d'implantation = cote de référence + 0.5 m</p> <p>-Si la cote de référence n'est pas indiquée : cote d'implantation = cote terrain naturel + 1 m</p>	<p>- Si la cote de référence est indiquée sur le zonage réglementaire : la cote d'implantation = cote de référence + 0.25 m</p> <p>- Si la cote de référence n'est pas indiquée : cote d'implantation = cote terrain naturel + 1 m</p>	

Annexe 3 : Formules de calcul du temps de concentration

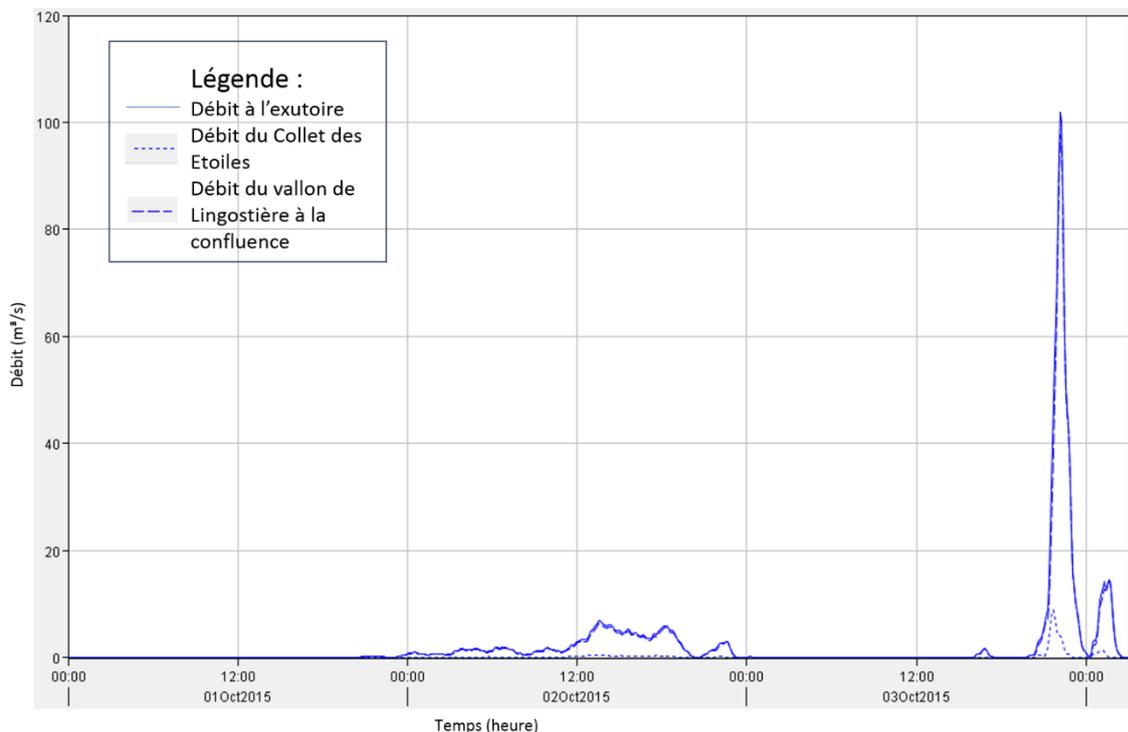
Méthode	Formule	Données d'entrée	Domaine de validité
Kirpich	$T_c = \frac{0.0195}{60} \times L^{0.77} \times P^{-0.385}$	Tc en heures L : plus long thalweg (m) P : pente moyenne sur le plus long chemin hydraulique (m/m)	Formule américaine issue de l'observation de 7 très petits BV ruraux très pentus
Passini	$T_c = 0.108 \times \frac{\sqrt[3]{A \times L}}{\sqrt{P}}$	Tc en heures L : plus long thalweg (km) P : pente moyenne sur le plus long chemin hydraulique (m/m) A : surface du bassin versant (km ²)	Formule italienne valable pour les plaines avec A>40 km ²
Ventura	$T_c = 0.1272 \times \sqrt{\frac{A}{P}}$	Tc en heures P : pente moyenne sur le plus long chemin hydraulique (m/m) A : surface du bassin versant (km ²)	Formule italienne pour A > 10 km ² Pente faible à moyenne Utilisé pour les grandes plaines
Turazza	$T_c = \frac{0.1 \sqrt[3]{A \times L}}{\sqrt{P}}$	Tc en heures L : plus long thalweg (km) P : pente moyenne sur le plus long chemin hydraulique (m/m) A : surface du bassin versant (km ²)	Formule italienne pour A > 10 km ² Pente faible à moyenne Utilisé pour les grandes plaines
Bressand Golossov	$T_c = \frac{L}{v \times 3600}$	Tc en heures L : plus long thalweg (km) Si P<1% : v=1m/s Si 1%<P<10% v=1+(P-1)/9 Si P>10% : v=2m/s	A < 20 km ² Très utilisé dans le Gard
Giandotti	$T_c = 60 \times \frac{0.4\sqrt{A} + 0.0015 \times L}{0.8\sqrt{P \times L}}$	Tc en heures L : plus long thalweg (km)	BV ruraux

ETUDE DE REDUCTION DE LA VULNERABILITE DU SECTEUR DE LINGOSTIERE POUR LA METROPOLE DE NICE

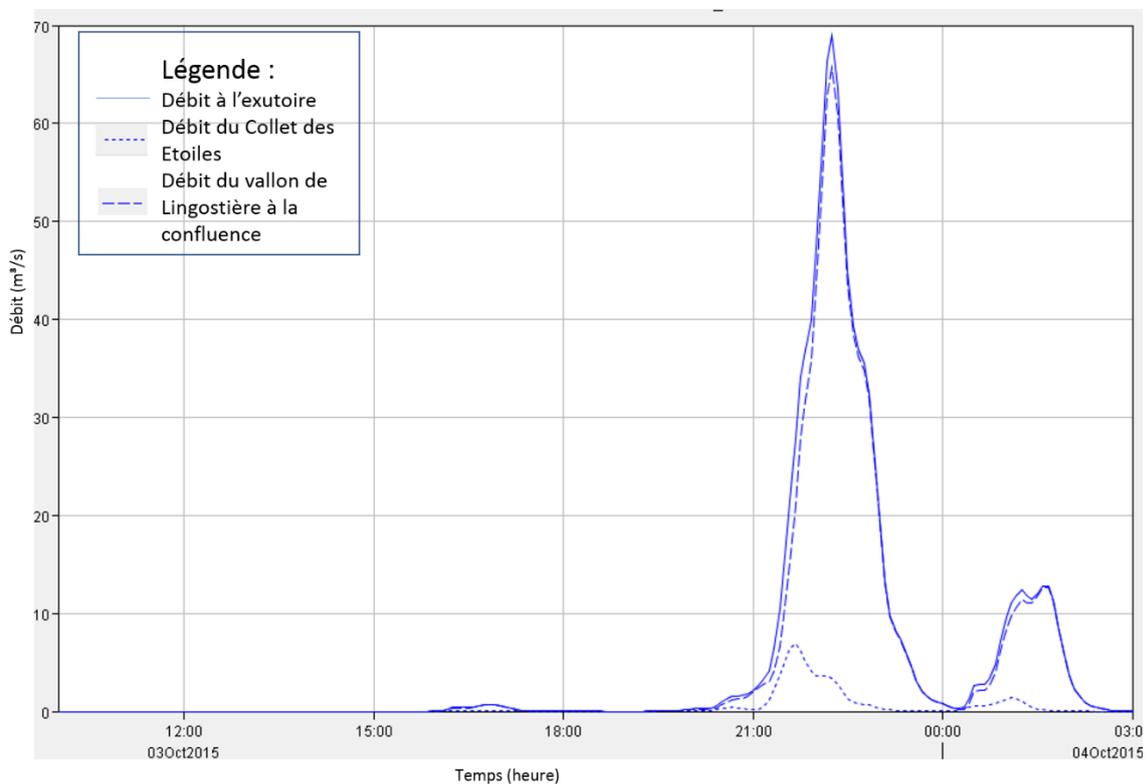
		<p>P : pente moyenne sur le plus long chemin hydraulique (m/m)</p> <p>A : surface du bassin versant (km²)</p>	
SOGREAH	$T_c = 0.9 \times A^{0.35} \times P^{-0.5} \times C^{-0.35}$	<p>Tc en heures</p> <p>P : pente moyenne sur le plus long chemin hydraulique (%)</p> <p>A : surface du bassin versant (ha)</p> <p>C : coefficient de ruissellement (%)</p>	BV ruraux

Annexe 4 : Hydrogrammes de crues des pluies historiques

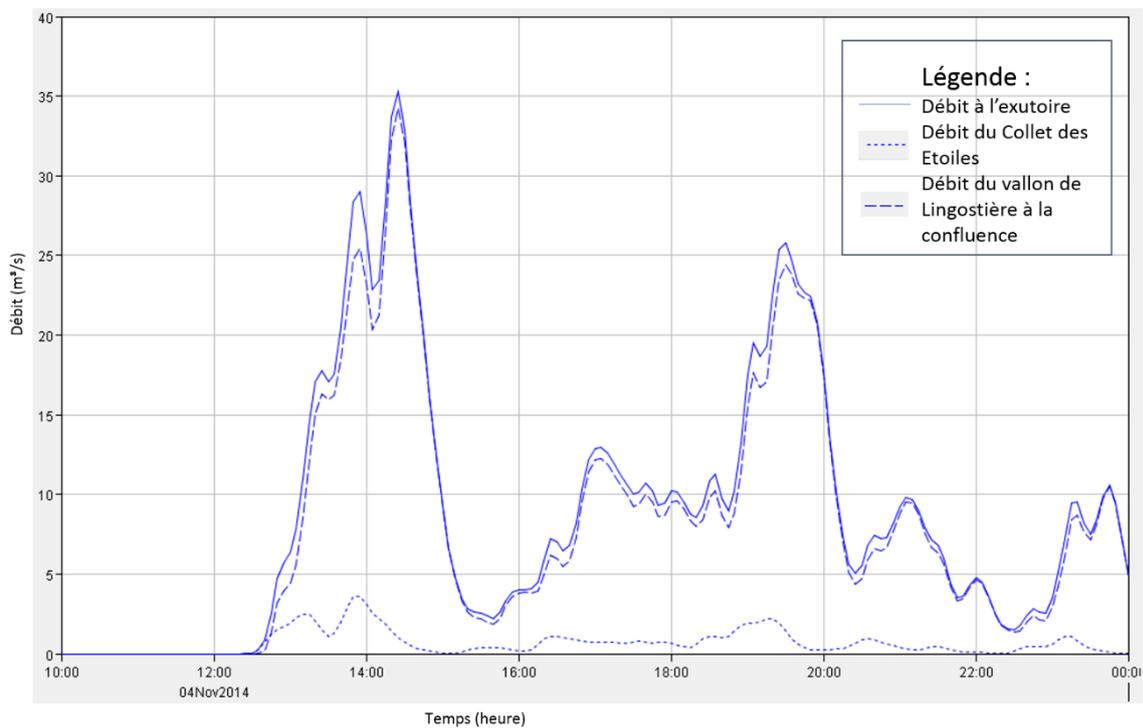
- Evènement du 1 au 3 octobre 2015



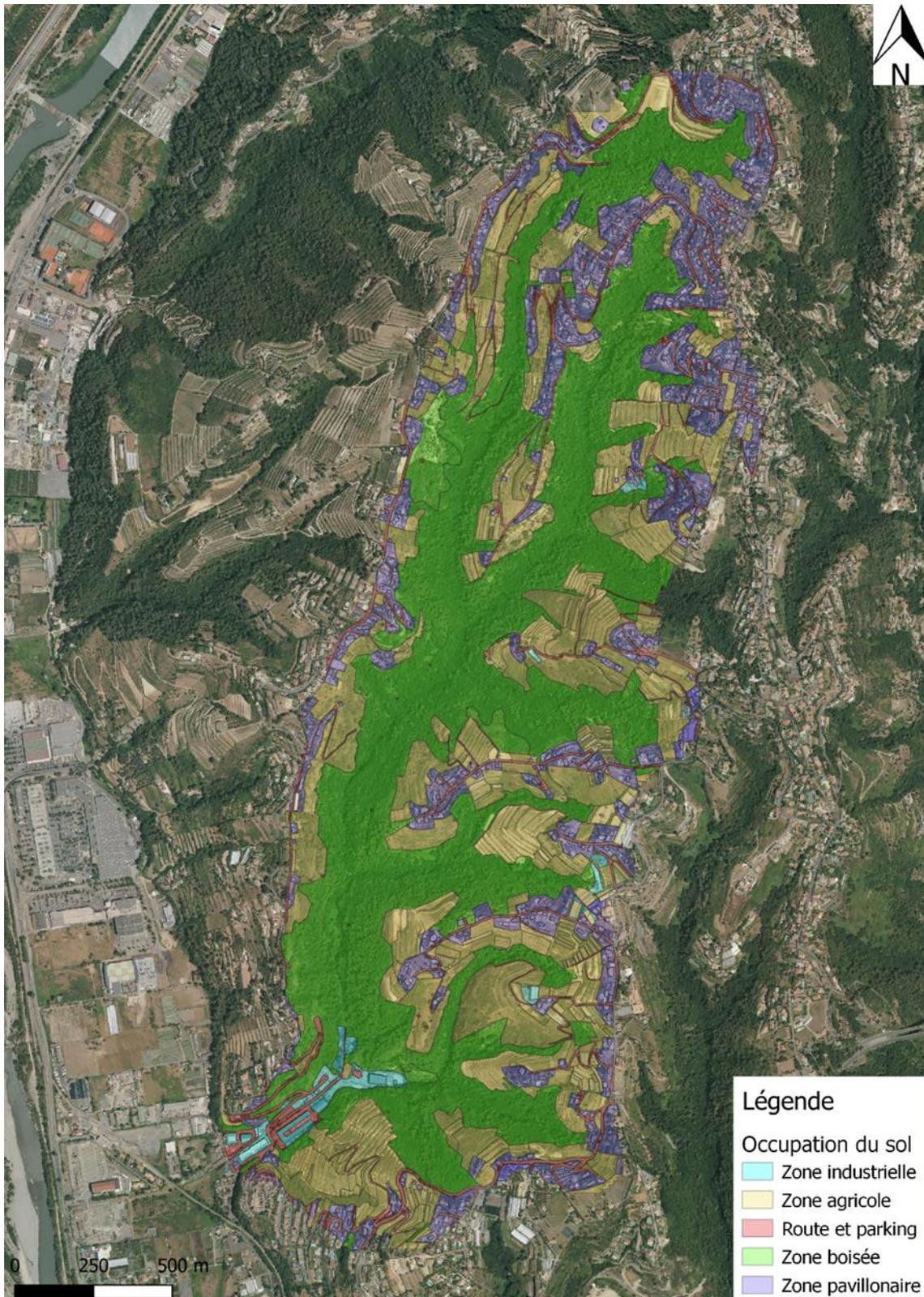
- Evènement du 3 octobre 2015



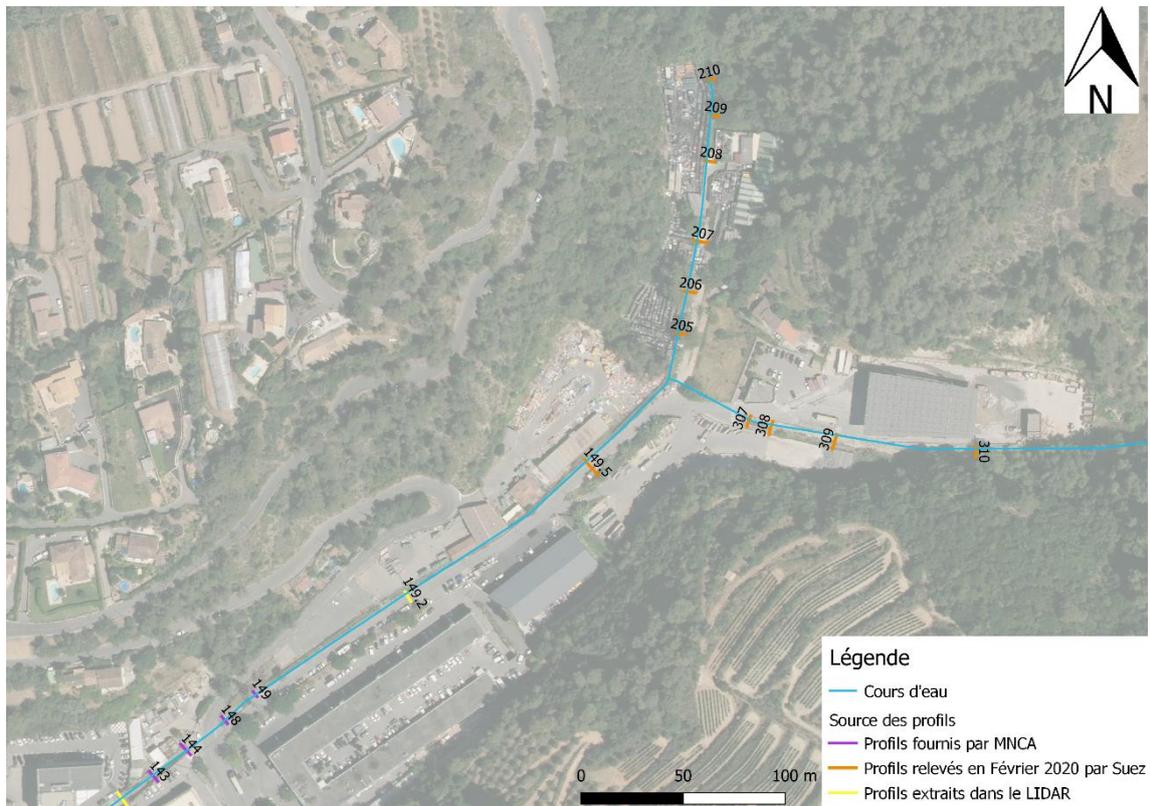
• Evènement du 4 novembre 2014



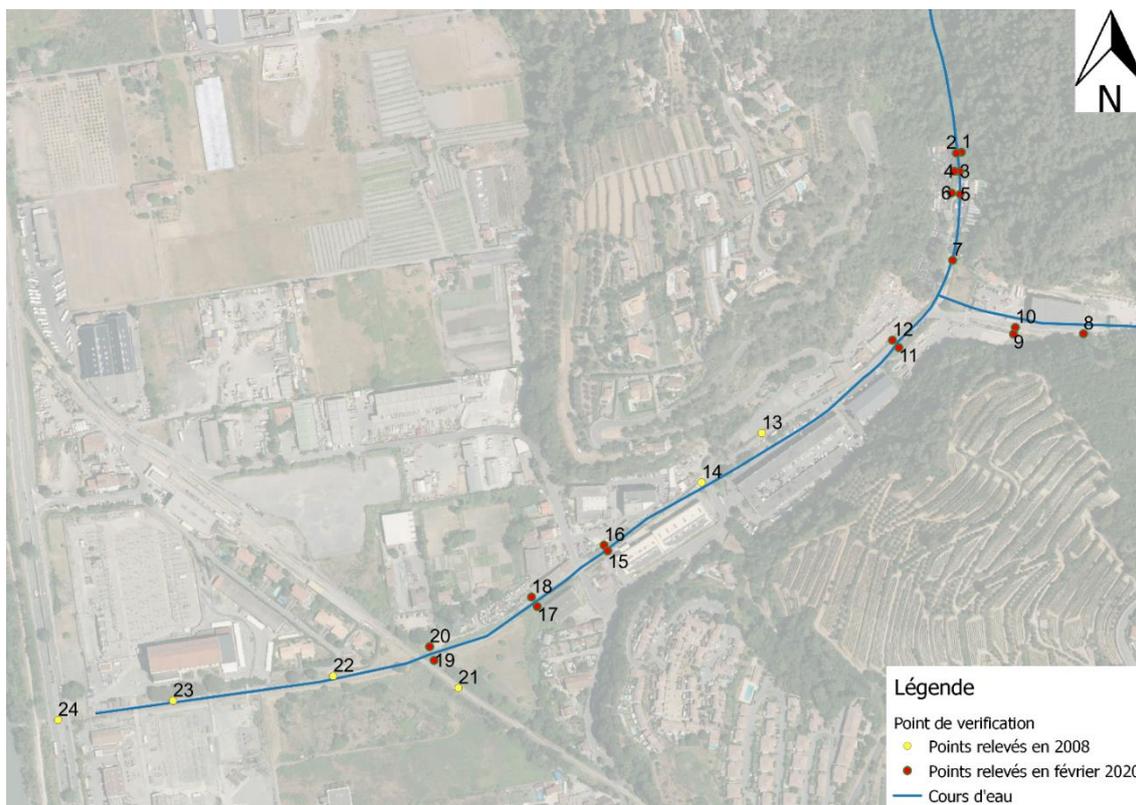
Annexe 5 : Carte des valeurs de CN prises en compte



Annexe 6 : Source des profils en travers utilisés



Annexe 7 : Vérification de la cohérence du LIDAR



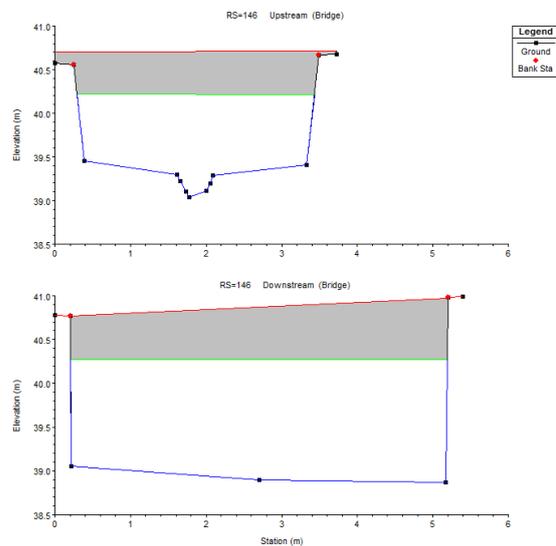
N° du point	Altitude LIDAR (m)	Altitude profil en travers (m)	Différence (m)
1	52.90	52.85	0.05
2	51.36	51.18	0.18
3	51.77	51.90	-0.13
4	50.52	50.34	0.17
5	50.69	50.52	0.17
6	50.21	50.04	0.17
7	49.69	49.50	0.20
8	51.39	51.47	-0.07
9	53.02	52.96	0.07
10	54.17	54.14	0.03
11	46.22	46.45	-0.24
12	45.16	45.02	0.14
13	41.55	41.68	-0.13
14	40.81	40.77	0.03
15	36.12	36.10	0.02
16	37.41	37.37	0.05
17	35.33	35.39	-0.06
18	35.34	35.28	0.06

ETUDE DE REDUCTION DE LA VULNERABILITE DU SECTEUR DE LINGOSTIERE POUR LA METROPOLE DE NICE

19	35.29	35.24	0.05
20	35.73	35.62	0.11
21	36.66	36.80	-0.14
22	34.19	34.20	-0.01
23	35.63	35.50	0.13
24	34.60	34.64	-0.04

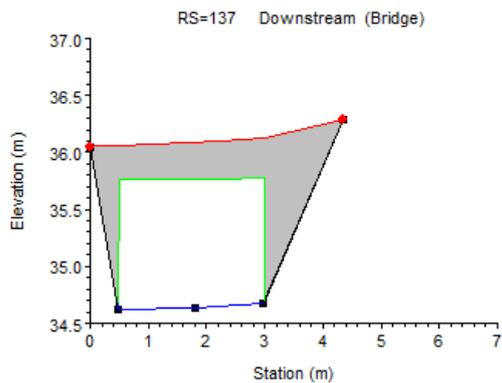
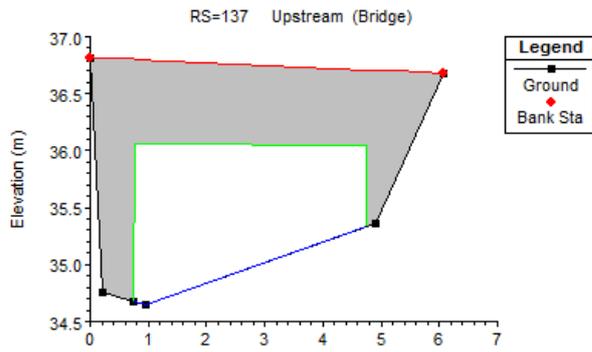
Annexe 8 : Représentation des différents ouvrages sur HEC-RAS

Les quatre ponts présentés dans la partie 1.3 ont été modélisés sur HEC-RAS de la façon suivante :

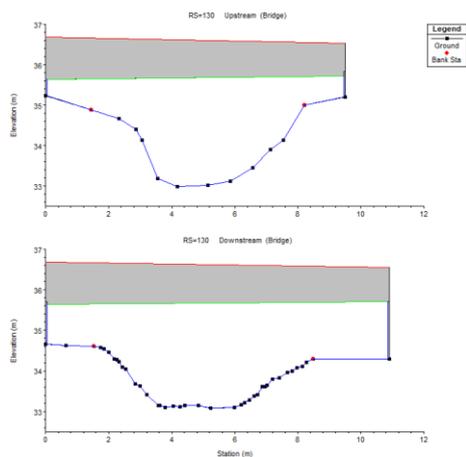


Le pont du chemin Saquier est modélisé avec des profils en travers provenant de MNCA à l'amont et à l'aval. Les caractéristiques du pont proviennent de levés de SEGC. On remarque un élargissement de la section débitante de l'amont vers l'aval car l'aval du pont est constitué d'un large cuvelage en béton alors que le lit amont est très étroit et les berges peu élevées.

ETUDE DE REDUCTION DE LA VULNERABILITE DU SECTEUR DE LINGOSTIERE POUR LA METROPOLE DE NICE

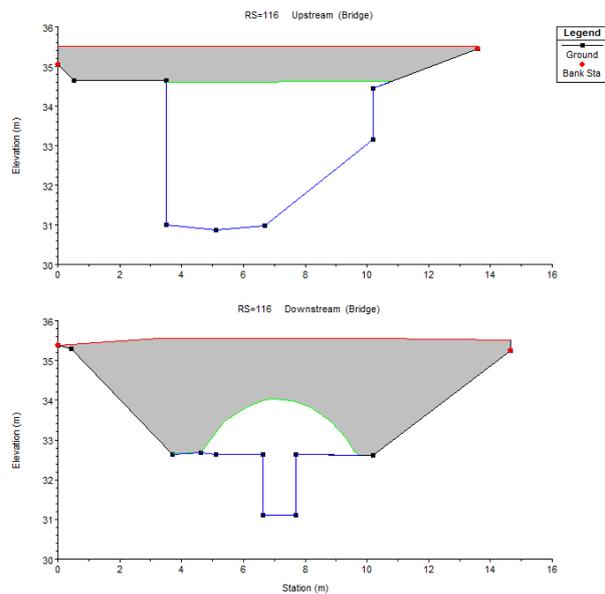


Le pont du chemin de la Glacière a été construit avec les profils en travers et les caractéristiques des plans de SECG. On remarque une diminution de la section débitante entre l'amont et l'aval de l'ouvrage.



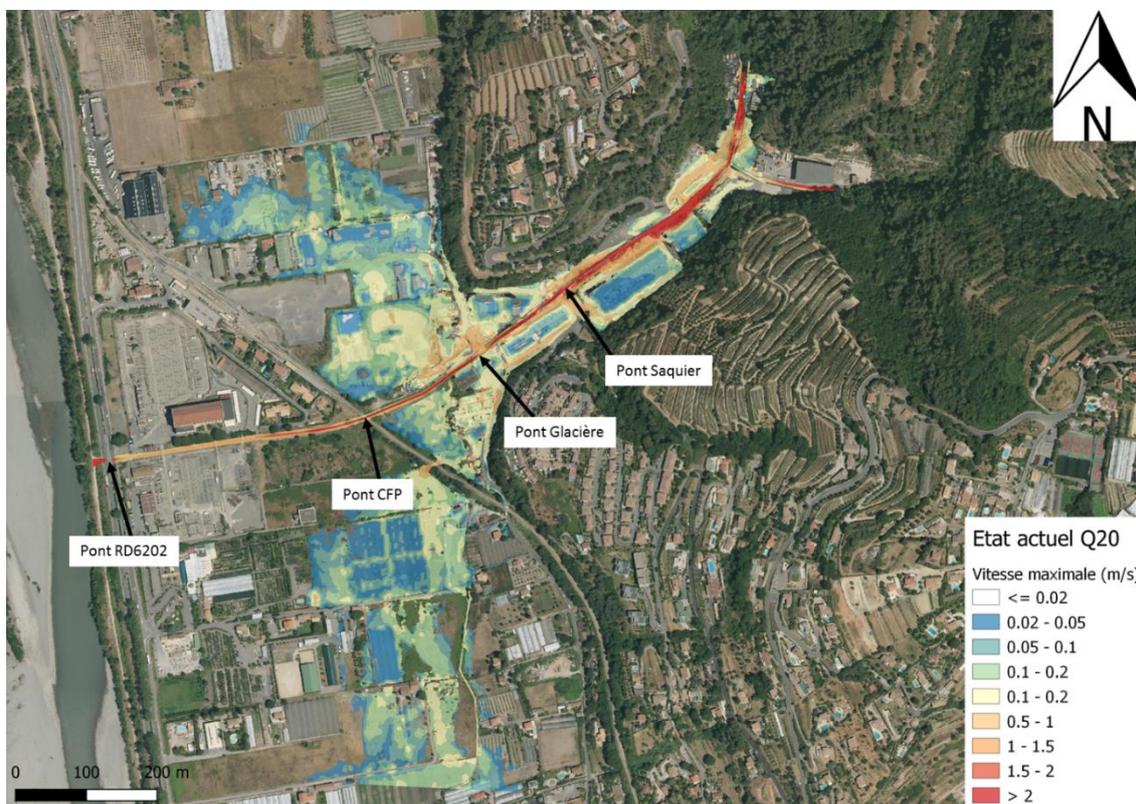
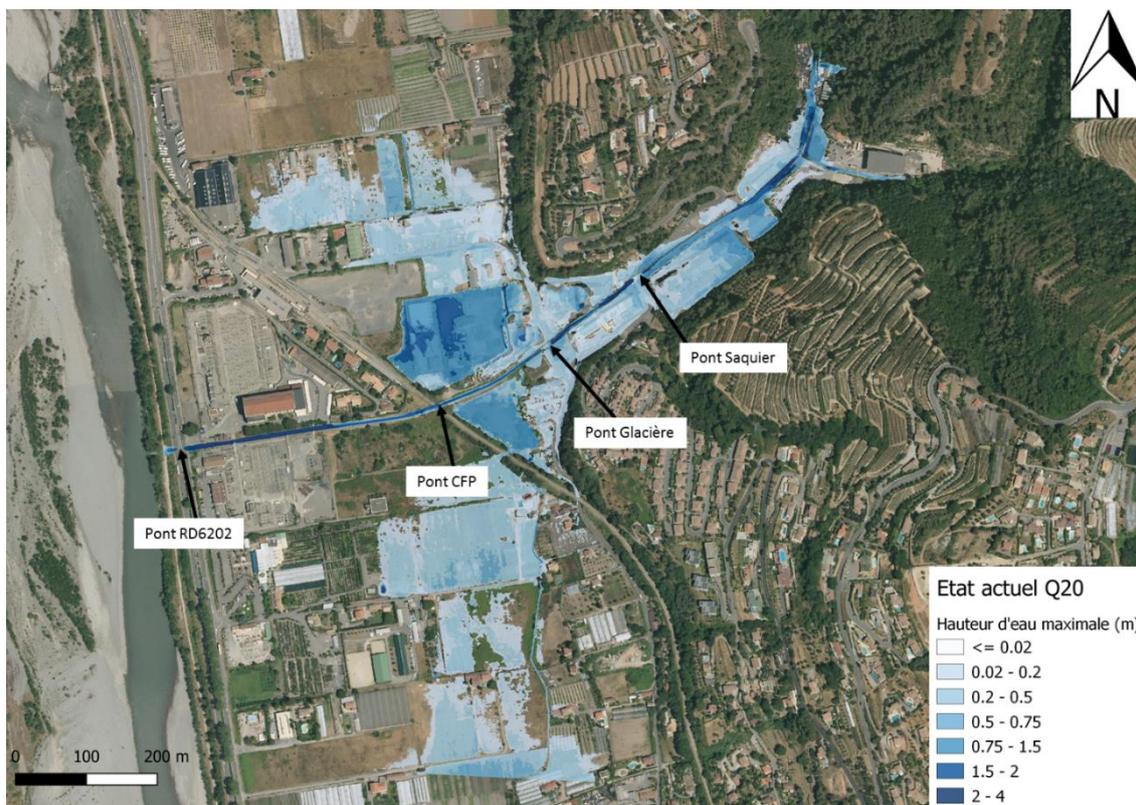
Le pont des CFP a été construit avec un profil relevé par Suez (profil amont) et un profil en travers extrait du LIDAR (profil aval), précis dans cette zone ouverte dont le fond du lit est peu en eau et tout a fait cohérent avec le profil amont. Les caractéristiques du pont proviennent des plans de l'amont du pont de SEGC.

ETUDE DE REDUCTION DE LA VULNERABILITE DU SECTEUR DE LINGOSTIERE POUR LA METROPOLE DE NICE

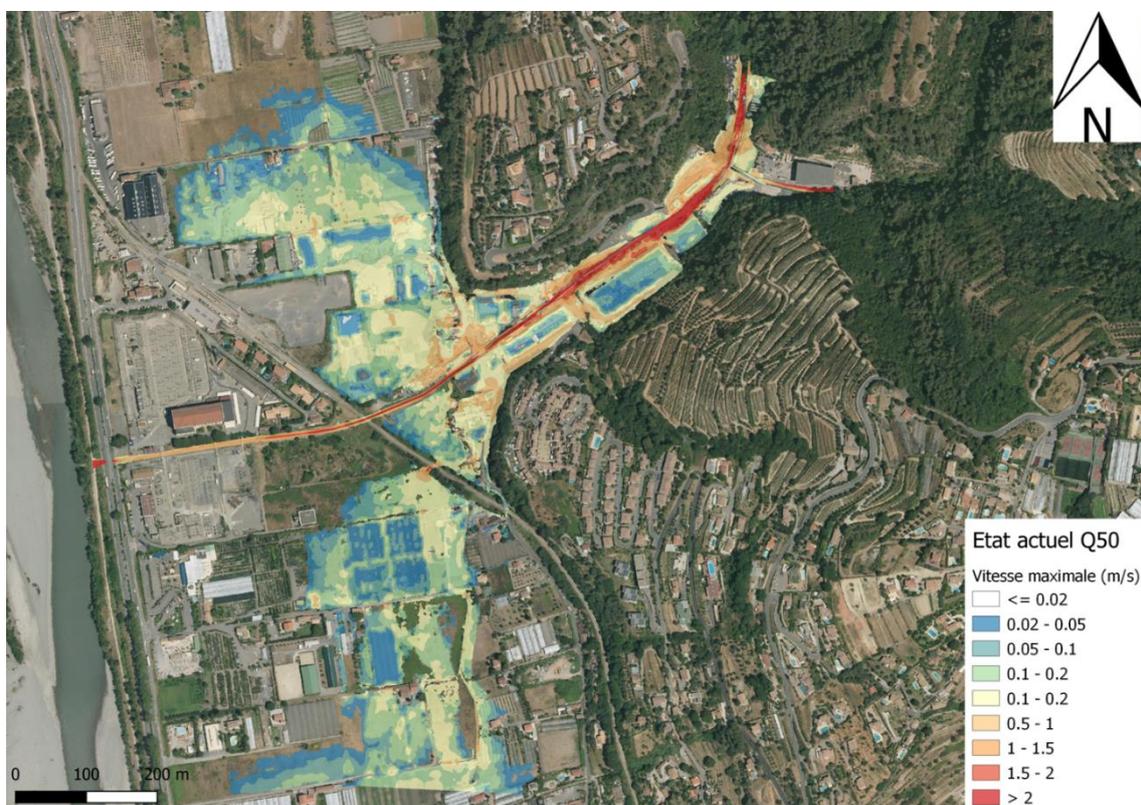
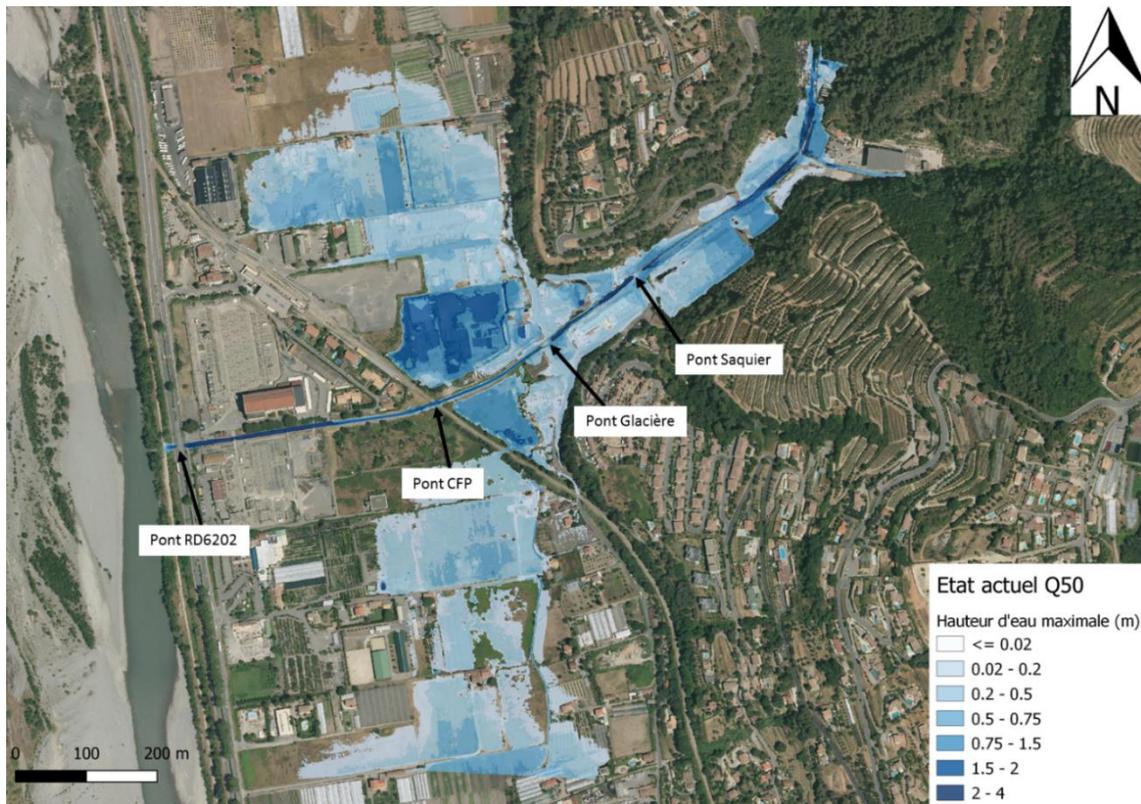


Le pont de la RD 6202 a été construit avec les profils en travers et les caractéristiques des plans de SECG.

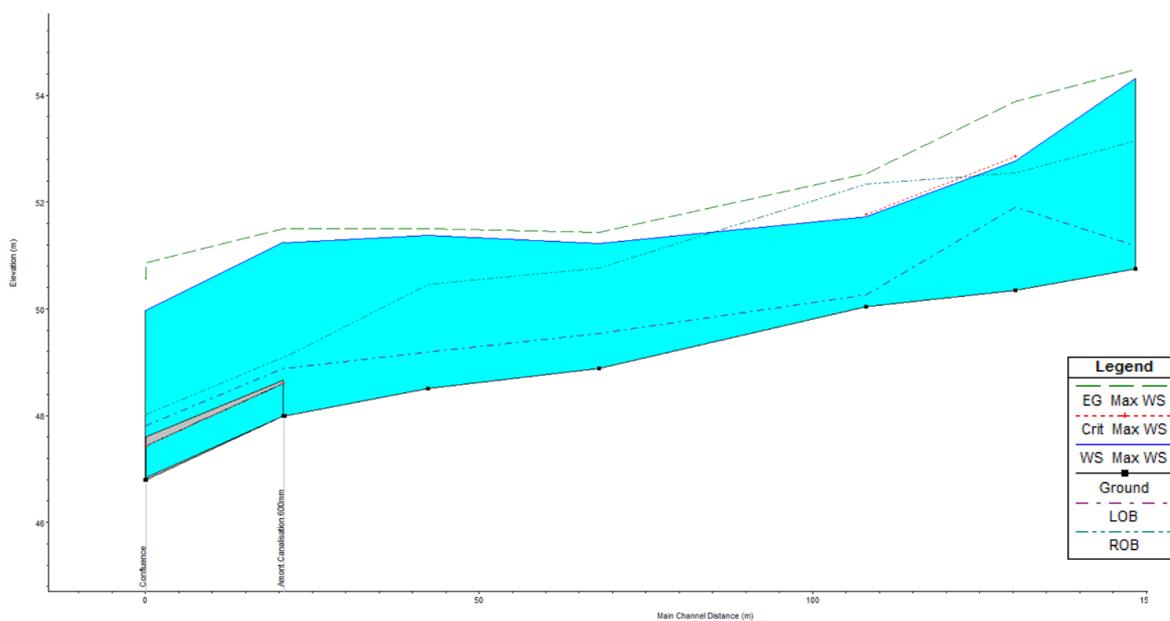
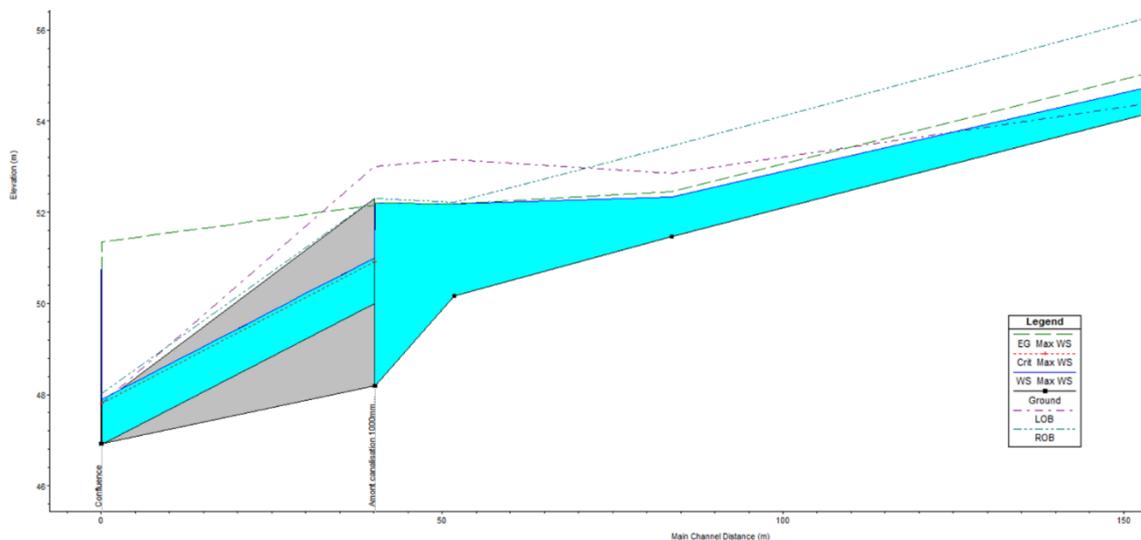
Annexe 9 : Cartes des hauteurs et des vitesses en crue vicennale



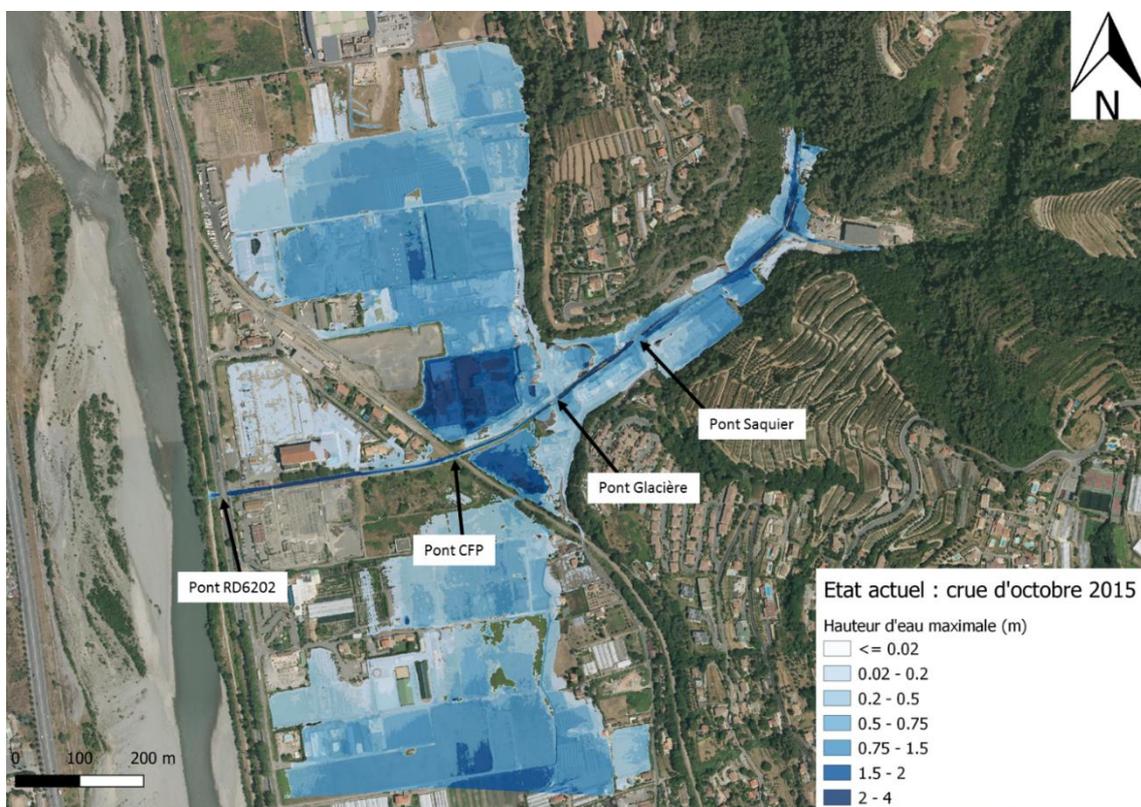
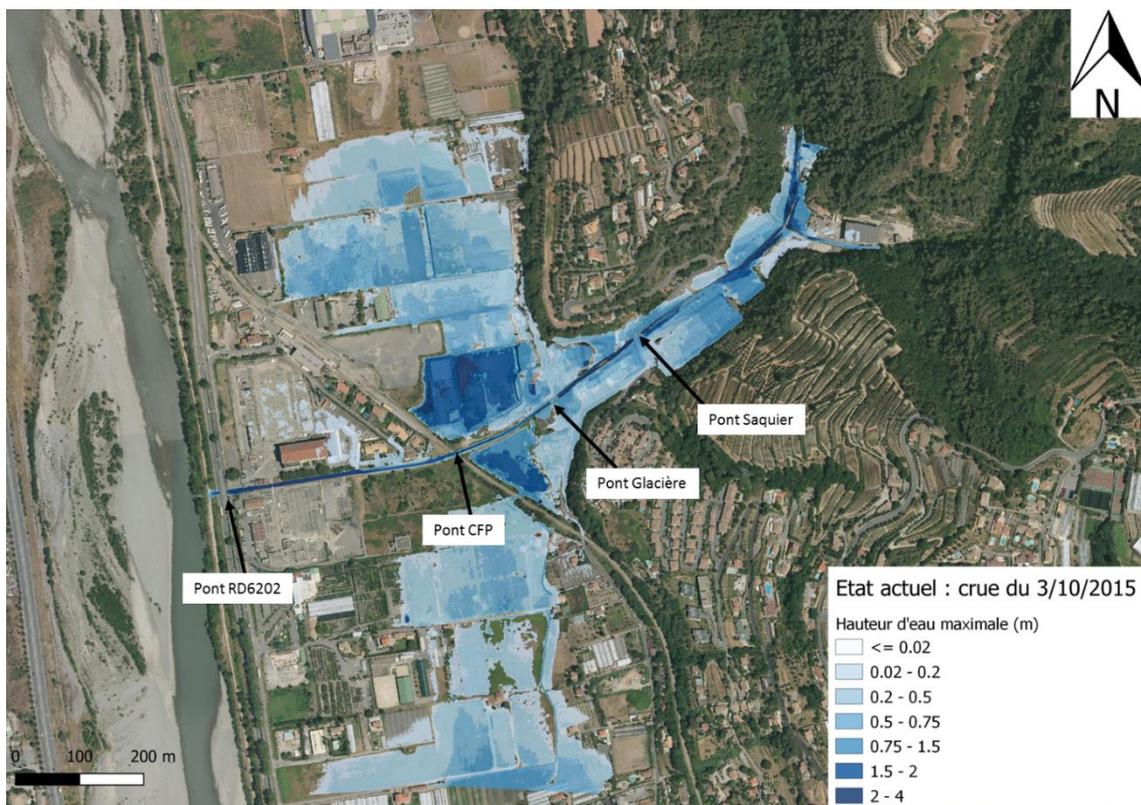
Annexe 10 : Carte des hauteurs et des vitesses en crue cinquantenale



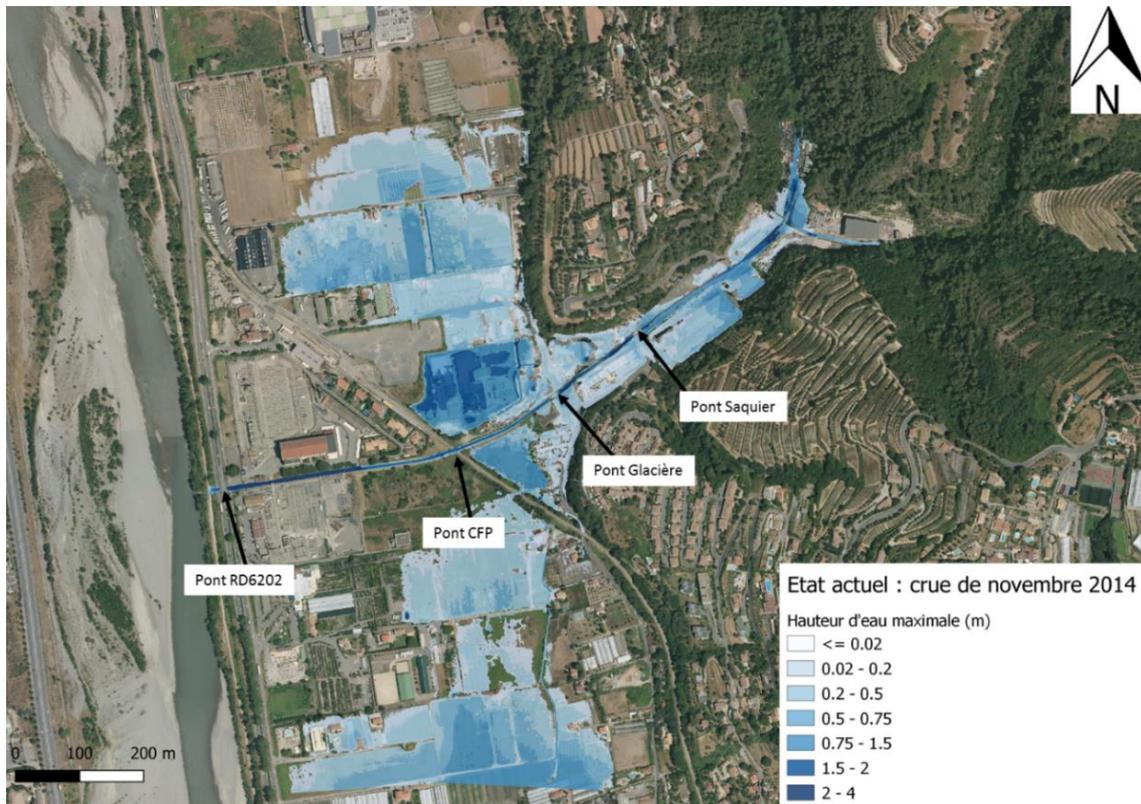
Annexe 11 : Profil en long de l'amont de la confluence pour Q100



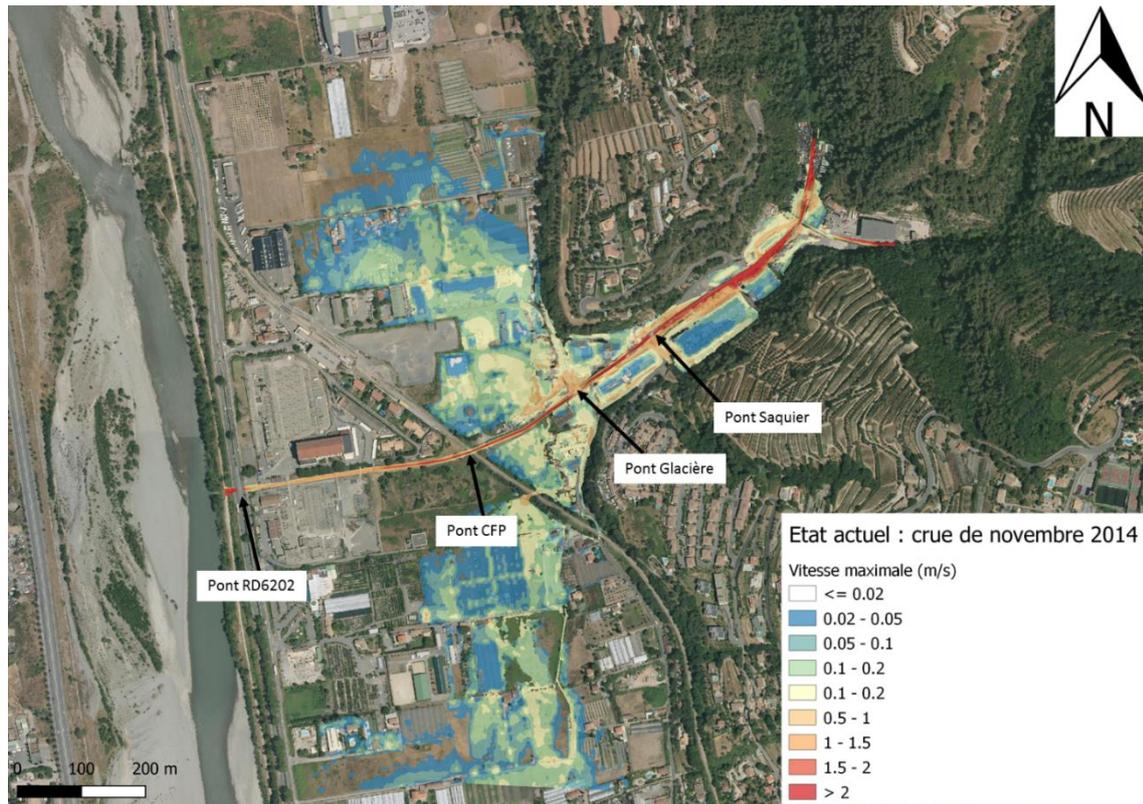
Annexe 12 : Carte des hauteurs d'eau de la crue d'octobre 2015



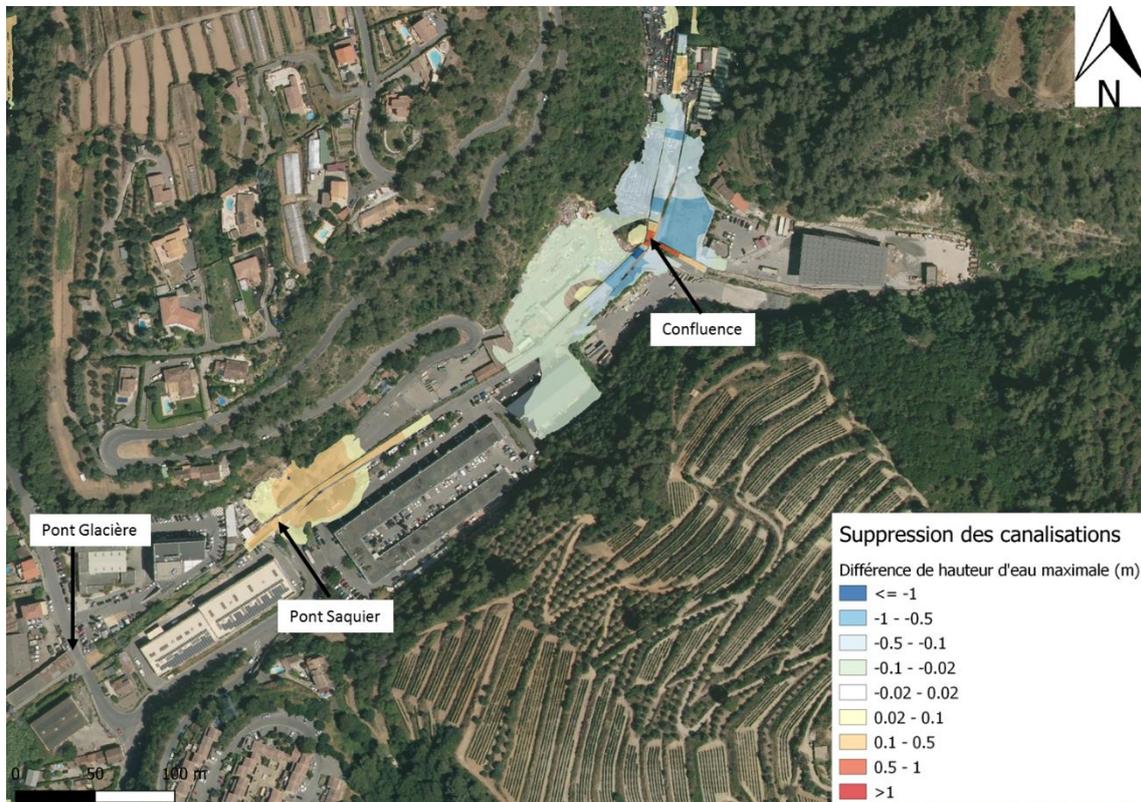
Annexe 13 : Carte des hauteurs et des vitesses de la crue de novembre 2014



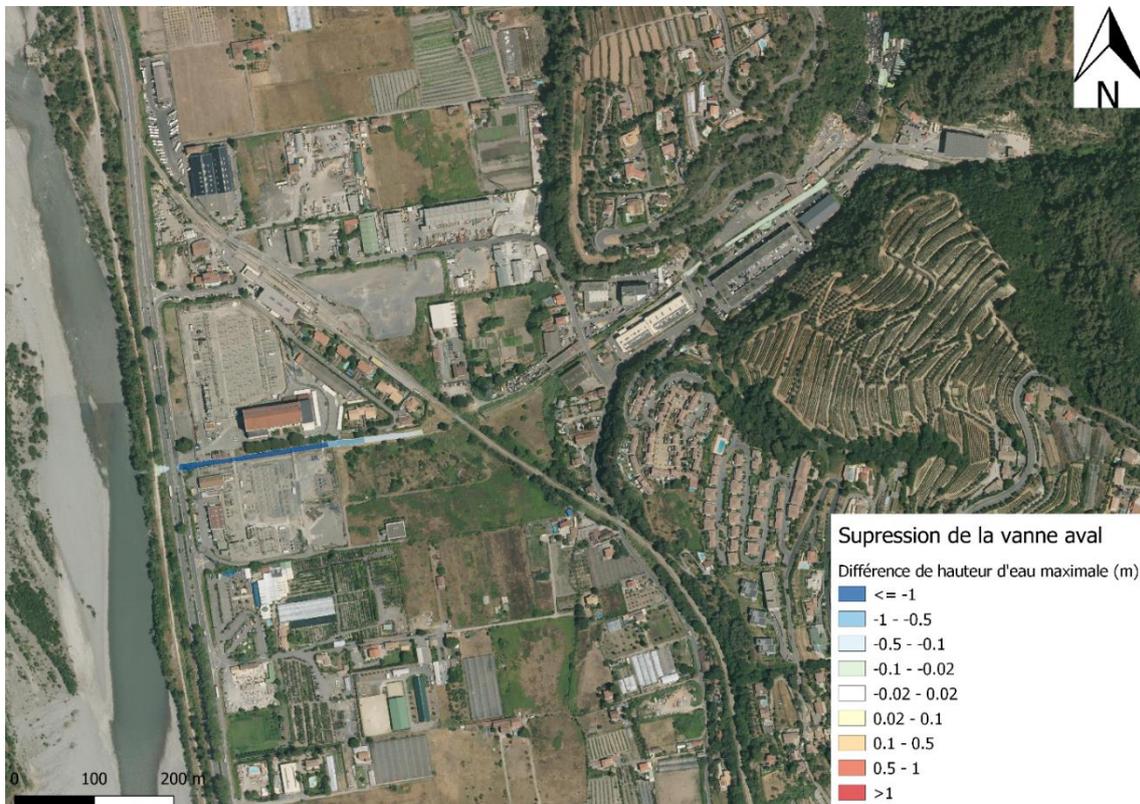
ETUDE DE REDUCTION DE LA VULNERABILITE DU SECTEUR DE LINGOSTIERE POUR LA METROPOLE DE NICE



Annexe 14 : Différence de hauteur d'eau entre l'état actuel et l'état projet - Suppression des deux canalisations pour une crue décennale



Annexe 15 : Différence de hauteur d'eau entre l'état actuel et l'état projet - Suppression de la vanne martellière



Annexe 16 : Note de calcul du transport solide

Afin d'établir un diagnostic hydromorphologique, la pente actuelle du cours d'eau doit être comparée à la pente d'équilibre théorique. Pour calculer les pentes actuelles de la rivière, la zone d'étude a été découpée en plusieurs tronçons homogènes (longueur et largeur du lit semblable (cf. figure tronçons). On détermine ensuite la pente réelle grâce au graphique de la figure « tronçons » et on applique la formule :

$$i = \frac{\Delta cote\ altimétrique}{longueur\ du\ tronçon}$$

D'autre part, connaissant l'équation du paramètre de Shields, et sachant que pour une pente d'équilibre celui-ci vaut 0,047 (c'est-à-dire que pour cette valeur du paramètre de Shields il n'y a ni érosion/mise en mouvement ni dépôt de sédiments), la pente d'équilibre peut être calculée

$$\tau^* = \frac{\rho_{eau} \cdot R_h \cdot i}{(\rho_s - \rho_{eau}) \cdot d_{50}}$$

avec eau : masse volumique de l'eau (= 1000 kg/m³)

s : masse volume du solide (ici du sable) (= 2600 kg/m³)

Rh : rayon hydraulique, ici on approxime la forme du cours d'eau à un rectangle, ainsi

$$Rh = \frac{B \times b}{B + 2h}$$

d50 : diamètre médian des grains

i : pente du radier du cours d'eau

Calcul de la pente d'équilibre :

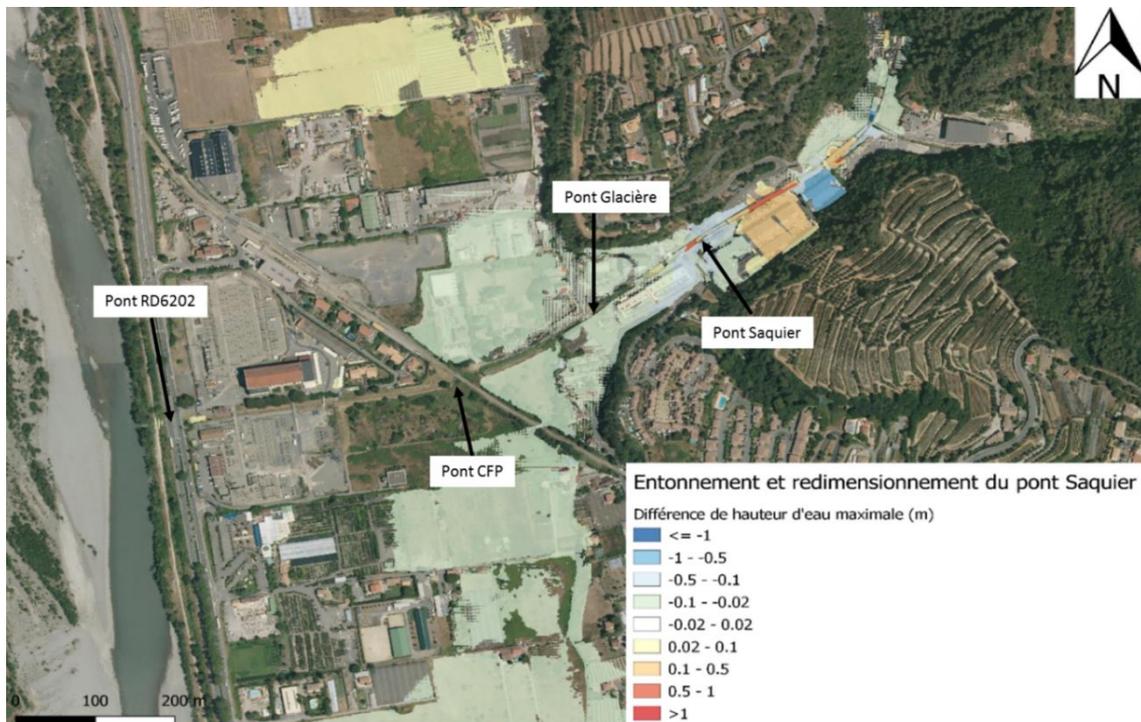
$$i_{eq} = \frac{\tau^* \cdot (\rho_s - \rho_{eau}) \cdot d_{50}}{\rho_{eau} \cdot R_h}$$

Les pentes d'équilibre et les pentes réelles sont ensuite comparées. Si la pente d'équilibre est supérieure à la pente réelle, il y a du dépôt dans la rivière. Si la pente d'équilibre est inférieure à la pente réelle, il y a de l'érosion.

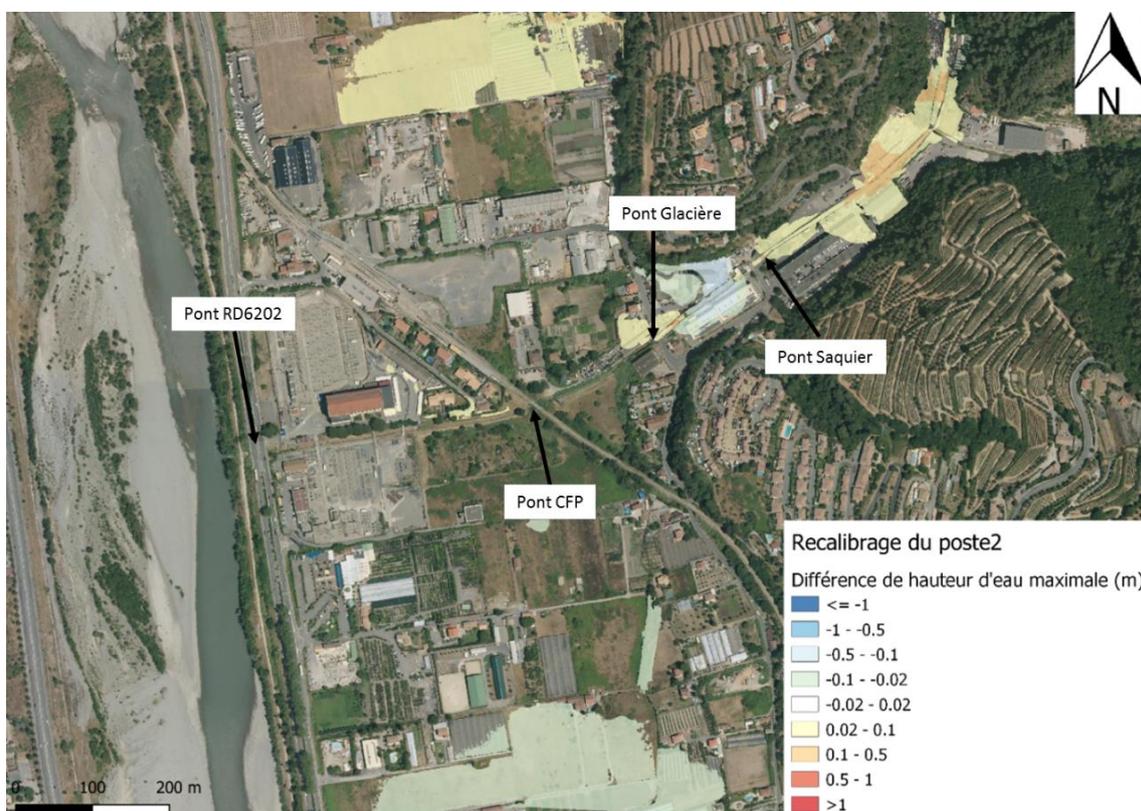
Calcul ieq							
N° tronçon	1	2	3	4	5	6	7
Paramètre de Shield	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047
ro eau	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
h	1.5	0.8	0.9	2.2	1.7	1.5	2.5
B	1.5	4.7	1.1	5	3.5	5	6
Rh	0.5	0.596825	0.341379	1.170213	0.862319	0.9375	1.363636
ro S	2600	2600	2700	2700	2600	2600	2600
d50	1	1	1	2	1	1	1
ieq	3.2	2.680851	4.979798	2.905455	1.855462	1.706667	1.173333
iréel	2.115385	3.931641	4.513514	3.193069	3.463252	0.913529	0.525
	ieq>ireel	ieq<ireel	ieq>ireel	ieq<ireel	ieq<ireel	ieq>ireel	ieq>ireel
Phénomène	dépôt	érosion	dépôt	érosion	érosion	dépôt	dépôt

Annexe 17 : Différence de hauteur d'eau entre l'état actuel et les projets d'ISL

- Redimensionnement du pont du chemin de Saquier et création de la zone d'entonnement

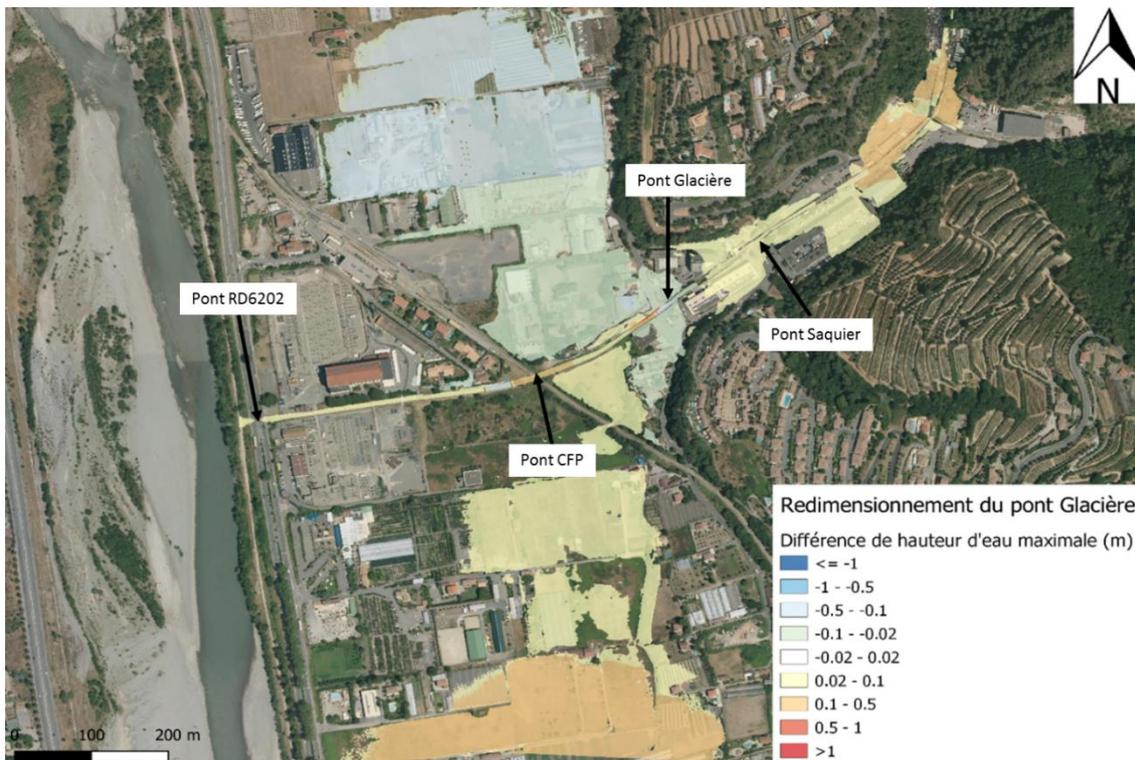


- Recalibrage du poste D



ETUDE DE REDUCTION DE LA VULNERABILITE DU SECTEUR DE LINGOSTIERE POUR LA METROPOLE DE NICE

- Redimensionnement du pont du chemin de la Glacière



- Recalibrage du poste E

