

RD8N – Réhabilitation du pont sur l’Arc

PHASE AVANT-PROJET



Annexe A.1 – Etude Hydraulique

Affaire	Phase	Domaine	Nature	Emetteur	Numéro	Ind
49152	AVP	OA	MEM	HYD	0101	A00

Fiche de suivi des documents

Indice	Date	Commentaires	Etabli	Vérifié	Validé
0	sept 2022	Création du document	RHE	NMA	ADE
A00	juin 2023	Première diffusion	RHE	NMA	ADE

Affaire	Phase	Domaine	Nature	Emetteur	Numéro	Ind
49152	AVP	OA	MEM	HYD	0101	A00



DÉPARTEMENT
**BOUCHES
DU RHÔNE**



Modèle hydraulique de l'Arc

Impact du projet démolition et de reconstruction du pont de l'Arc sur la crue de référence

Diagnostic hydraulique

49152 | Septembre 2022 | v.2



setec
hydratec



Agence de Vitrolles
3, chemin des Gorges de Cabriès
13127 Vitrolles
T : 04 86 15 62 50
F : 04 86 15 62 48

Directeur d'affaire : OVE
Responsable d'affaire : GFL
N°affaire : 016 49152
Fichier : 49152_Rapport Pre_DUP-v2.docx

Version	Date	Etabli par	Vérifié par	Nb pages	Observations / Visa
1	09/2022	RHY	GFL / NMT	30	Etat initial
2	06/2023	RHY	NMT	45	Etat projet

SOMMAIRE

1	Contexte de l'étude.....	7
1.1	Situation.....	7
1.2	Programme de l'opération.....	7
1.3	Etude antérieures.....	8
1.4	Objectif de la mission.....	8
1.5	Description de l'ouvrage.....	8
1.6	Limites du projet global.....	9
1.7	Contexte hydraulique de l'arc.....	10
1.7.1	Enjeux du projet.....	10
1.7.2	Données utilisées.....	11
1.8	Contexte hydrologique.....	12
1.8.1	Evènements historiques.....	12
1.8.2	Les crues caractéristiques.....	12
1.9	Cartographie du risque inondation (source étude Safège 2016).....	17
2	Modélisation hydraulique.....	20
2.1	Logiciel.....	20
2.2	Données sources.....	20
2.3	Architecture du modèle hydraulique.....	21
2.4	Calage.....	24
2.4.1	Contexte.....	24
2.4.2	Principe.....	24
2.4.3	Résultats et discussion.....	25
2.4.4	Aléas.....	29
2.5	Fonctionnement hydraulique de l'état actuel.....	33
2.6	Fonctionnement hydraulique de l'état projet.....	38
2.6.1	Présentation des ouvrages en état projet.....	38
2.6.2	Fonctionnement hydraulique.....	40
2.7	Conclusion.....	45

ILLUSTRATIONS

Figure 1-1 : Situation de l'ouvrage (Vue aérienne google Earth).....	7
Figure 1-2 : Situation de l'ouvrage (Google maps)	7
Figure 1-3 : Extrait des études de faisabilité 2018.....	9
Figure 1-4 : Zone d'étude	9
Figure 1-5 : Localisation du projet au sein du périmètre du modèle envisagé.....	10
Figure 1-6 : Bassin versant de l'Arc (porté à connaissance DDTM bureau d'études SAFÈGE, 2016)	11
Figure 1-7 : Lamé d'eau précipitée correspondant au scénario 1 (Safège 2016)	13
Figure 1-8 : Débit de pointe des 4 scénarii modélisés pour la crue du 15 juin 2010 et crues de calage (Safège 2016)	13
Figure 1-9 : Synthèse des débits de pointe de la crue de référence retenus pour le TRI (Territoire à Risque Important) de l'Arc (Safège, 2016)	14
Figure 1-10 : Localisation des points de calcul (Safège 2016)	15
Figure 1-11 : Hydrogrammes de la crue de 2008 injectés dans le modèle amont (Safège 2016)	15
Figure 1-12 : Hydrogrammes de la crue de 2008 injectés dans le modèle centre (Safège 2016)	16
Figure 1-13 : Hydrogramme de la crue de référence.....	16
Figure 1-14 : vue de l'ouvrage existant – Source : google earth	17
Figure 1-15 : Hauteurs d'eau de référence : Pont de l'Arc, Beauville, La Parade, La Pioline (source Safège 2016)	18
Figure 1-16 : Carte des aléas du PPRI	18
Figure 1-17 : Aléa de la crue de référence – commune d'Aix en Provence (Encart n°10 - étude Safège 2016)	19
Figure 2-1 : Topographie en situation actuelle.....	21
Figure 2-2 : Emprise du modèle hydraulique	23
Figure 2-3 : Occupation des sols du modèle PPRI.....	24
Figure 2-4 : Emprise des coefficients de Strickler (modélisation hydratec).....	25
Figure 2-5 : profil en long	26
Figure 2-6 : Comparaison de la modélisation de la crue de référence avec le PPRI.....	27
Figure 2-7 : Crue de référence – Obstruction pont + $K_s = 40$: Hauteurs d'eau et comparaison avec les cotes d'eau PPRI	28
Figure 2-8 : Carte d'Aléas du PPRI.....	30
Figure 2-9 : Carte d'aléas de la situation de calage – grille d'aléas PPRI.....	31
Figure 2-10 : Carte d'aléas de la situation de calage – grille d'aléas DDTM.....	32
Figure 2-11 : Hauteurs et vitesses maximales pour la crue de référence – centré sur le pont de l'Arc	35
Figure 2-12 : Aléa inondation pour la crue de référence – grille d'aléas PPRI.....	36

<i>Figure 2-13 : Carte d'aléas de la situation initiale – grille d'aléas DDTM</i>	<i>37</i>
<i>Figure 2-14 : Emplacement du pont et de la passerelle projetés</i>	<i>38</i>
<i>Figure 2-15 : Coupes longitudinales du pont et de la passerelle.....</i>	<i>39</i>
<i>Figure 2-16 : Hauteurs et vitesses maximales pour la crue de référence – centré sur le pont de l'Arc</i>	<i>41</i>
<i>Figure 2-17 : Aléa inondation pour la crue de référence – grille d'aléas PPRI.....</i>	<i>42</i>
<i>Figure 2-18 : Carte d'aléas de la situation projet – grille d'aléas DDTM</i>	<i>43</i>
<i>Figure 2-19 : Impact sur les niveaux d'eau de la crue de référence.....</i>	<i>44</i>

1 CONTEXTE DE L'ETUDE

1.1 SITUATION

Le pont sur l'Arc, situé dans la commune d'Aix-en-Provence, est un ouvrage portant la RD8N construit en 1945 et mis en service en 1947.

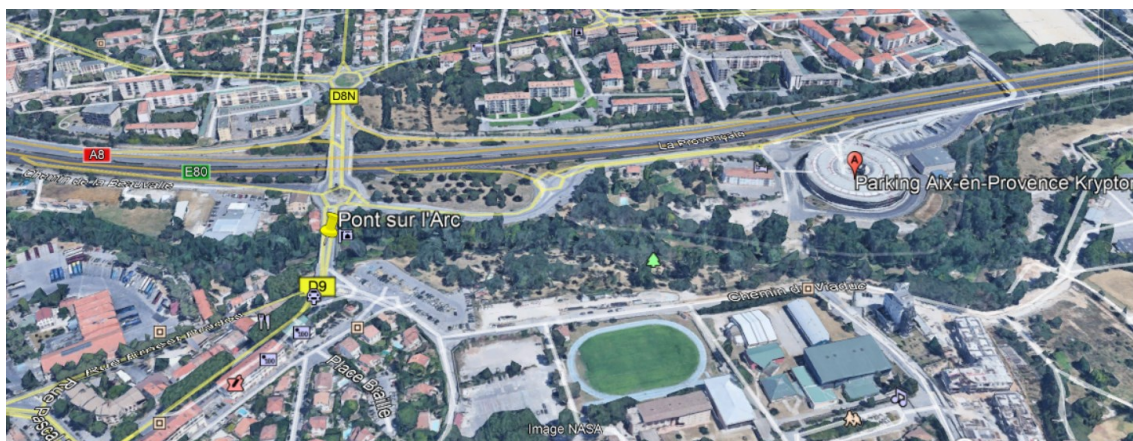


Figure 1-1 : Situation de l'ouvrage (Vue aérienne google Earth)



Figure 1-2 : Situation de l'ouvrage (Google maps)

1.2 PROGRAMME DE L'OPÉRATION

L'ouvrage étudié présente de nombreux désordres, aussi bien au niveau du tablier que des appuis, surveillés dans le cadre des inspections périodiques de 2009 puis 2017. Lors de l'IDP de 2009, des fissures assez importantes (de l'ordre de 0.3 mm) ont été recensées. Leur évolution notable est constatée en 2017 conférant au tablier une note IQOA 3U, ce qui constitue une menace pour la pérennité du pont et ainsi la sécurité des usagers. Suite aux études antérieures, une démolition reconstruction est privilégiée.

Le contexte urbain est assez dense avec une forte circulation routière du fait de la proximité de l'ouvrage avec l'échangeur 30 de l'autoroute A8. La RD8N permet également l'accès Sud à la commune d'Aix-en-Provence. Par conséquent, la sécurisation de ce franchissement devient prioritaire.

Pour cette opération comme pour l'ensemble du réseau routier, il convient également de répondre aux objectifs généraux définis au Schéma Directeur des Routes (SDR) :

- Améliorer la sécurité routière,
- Valoriser le patrimoine routier et préserver son environnement,
- Faire évoluer l'organisation de l'entretien et l'exploitation,
- Accompagner l'émergence d'une mobilité durable.

1.3 ETUDE ANTÉRIEURES

Des études de faisabilité réalisées en 2018 par Egis pour le compte du département des Bouches-du Rhône ont permis d'effectuer un état des lieux des données de l'ouvrage existant et des contraintes associées. Elles portent essentiellement sur l'analyse des solutions envisageables dans le cadre de la démolition/reconstruction de l'ouvrage.

1.4 OBJECTIF DE LA MISSION

La mission globale constitue le dossier d'Etudes Préalables relatif à la démolition/reconstruction du pont franchissant l'Arc. Il est produit dans le cadre du dossier d'enquête d'utilité publique du projet.

Le contenu du dossier est celui défini dans l'annexe III à l'arrêté du 21 Décembre 1993 et dans l'Instruction Technique du 29 avril 2014 (version consolidée 8 novembre 2018) relative aux modalités d'élaboration des opérations d'investissement et de gestion sur le réseau routier national.

L'objet du présent rapport est d'étudier les aspects hydrauliques de cet aménagement et également étudier, à partir d'une modélisation, les impacts hydrauliques afin de définir les mesures compensatoires éventuelles.

1.5 DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

L'ouvrage est un passage inférieur de type pont à poutres béton armé entretoisées sous chaussée en béton, encastrée sur la pile centrale. Il est légèrement biais, 96 grades, et constitué de deux travées de portées identiques 19.20 m. Le tablier est composé de 4 poutres de longueur totale 39.60 m.

L'ouvrage est constitué d'une chaussée de 9 m, répartie en trois voies de circulation, et de trottoirs de 1.50 m de part et d'autre.

Les culées sont en béton armé et la pile centrale en béton armé sur embase en maçonnerie.

Les murs en aile sont également en béton armé.

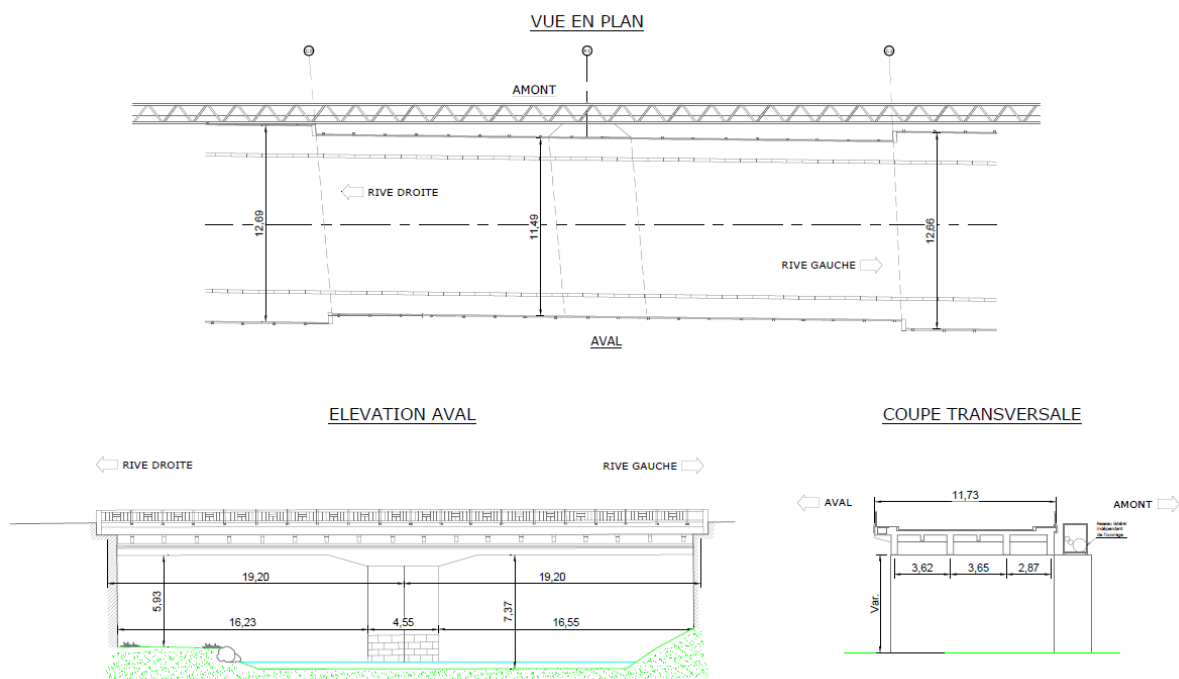


Figure 1-3 : Extrait des études de faisabilité 2018.

1.6 LIMITES DU PROJET GLOBAL

La carte suivante présente l'emprise du projet de démolition et reconstruction du pont de l'Arc. Dans le cadre de l'étude hydraulique et afin de représenter au mieux le fonctionnement hydraulique au droit du projet, l'analyse hydraulique s'étend bien au-delà de cette zone projet. L'analyse s'étend sur 3.5 km de long et plus de 500 m de large pour reprendre l'emprise inondable.



Figure 1-4 : Zone d'étude

1.7 CONTEXTE HYDRAULIQUE DE L'ARC

1.7.1 Enjeux du projet

Dans le cadre de désordres identifiés sur le pont traversant l'Arc, une étude est programmée afin de déterminer les impacts des interventions sur ce pont. La portée du pont est relativement importante, ce qui peut nécessiter la mise en place d'une ou plusieurs piles.



Figure 1-5 : Localisation du projet au sein du périmètre du modèle envisagé

La présente mission consiste donc à analyser l'impact hydraulique de la démolition et la reconstruction de l'ouvrage sur la crue de référence du bassin versant de l'Arc définie par la DDTM 13 dans le PPRi d'Aix en Provence et dans le porté à connaissance de l'aléa inondation sur le bassin versant de l'Arc et notamment dans l'étude : « Etude hydraulique sur le bassin versant de l'Arc dans le cadre de l'identification des Territoires à Risques Importants – phase 2 modélisation hydraulique et cartographie des aléas » (Safège – août 2015).

Le pont en projet est situé sur la partie centrale du bassin versant de l'Arc d'une superficie totale de 752,3 km² (superficie à l'exutoire de l'Arc avant la séparation de l'écoulement dans le delta).

La surface du bassin versant en amont du projet, au droit du secteur du Pont de l'Arc, en aval de la confluence avec La Torse (affluent rive droite de l'Arc) est de l'ordre de 401km².

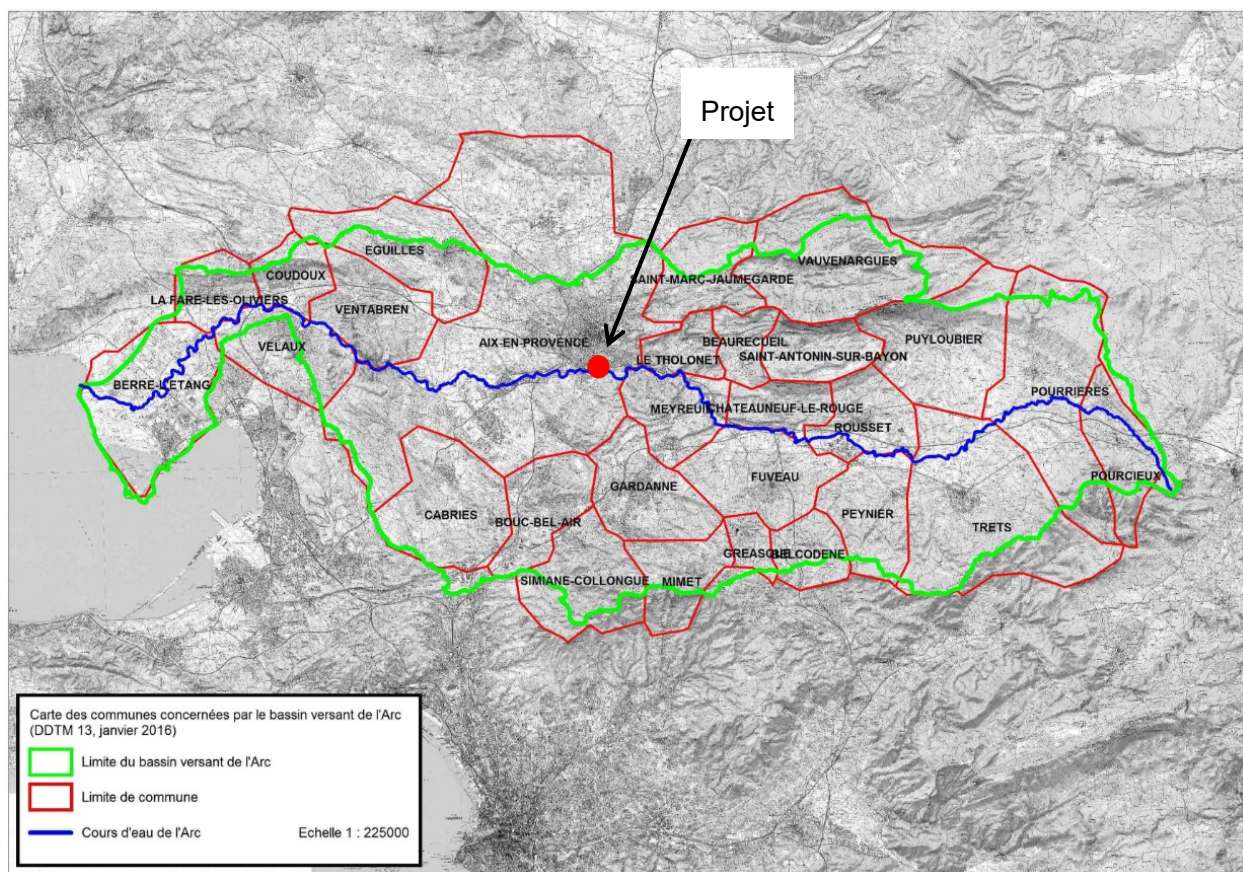


Figure 1-6 : Bassin versant de l'Arc (porté à connaissance DDTM bureau d'études SAFEGE, 2016)

1.7.2 Données utilisées

Dans une première analyse, le diagnostic de l'état actuel s'appuie sur les données bibliographiques. En effet, le bassin versant de l'Arc a déjà fait l'objet d'une étude complète de l'aléa inondation (Safège pour la DDTM 13) dont le contenu a été porté à connaissance en janvier 2016. Sur la base de ce porté à connaissance, le PPRi (Plan de Prévention des Risques Inondation) de la commune d'Aix en Provence a été approuvé le 6 mars 2020.

Sur la base de ces premiers éléments, une modélisation hydraulique est réalisée pour la phase d'avant-projet (AVP). Elle permet de préciser le fonctionnement hydraulique sur ce secteur à l'état actuel et plus particulièrement à l'état projet.

La modélisation est effectuée sur la base des données topographiques existantes dans le cadre de l'étude hydraulique du porté à connaissance (LIDAR 2014,), mais également sur les données topographiques complémentaires réalisées dans le cadre de ce projet (profils en travers, ouvrages).

1.8 CONTEXTE HYDROLOGIQUE

1.8.1 Evènements historiques

Au regard des débits, l'étude hydraulique de 2016 (Safège), présente les conclusions suivantes :

- sur l'extrémité amont du bassin (Pourrières) la plus forte crue récente observée est celle d'octobre 1972,
- sur les secteurs de Pont de Bayeux (amont bassin) versant et Pont Saint Estève (aval du bassin), la plus forte crue récente observée est celle de janvier 1978,
- sur la partie centrale du bassin versant (Roquefavour à Aix-en-Provence), c'est l'événement pluviométrique localisé de septembre 1993 qui a entraîné les débits de crue les plus importants.

Ainsi, sur l'Arc, il n'existe pas de crue supérieure à toutes les autres. Toutefois, la crue de 1978 reste la plus forte connue sur une proportion importante du bassin versant et est restée en mémoire des riverains, comme une crue majeure. De plus, c'est la seule crue pour laquelle il existe une empreinte sur l'ensemble du linéaire de l'Arc (avec seulement 3 marques de PHE (Plus Hautes Eaux)).

Le modèle hydraulique réalisé dans le cadre des études hydrauliques du porté à connaissance a donc été calé sur la crue de 1978 pour le lit majeur.

La crue de 2008 a également été retenue comme crue de calage du lit mineur, puisque c'est une crue limite-débordante.

1.8.2 Les crues caractéristiques

a) La pluie de référence

La présente étude hydraulique reprend les hypothèses hydrologiques et hydrauliques validées par l'Etat.

Dans l'échelle d'occurrence introduite par le cadre de la Directive Inondation, la crue « moyenne » correspond à la crue de référence, définie comme étant « *la plus forte crue connue, ou si cette crue est plus faible qu'une crue centennale, cette dernière* ».

L'étude hydraulique réalisée dans le cadre de l'identification des Territoires à Risques Importants (Safège 2016) a conclu qu'aucune crue historique d'ampleur et généralisée ne pouvait servir de base à la définition de l'évènement de référence.

De plus, l'étude réalisée par le bureau d'étude GINGER en 2010 pour le compte du Syndicat d'Aménagement du Bassin de l'Arc (SABA) (« Etude de mise en cohérence des études hydrologiques et hydrauliques sur le bassin versant de l'Arc ») s'est intéressée à définir, via l'application d'une modélisation pluie-débit détaillée, la réaction du bassin versant de l'Arc à une pluie du type de celle qui s'est abattue en juin 2010 sur le Var. Effectivement, d'après Météo France cet événement, d'une intensité remarquable, aurait pu se produire n'importe où autour de la Méditerranée et « *il est donc possible d'imaginer un tel événement sur le bassin de l'Arc, soit seulement 60 km à l'ouest de l'épicentre de la pluie du 15 juin 2010* » (extrait du SAGE de l'Arc). Les résultats ayant montré que les débits résultants étaient très proches des débits centennaux affichés dans le SAGE de l'Arc, il a été décidé de les retenir pour définir l'évènement de référence.

L'étude de 2016 a donc défini la crue de référence (QREF) comme la réaction du cours d'eau principal de l'Arc à l'application de la pluie du Var de juin 2010. L'étude a modélisé 4 scénarii en fonction de la localisation de l'épicentre de l'événement de juin 2010 et ainsi déterminé l'événement maximisant par tronçon. La cartographie suivante représente les scénarii retenus en fonction du tronçon.

Le projet se situe sur la partie centrale du bassin versant, c'est donc le scénario 1 qui est appliqué. Le scénario 1 correspond à l'épicentre de la pluie situé sur la partie amont du bassin versant.

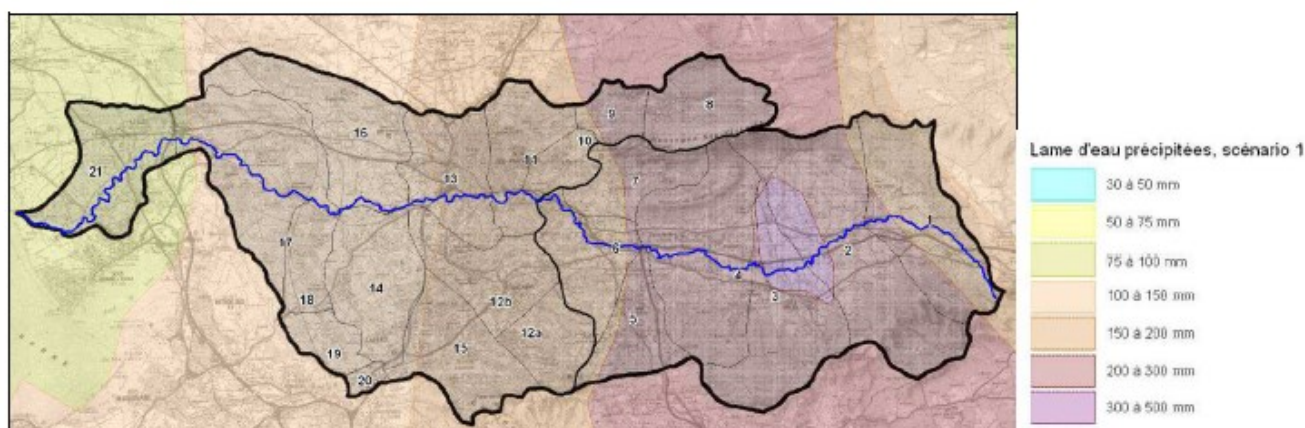


Figure 1-7 : Lame d'eau précipitée correspondant au scénario 1 (Safège 2016)

b) Les débits de référence

L'analyse précédente a conduit à définir les débits de référence. Ils sont résumés sur le graphique présenté ci-après. Les débits des crues de calage utilisés dans le cadre de l'étude sont également reportés par des points rouges pour la crue de 2008 et des points bleus pour la crue de 1978.

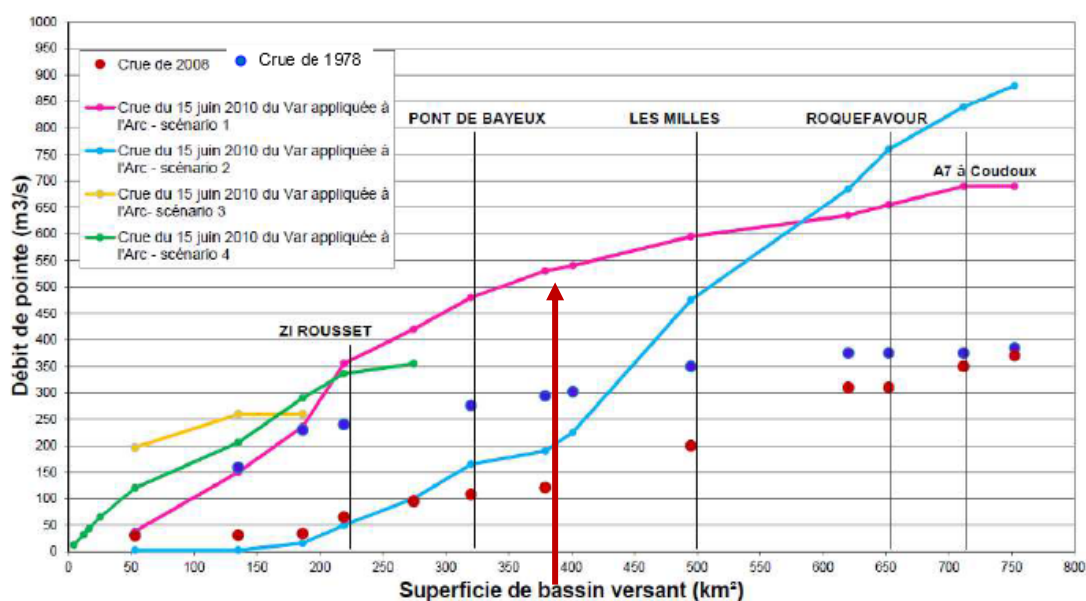


Figure 1-8 : Débit de pointe des 4 scénarii modélisés pour la crue du 15 juin 2010 et crues de calage (Safège 2016)

En première approche, en aval de la confluence de l’Arc avec la Torse, soit en amont de la zone du projet, le **bassin versant présente une superficie de 401 km². Le débit de pointe de la crue de référence est donc de 540 m³/s.**

En l’absence d’écrêtement, le débit de la crue de période de retour 10 ans est calculé par une modélisation en régime permanent. Le débit de pointe à la Pioline est de 197 m³/s.

Le débit de la crue exceptionnelle s’élève à 970 m³/s.

Localisation du point de calcul	Superficie km²	Q10 m3/s	Debit de référence retenu m3/s	Q30 m3/s	Debit exceptionnel retenu m3/s
L’Arc à Pourrières	53	45	120	86	240
L’Arc au niveau du franchissement de la D12	135	92	206	175	410
L’Arc à Trets, en aval de la confluence avec le Grenouillet	186	117	290	221	580
L’Arc à Rousset, en amont de la confluence avec le vallat de Favary	219	131	355	248	710
L’Arc en aval de la confluence avec le Grand Vallat de Fuveau	274	153	420	289	810
L’Arc au pont de Bayeux	320	170	480	320	930
L’Arc au Tholonet en aval de la confluence avec la Cause	379	190	530	353	950
L’Arc en aval de la confluence avec la Torse	401	197	540	364	970
L’Arc à la Pioline, en aval de la confluence avec la Luynes	495	224	595	406	1060
L’Arc à la jonction Saint Pons	620	253	685	445	1350
L’Arc à l’aqueduc de Roquefavour	652	260	760	453	1510
L’Arc à Coudoux, en amont du pont de l’autoroute A7	712	287	840	482	1660
L’Arc à son exutoire (avant la séparation de l’écoulement dans le delta)	752	305	880	500	1710

Figure 1-9 : Synthèse des débits de pointe de la crue de référence retenus pour le TRI (Territoire à Risque Important) de l’Arc (Safège, 2016)

Pour la crue de référence, il est possible de calculer le débit pseudo-spécifique, débit caractéristique du bassin versant, rapporté à l’unité de superficie du bassin versant selon la formule suivante :

$$Q_{\text{pseudo}} = Q / (S_{\text{bv}}^{0.8})$$

Sur la base des données du tableau précédent, le débit pseudo-spécifique moyen est de 4,46 m³/km^{1.6}.

c) Les hydrogrammes

L'étude donne les hydrogrammes de 2008 au droit de chaque sous bassin versant. La cartographie suivante représente le découpage en sous-bassin versant, réalisé dans l'étude hydrologique de l'Arc (GINGER 2010) avec les points de calcul de débits (en rouge).

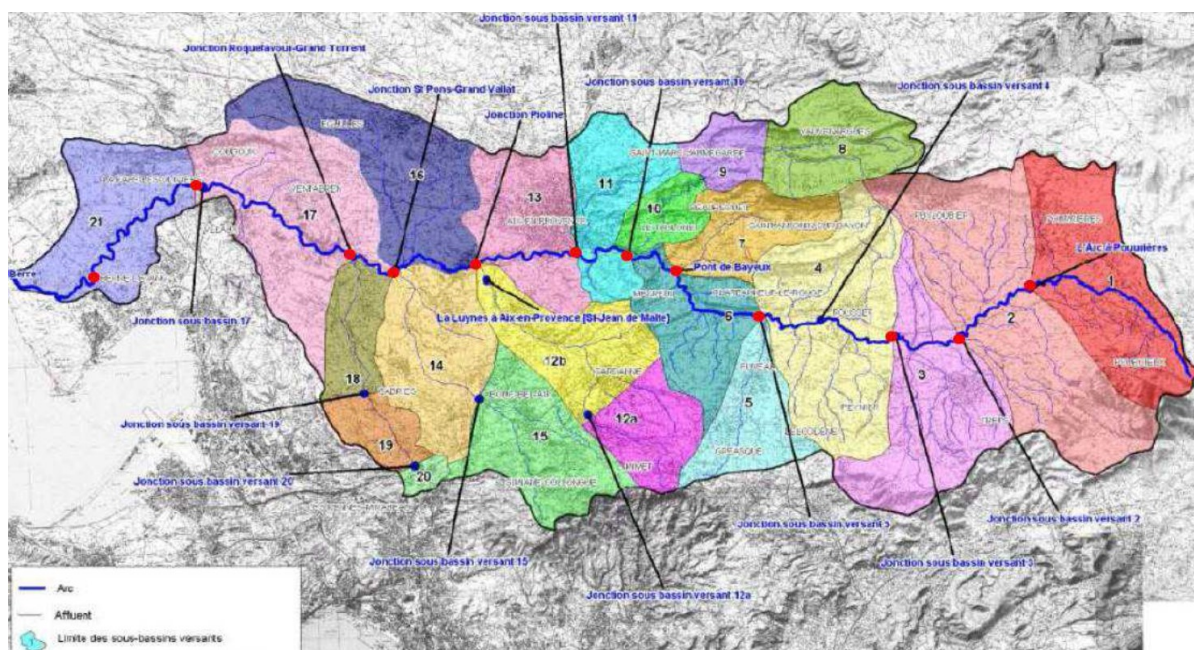


Figure 1-10 : Localisation des points de calcul (Safège 2016)

Les illustrations suivantes représentent les hydrogrammes de la crue de 2008 injectés dans le modèle.

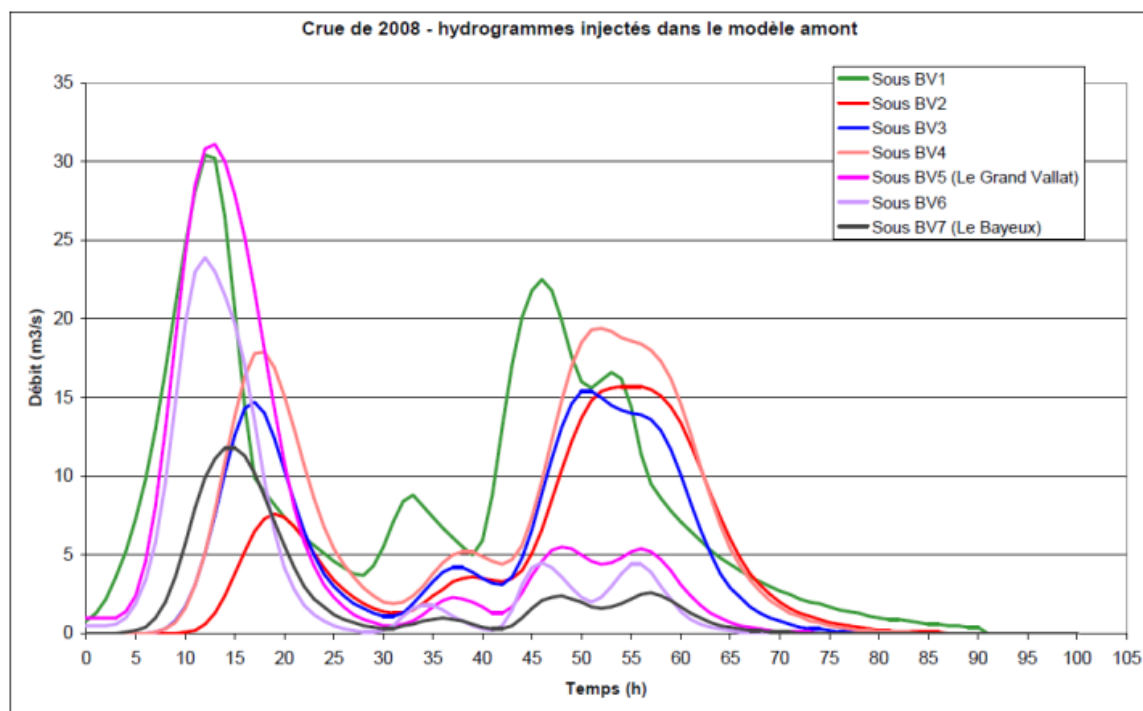


Figure 1-11 : Hydrogrammes de la crue de 2008 injectés dans le modèle amont (Safège 2016)

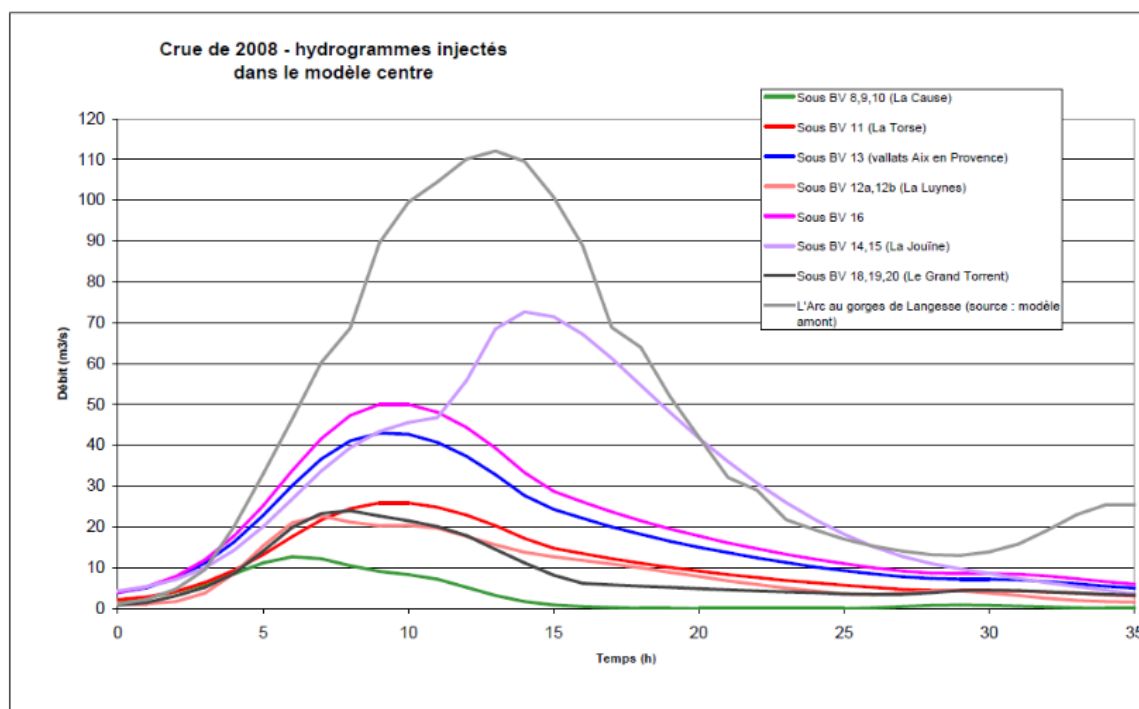


Figure 1-12 : Hydrogrammes de la crue de 2008 injectés dans le modèle centre (Safège 2016)

L'analyse de l'hydrogramme de l'Arc au Gorge de Langesse (en amont de la présente zone d'étude) montre un hydrogramme avec un temps de base de l'ordre de 20h avec un pic vers 13h.

L'hydrogramme d'entrée du modèle correspondra notamment au cumul des hydrogrammes de l'Arc et de la Torse (éléments complémentaires fournis par la DDTM 13 / Safège).

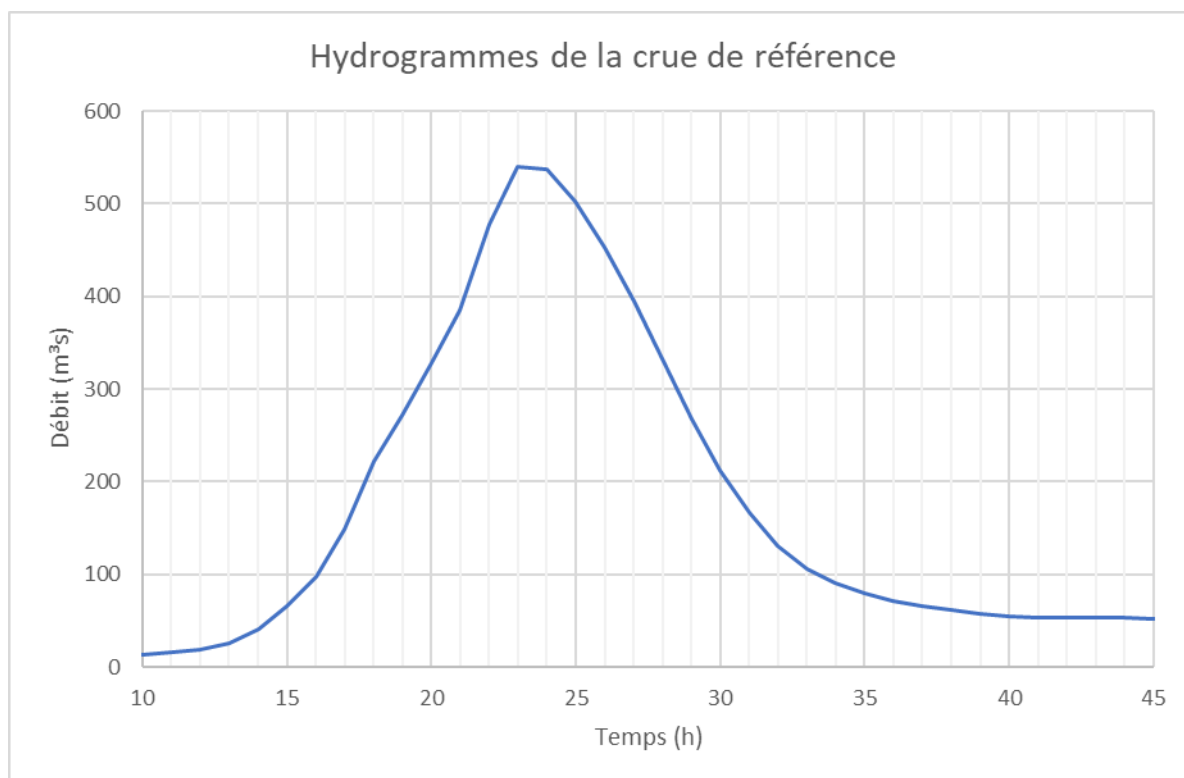


Figure 1-13 : Hydrogramme de la crue de référence

1.9 CARTOGRAPHIE DU RISQUE INONDATION (SOURCE ETUDE SAFEGE 2016)

Le projet prévoit la démolition partielle et la reconstruction de l'ouvrage sur l'Arc au Sud de la commune d'Aix en Provence, secteur Pont de l'Arc, en aval du parking Krypton. Dans ce secteur, le risque inondation est important avec des débordements principalement en rive gauche, où se trouve un quartier résidentiel en amont de l'ouvrage concerné (données extraites du Plan Local d'Urbanisme (PLU) d'Aix en Provence).

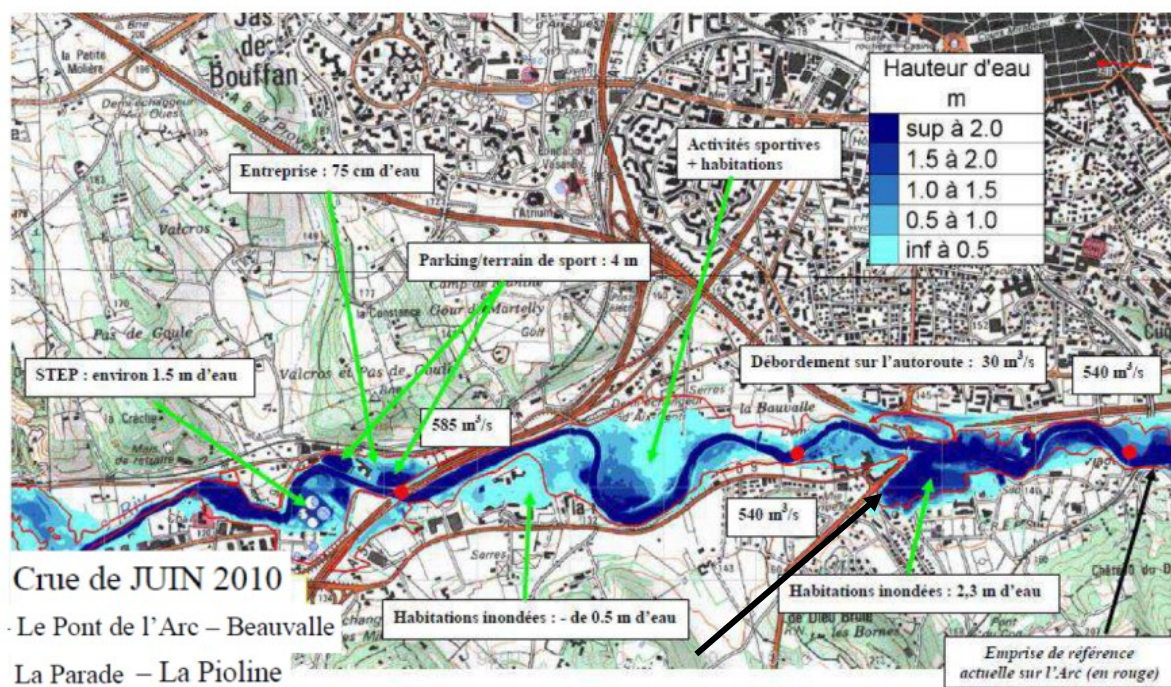


Figure 1-14 : vue de l'ouvrage existant – Source : google earth

Le rapport hydraulique (Safège 2016) présente les zones inondables et le fonctionnement hydraulique sur le secteur d'étude.

En amont immédiat de l'ouvrage de franchissement, le parc d'accrobranche ainsi que le quartier résidentiel en rive gauche, sont directement impactés par les inondations. Les niveaux d'eau sont particulièrement importants avec notamment sur le quartier résidentiel des hauteurs pouvant atteindre jusqu'à 2.3m. En effet la route départementale D8N est en remblai et bloque les écoulements, en créant ainsi une zone de stockage amont. En rive droite, des débordements inondent l'autoroute avec un débit de l'ordre de $30\text{m}^3/\text{s}$. Le débit en amont et en aval de l'ouvrage est de $540\text{m}^3/\text{s}$ dans le lit mineur. Au droit de l'ouvrage il est donc de l'ordre de $510\text{m}^3/\text{s}$.

La cartographie suivante synthétise les débits et hauteurs d'eau sur le secteur Pont de l'Arc, Beauville, La Parade, La Pioline.



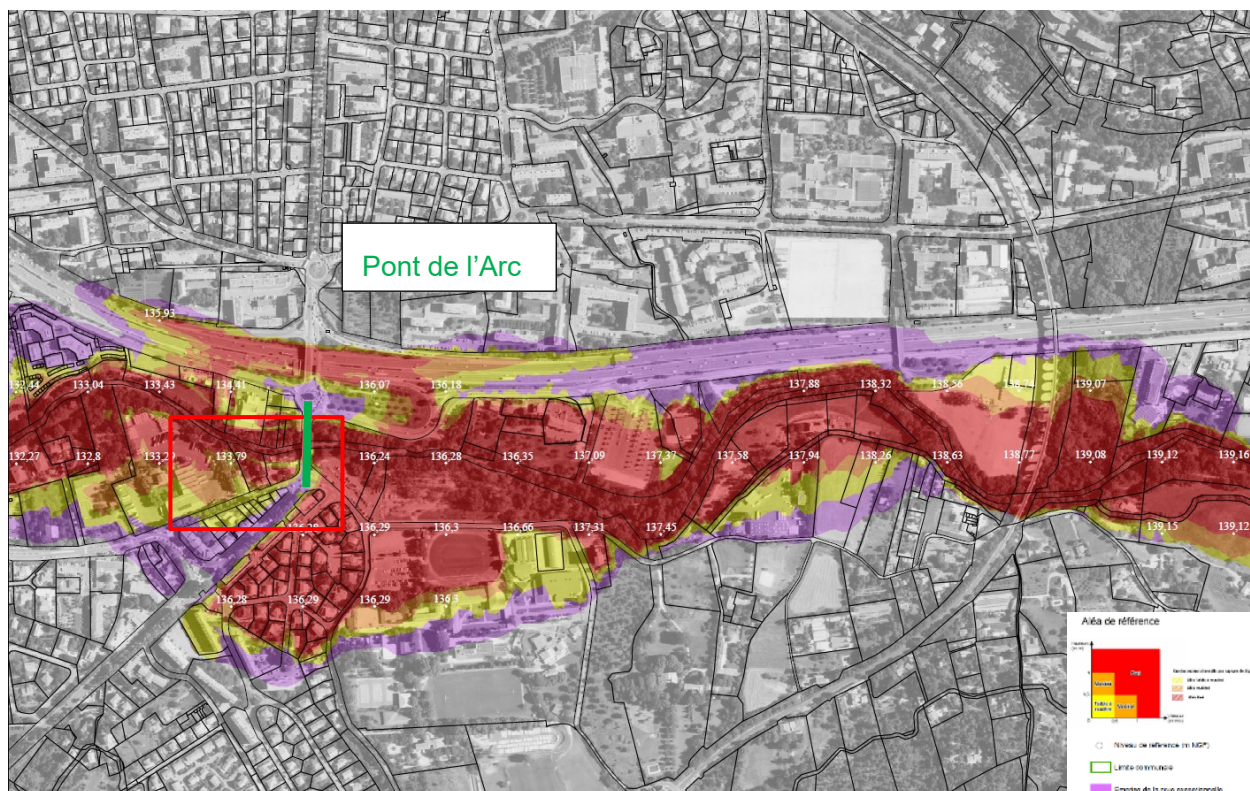


Figure 1-17 : Aléa de la crue de référence – commune d'Aix en Provence (Encart n°10 - étude Safège 2016)

La cote d'eau, dans le lit majeur environ 80m en amont de l'ouvrage, est d'environ 136,24 mNGF. Les cotes au niveau du quartier résidentiel en rive gauche sont légèrement plus importantes et atteignent 136.29 mNGF.

A une centaine de mètres en aval du projet, la cote d'eau dans le lit majeur est de 133,79 mNGF en rive gauche et de 134.41mNGF en rive droite.

La cote de la crue de référence au droit de l'ouvrage est de 135.5 mNGF.

L'ouvrage actuel, présente une cote de voirie de l'ordre de 137 mNGF avec une épaisseur de tablier relativement importante d'environ 1.80 m selon les levés topographiques. La cote de sous-poutre de l'ordre de 135.16 mNGF. Le pont serait donc en charge dans l'état actuel pour la crue de référence.

2 MODÉLISATION HYDRAULIQUE

2.1 LOGICIEL

Le modèle numérique des écoulements a été élaboré à partir des levés topographiques mis à disposition avec le logiciel dédié à l'hydraulique fluviale et urbaine HYDRA.



Hydra est une plateforme de modélisation hydrologique et hydraulique permettant de faire appel dans un même modèle aux fonctionnalités propres aux réseaux d'assainissement, aux systèmes fluviaux et maritimes afin de répondre

aux problématiques complexes d'interconnexion des réseaux de collecte des eaux pluviales et des débordements de surface dans la gestion des inondations des grandes métropoles,

Cette plateforme permet de piloter un moteur de calcul robuste et performant, fruit de 30 ans de développements et d'exploitation, capable de traiter l'ensemble des domaines suivants ainsi que leurs interactions : hydrologie, propagations de crue dans les réseaux d'assainissement, les cours d'eau et les plaines inondables, interactions entre les débordements de cours d'eau, les débordements de réseaux d'assainissement et les écoulements de surface dans les zones urbaines, submersions marines, phénomènes transitoires rapides et leurs conséquences, modélisation courantologique, transport solide, optimisation de gestion des ouvrages et des grands systèmes hydrologiques et hydrauliques...

2.2 DONNEES SOURCES

Les données topographiques suivantes sont utilisées pour la construction du modèle hydraulique :

- Des profils en travers (2022) et des levés d'ouvrage (2021) de franchissement de l'Arc
- Un lever LIDAR 2014 au pas de 1 m.

La figure ci-après présente la topographie en situation actuelle aux abords de la traversée de l'Arc par le projet routier (issue du LIDAR) :

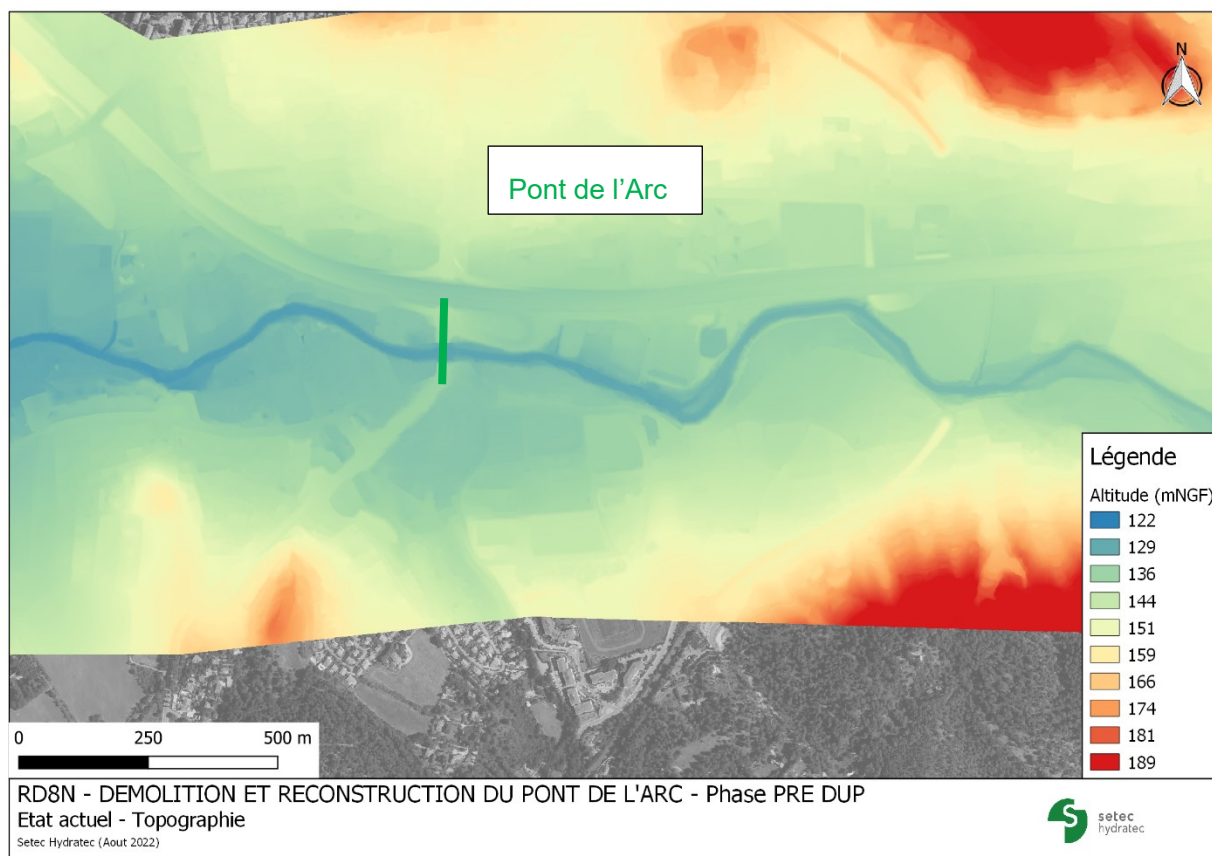


Figure 2-1 : Topographie en situation actuelle

2.3 ARCHITECTURE DU MODÈLE HYDRAULIQUE

L'Arc est modélisé sur une distance de 3.5 km, entre le lycée polyvalent Emile Zola et le club hippique Aix Marseille.

Le lit mineur du cours d'eau est modélisé par un bief filaire 1D décrit par une trentaine de profils en travers.

Le lit majeur est modélisé par un maillage bi-dimensionnel. Les échanges entre les différents éléments surfaciques s'effectuent par des liaisons régies par diverses lois hydrauliques.

Les particularités topographiques du terrain (routes, talus, transparences hydrauliques, ...) ont été représentés le plus fidèlement possible, sur la base des éléments Lidar.

Les différents ouvrages de franchissement présent sur le secteur d'étude sont modélisés par des singularités hydrauliques placées dans le lit. Leurs principales caractéristiques sont les suivantes :

Ouvrage	Cote du radier (mNGF)	Cote de la sous-poutre (mNGF)	Largeur maximum (m)	Cote de débordement sur le tablier (mNGF)
Pont rue Frederic Rosa	125.63	133.20	50.43	135.7
Pont de l'Arc	127.13	135.16	11.23	136.95
Passerelle Krypton	128.04	136.30	55.50	137.45
Passerelle Piétonne	130.58	134.9	22.34	135.65

Un hydrogramme de crue est injecté en amont du modèle, dans le lit mineur.

La figure ci-après présente la structure du modèle hydraulique construit pour cette étude :

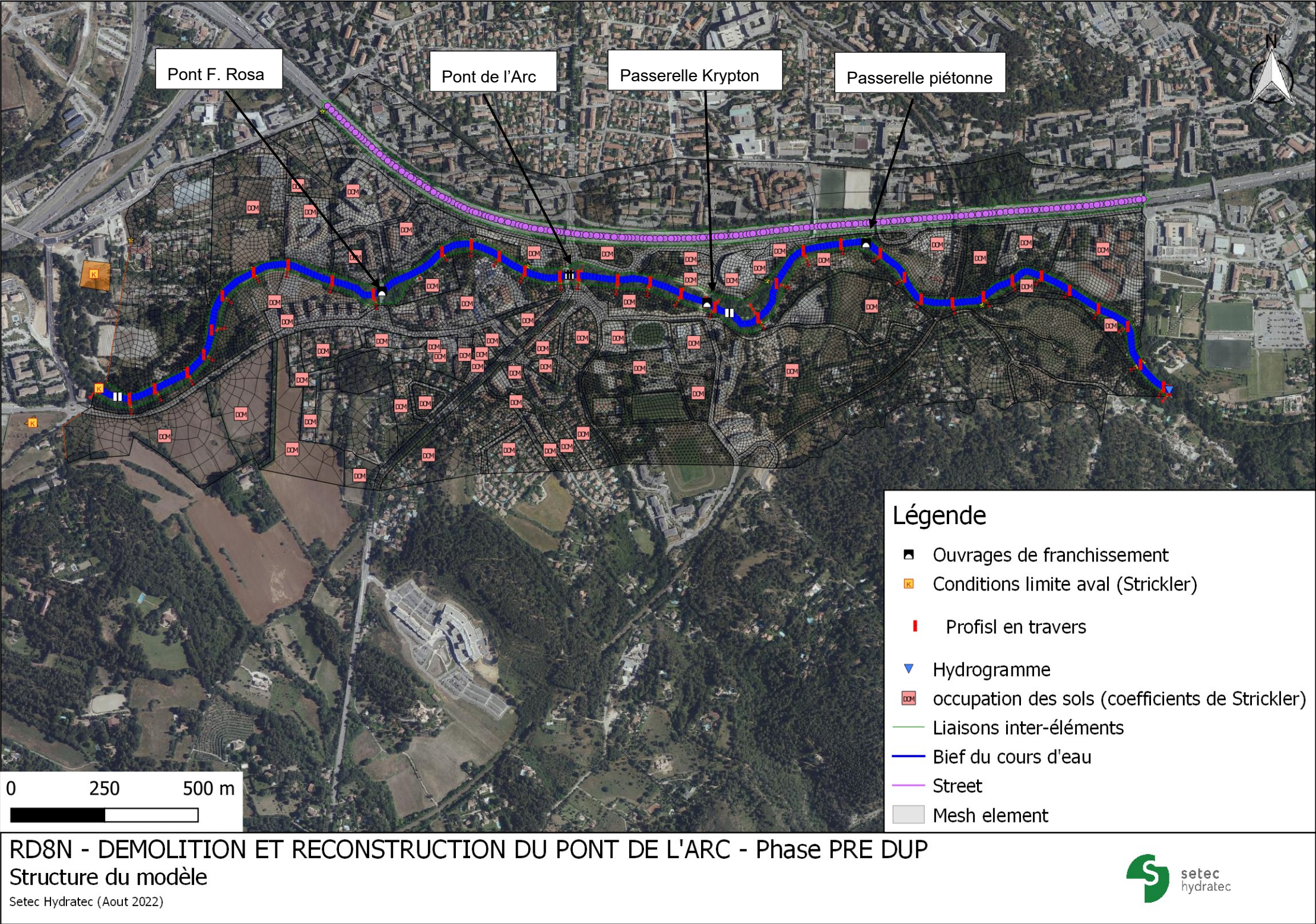


Figure 2-2 : Emprise du modèle hydraulique

2.4 CALAGE

2.4.1 Contexte

Le calage du modèle hydraulique s'est avéré compliqué, car malgré de nombreux tests il n'était pas possible de retrouver l'emprise et les niveaux d'eau de la crue de référence du PPRI avec ce modèle. La DDTM13 a donc invité le Conseil Général des Bouches-du-Rhône à mettre en relation les bureaux d'études hydratec et SUEZ ; ce dernier ayant réalisé la modélisation du PPRI.

Une réunion s'est déroulée le 08 mars 2023 en présence des 2 bureaux d'études afin de discuter des éléments de calage. Il a été décidé de :

- Reprendre la modélisation en diminuant le frottement dans le lit mineur,
- Prendre en compte la présence d'embâcles au niveau des ponts.

Suite à la réunion, SUEZ a transmis :

- La carte de l'occupation des sols du modèle PPRI
- L'hydrogramme injecté en amont du modèle,
- Les obstructions des ponts du modèle utilisé pour le PPRI.

2.4.2 Principe

Le modèle hydraulique est calé sur la crue de référence du PPRI. L'hydrogramme correspondant à la crue du PPRI a été injecté en amont du modèle et des ajustements sur les coefficients de Strickler ont été fait en accord avec la typologie du sol. Pour cela, les coefficients de Strickler des lits mineur et majeur ont été adaptés de façon à ce que le modèle représente au mieux les emprises inondées, les niveaux d'eau et les aléas indiqués sur les cartes du PPRI. Il a été vérifié que l'occupation des sols qui se traduit ensuite dans la modélisation hydraulique par le coefficient de Strickler est similaire entre les modèles du PPRI et hydratec :

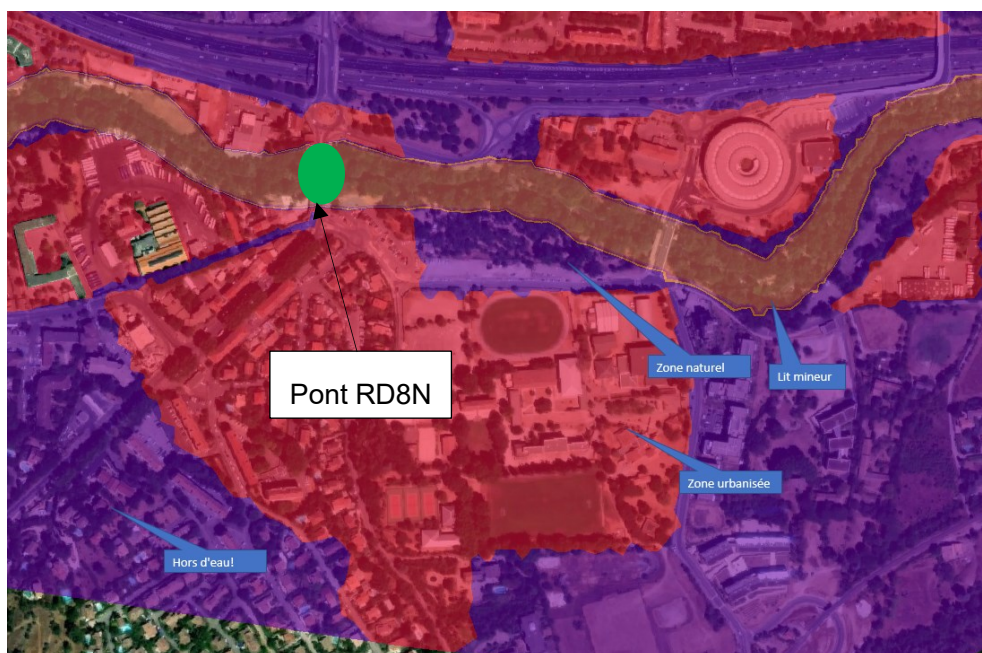


Figure 2-3 : Occupation des sols du modèle PPRI

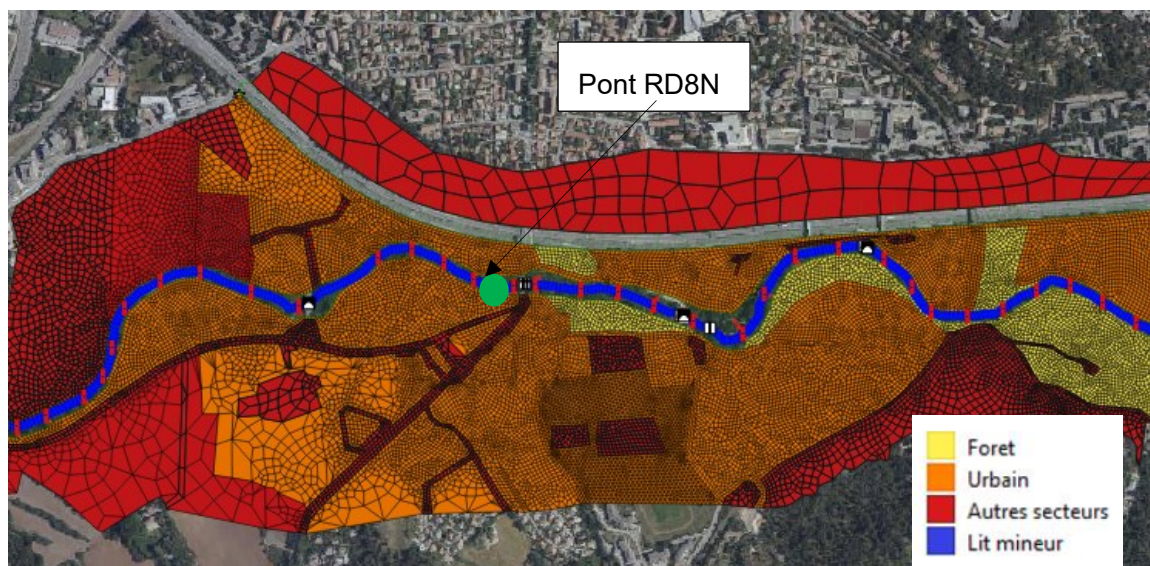


Figure 2-4 : Emprise des coefficients de Strickler (modélisation hydratec)

Par rapport à la modélisation effectuée précédemment, le coefficient dans le lit mineur a été fortement augmenté pour diminuer le frottement en lit mineur et par conséquent accroître les vitesses d'écoulement dans le lit mineur. Cela permet ainsi d'accroître les pertes de charge des ponts.

Les coefficients de Strickler suivant ont été retenus :

- Lit mineur : 40
- Lit majeur
 - o Forêts : 5
 - o Secteurs urbanisés (lotissements) : 5
 - o Autres secteurs : 8.

Dans les modélisations précédentes, un coefficient de Strickler de 18 était retenu et de 20 dans le modèle du PPRI. Il est toutefois très délicat de comparer les coefficients de Strickler des modèles couplés 1D/2D et 2D pur (modèle hydra = couplé 1D/2D, modèle PPRI = 2D pur) d'autant plus qu'ils sont exploités avec des codes de calcul différents.

Le bâti est représenté comme un obstacle à l'écoulement dans le modèle. Un coefficient de contraction est appliqué à la limite entre les mailles adjacentes et qui intersectent des bâtiments.

2.4.3 Résultats et discussion

Plusieurs scénarios ont été étudiés pour la crue de référence, le graphique suivant présente les lignes d'eau de trois lignes d'eau :

- Un coefficient de Strickler dans le lit mineur de 40.
- Un coefficient de Strickler dans le lit mineur de 40 et l'obstruction des ponts de 65% pour celui de la RD8N, de 50% pour celui de la Guiramande et de 25% pour le pont amont.
- Le niveau d'eau indiqué dans le PPRI (modélisation SUEZ).

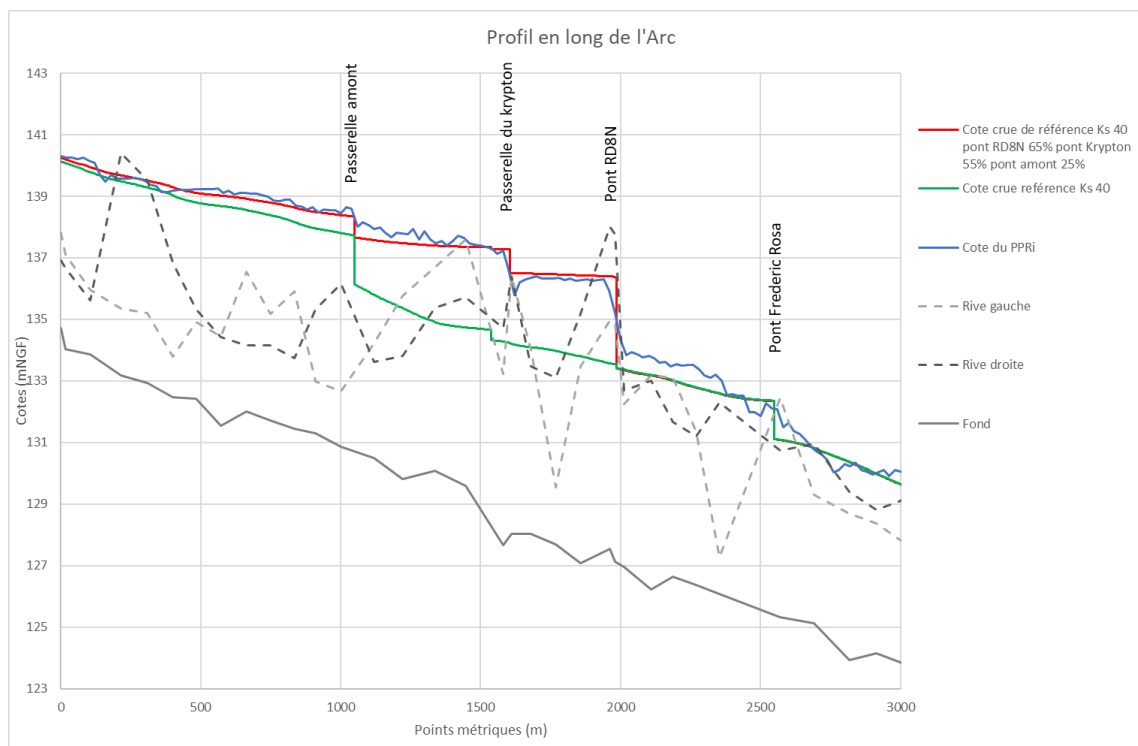


Figure 2-5 : profil en long

Le scénario avec le coefficient de Strickler à 40 et l'obstruction des ponts à 65%, 50% et 25% se cale au plus proche des lignes d'eau du PPRI. Les emprises inondées et les PHE en lit majeur sont similaires. La carte suivante présente les hauteurs d'eau et les vitesses de ce même scénario.

Ce scénario, retenu pour le calage avec obstruction des ponts, constitue l'état initial de la présente étude d'incidence hydraulique.

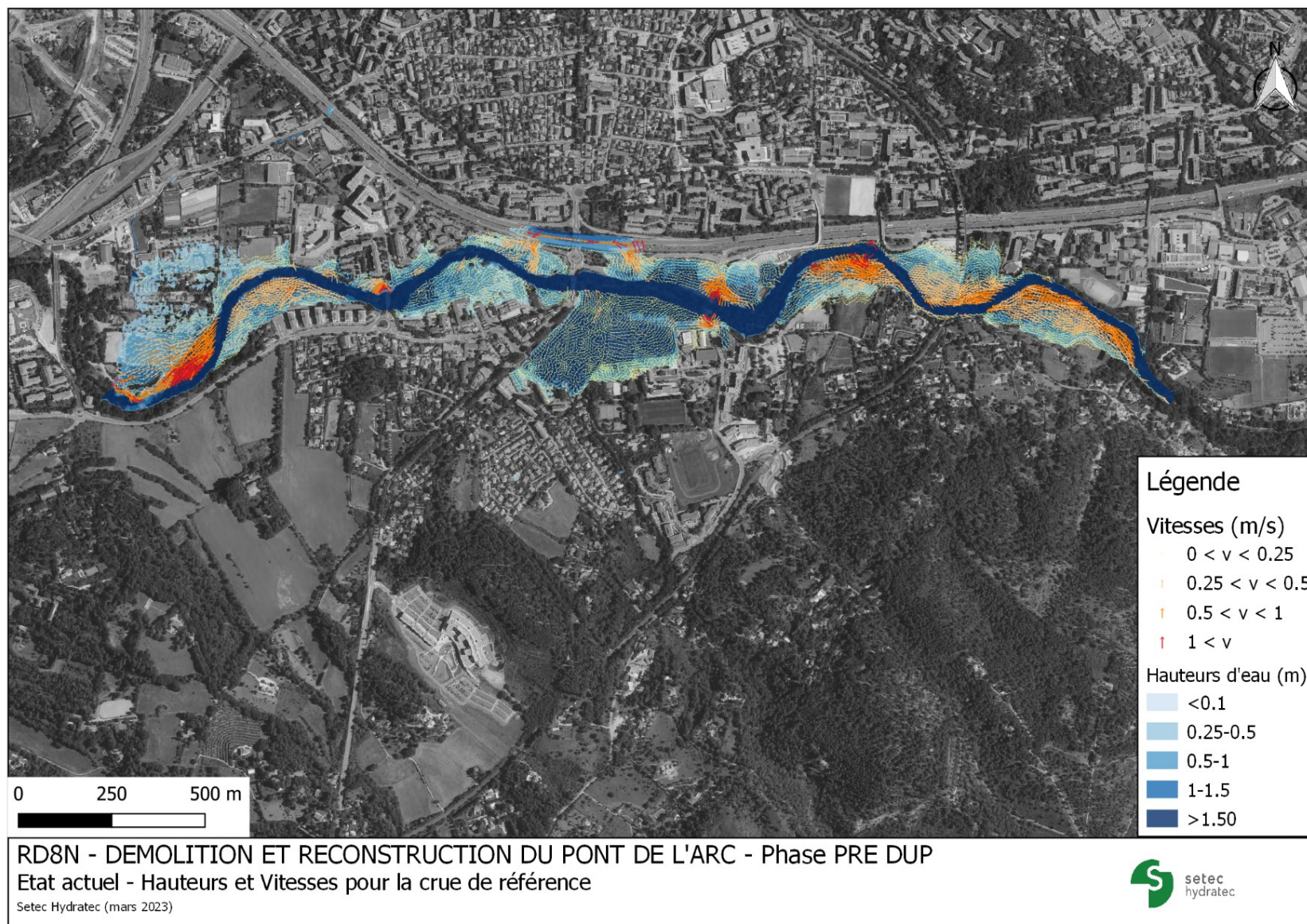


Figure 2-6 : Comparaison de la modélisation de la crue de référence avec le PPRI

Les emprises inondées et les hauteurs d'eau sont proches de celles indiquées dans le PPRI. Les différences de hauteurs d'eau du secteur d'étude sont présentées ci-dessous ($PHE_{hydratec} - PHE_{PPRI}$) :

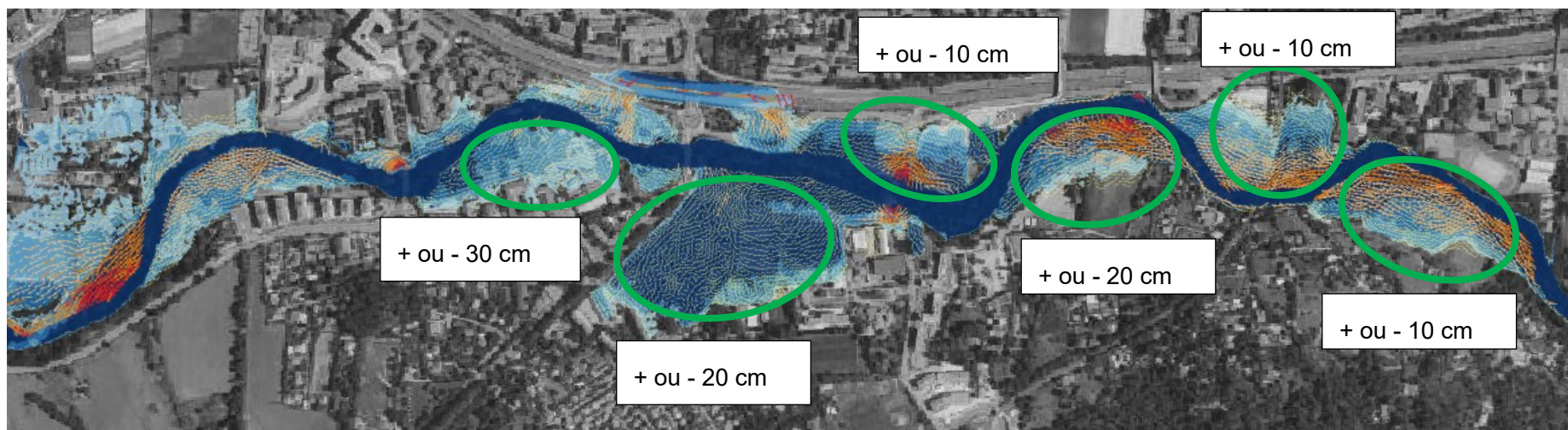


Figure 2-7 : Crue de référence – Obstruction pont + $K_s = 40$: Hauteurs d'eau et comparaison avec les cotes d'eau PPRI

2.4.4 Aléas

Les figures qui suivent présentes :

- La carte d'aléas extraite du PPRI,
- Deux cartes d'aléas correspondant au scénario de calage (avec obstruction des ponts)

Les cartes d'aléas du scénario de calage ont été effectuées selon deux grilles, la grille d'aléas PPRI de l'Arc et la grille d'aléas de la DDTM revue suite au décret de juillet 2019.

Une comparaison des données du PPRI et des résultats du calage a été effectuée. L'enveloppe d'aléa du calage est proche de celle du PPRI. Il y a cependant quelques zones où les aléas sont légèrement moins importants pour le scénario de calage établi. Ces zones sont présentées ci-dessous et sur la Figure 2-3:

- [1] Les aléas forts, moyens et faibles sont moins étendus sur le modèle de calage que dans le PPRI.
- [2] Les aléas sont moins forts sur l'autoroute au Nord.
- [3] La zone d'aléas forte s'étend moins sur le modèle de calage.

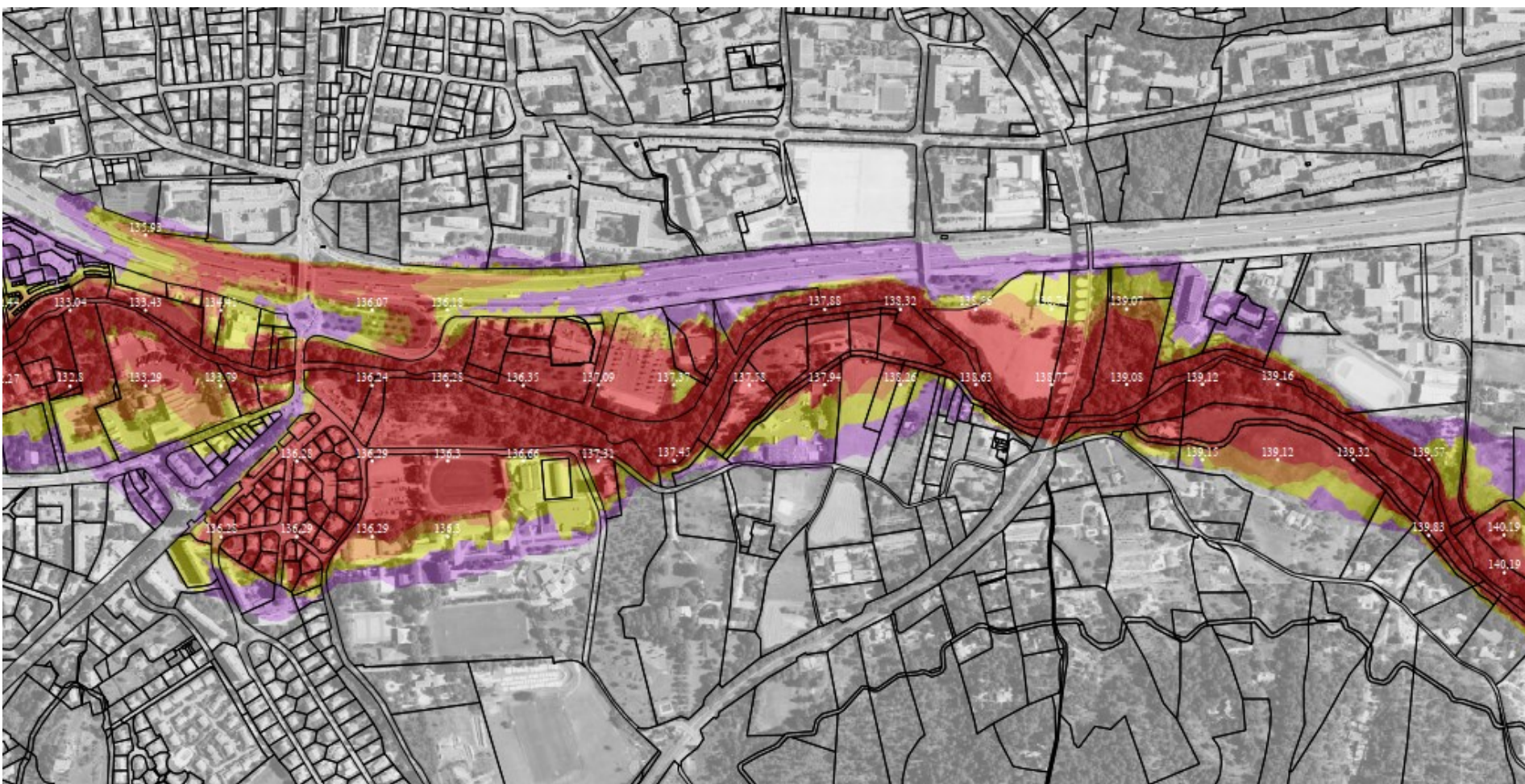


Figure 2-8 : Carte d'Aléas du PPRI

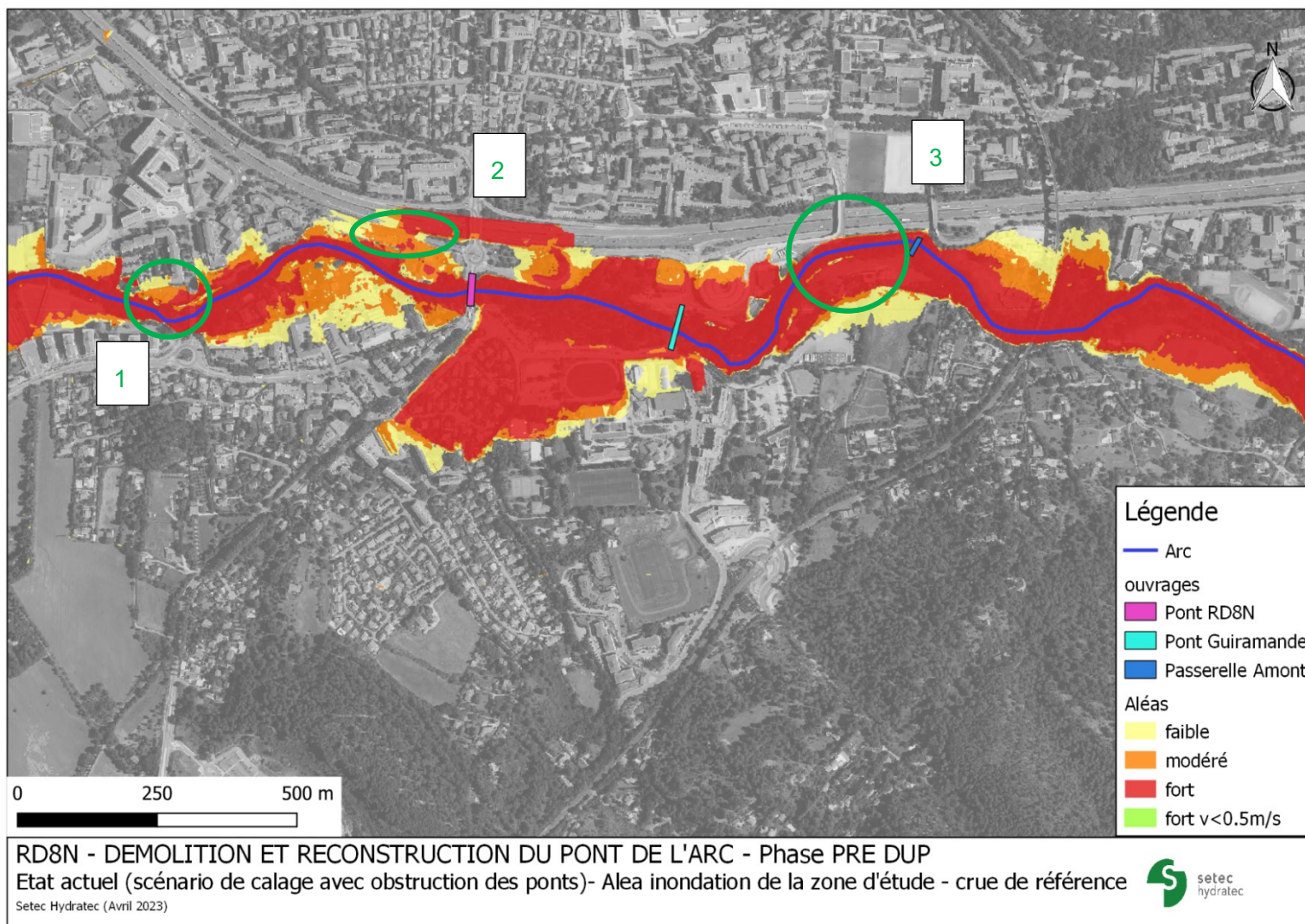


Figure 2-9 : Carte d'aléas de la situation de calage – grille d'aléas PPRI

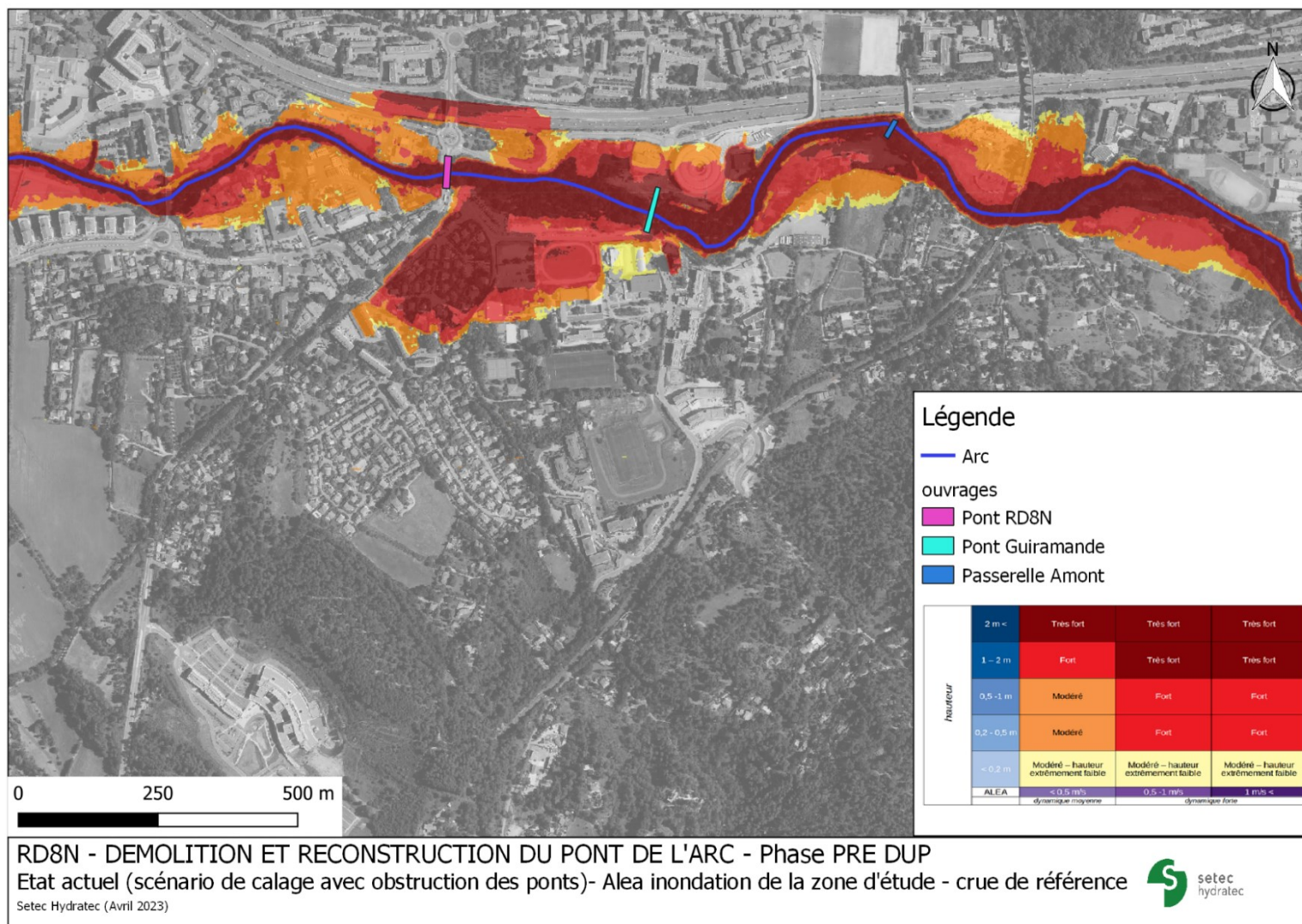


Figure 2-10 : Carte d'aléas de la situation de calage – grille d'aléas DDTM

2.5 FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DE L'ÉTAT ACTUEL

Il a été considéré, à la demande de la DDTM 13, que l'état actuel corresponde à la situation PPRI du calage. Les résultats de la situation initiale sont donc identiques aux données présentées dans le chapitre précédent, c'est-à-dire avec obstruction des ponts du secteur d'étude. Les résultats de l'état actuel sont tout de même détaillés dans ce chapitre.

Les cartes de zones inondées présentées ci-dessous montrent pour la crue de référence du PPRI, en situation actuelle, que l'Arc déborde en lit majeur à plusieurs reprises sur le linéaire d'étude. Ces débordements s'effectuent en amont et en aval du projet.

Les premiers débordements ont lieu à l'amont du pont de l'Arc, sur la partie méandrée. Il y a cinq points débordements, trois en rive gauche et deux en rive droite.

Les deux débordements les plus en amont, situés entre 1300 m et 1800 m du pont de l'Arc, inondent un terrain non urbanisé en rive gauche et un parking en rive droite. Le débordement en rive gauche suivant inonde une zone faiblement urbanisée mais des habitations sont tout de même sous les eaux avec des hauteurs d'eau pouvant atteindre 2.30 m. Les vitesses en lit majeur sont relativement élevées, avec des moyennes à 0.25 m/s et des pics à plus de 0.75 m/s.

En rive droite le parking du Krypton est quasiment totalement inondé. Au niveau du point de débordement les hauteurs atteignent 4 m. Les hauteurs d'eau atteignent 1.95 m sur le parking du Krypton. Puis les hauteurs d'eau augmentent dans la cuvette en aval où les hauteurs d'eau atteignent 3.95 m.

Les débordements dans le lit majeur en rive gauche au niveau de la passerelle inondent la zone en amont du pont de l'Arc. Le terrain de sport ainsi que les habitations situées en aval sont inondés atteignant la cote de 136.45 m NGF sur la quasi-totalité de la zone. C'est environ 20 cm au-dessus de la cote PPRI (136.28 m NGF). Au niveau du débordement les hauteurs sont de 2.85 m. Sur le terrain de sport les hauteurs d'eau sont de l'ordre 2.75 m et atteignent 3 m sur le lotissement. Les vitesses des écoulements en lit majeur restent faibles sur la zone à enjeux avec des vitesses inférieures à 0.4 m/s exceptées pour les vitesses au droit du débordement où ces dernières sont de l'ordre de 1 m/s.

En amont du pont de l'arc des débordements en rive droite génèrent des écoulements jusqu'à l'autoroute. L'autoroute est inondée au droit de l'avenue P. Brossolette, sur 380 m, avec des hauteurs d'eau de 1.15 m maximum et des vitesses d'écoulement pouvant atteindre 3 m/s. L'eau s'écoule ensuite en aval en lit majeur du cours d'eau sur une petite zone d'activité.

En aval immédiat du pont de l'Arc, il y a un débordement assez important sur les deux rives. En rive droite les débordements inondent la petite zone d'activité et viennent s'ajouter aux apports de l'autoroute.

En rive gauche c'est un dépôt de bus qui est principalement touché avec des hauteurs d'eau de l'ordre de 0.80 m et des vitesses de 0.15 m/s au maximum. Des habitations sont également inondées avec des hauteurs d'eau assez importantes atteignant 2.10 m, des vitesses, quant à elles, peu élevées de l'ordre 0.3 m/s.

Des débordements en amont du pont de la route Frédéric Rosa inondent la zone d'activité en rive droite. Les hauteurs d'eau atteignent pratiquement 1.70 m. Immédiatement en amont du pont, le niveau d'eau indiqué par le modèle est de 132.53 m NGF (contre 132,2 m NGF pour le PPRI).

En aval du pont, le lit mineur déborde sur ses deux rives. Les débordements en rive gauche s'écoulent principalement sur une partie non urbanisée.

En rive droite en revanche, les débordements sont très importants et inondent une grande partie urbanisée ainsi que le club hippique de Aix-Marseille. Les hauteurs d'eau atteignent 1.0 m sur la partie amont des écoulements et plus de 2.1 m sur la partie aval. Les vitesses

sont élevées à proximité du lit mineur. Un axe d'écoulement sur la partie urbanisée au nord du club hippique se dessine. Les vitesses atteignent 0.50 m/s sur ce secteur. Tout en aval le long du lit mineur, les vitesses atteignent plus de 1.6 m/s.

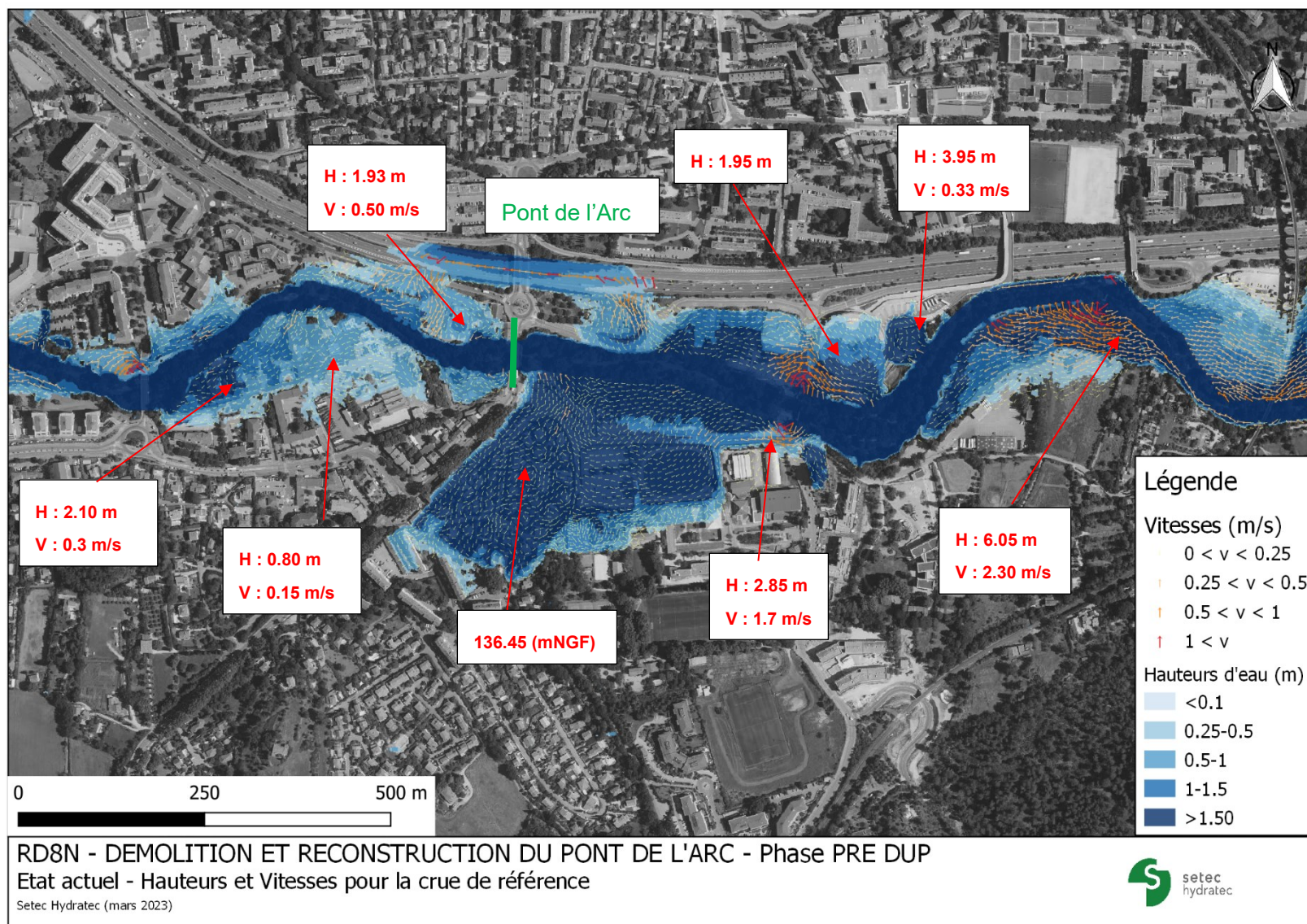


Figure 2-11 : Hauteurs et vitesses maximales pour la crue de référence – centré sur le pont de l'Arc

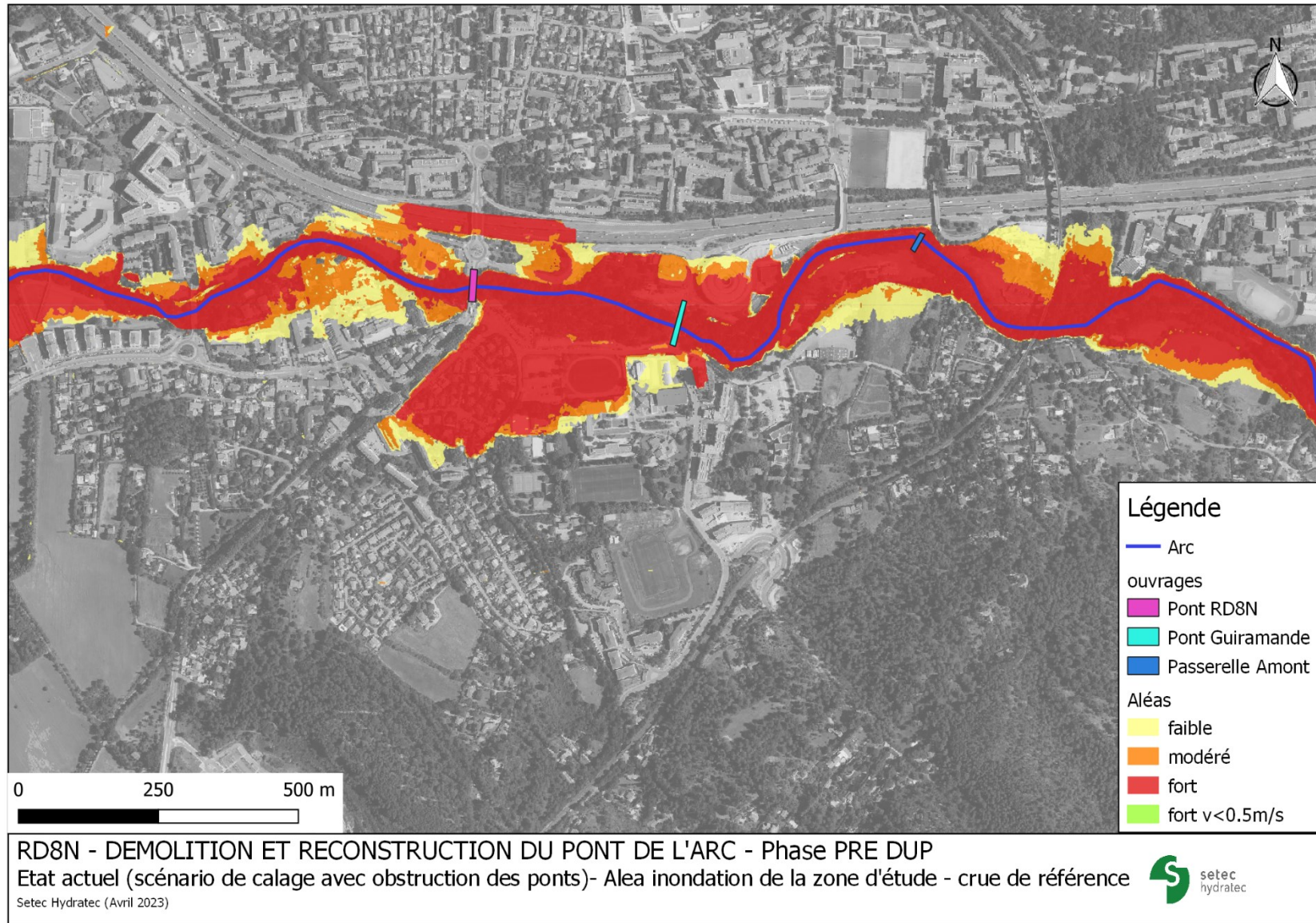


Figure 2-12 : Aléa inondation pour la crue de référence – grille d'aléas PPRI

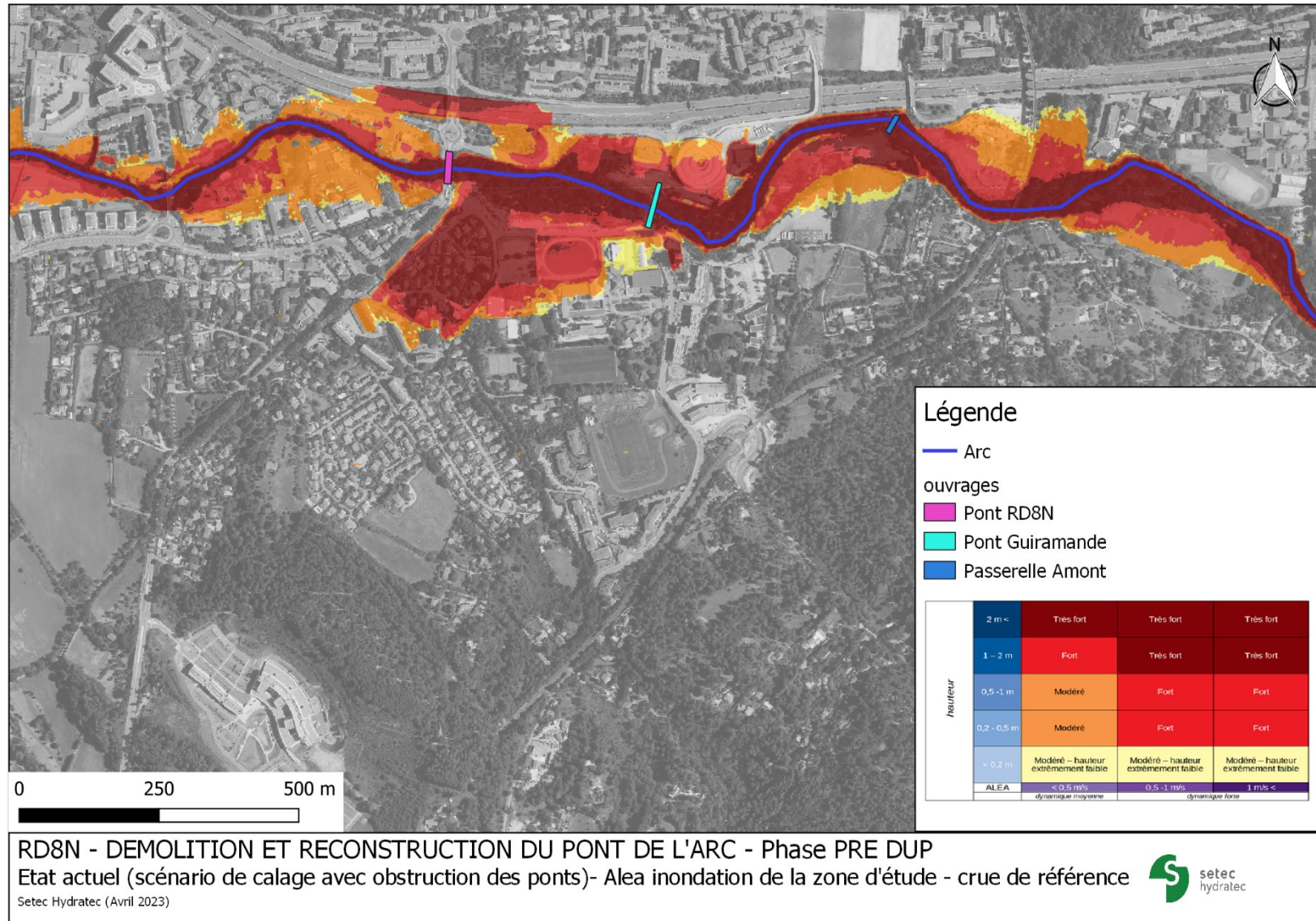


Figure 2-13 : Carte d'aléas de la situation initiale – grille d'aléas DDTM

2.6 FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DE L'ÉTAT PROJET

2.6.1 Présentation des ouvrages en état projet

Le projet consiste à démolir et reconstruire un ouvrage semblable à l'ouvrage existant. Cet ouvrage aura un tablier légèrement plus haut que dans l'état actuel. Le projet prévoit également une passerelle piétonne qui se trouve quelques mètres en amont de l'ouvrage d'art. Cette passerelle aura son tablier à la même cote que l'ouvrage actuel. Une canalisation d'eau usée qui se trouve actuellement sur l'ouvrage de franchissement de la RD8N passera sous la passerelle.

Dans la modélisation hydraulique cette passerelle est modélisée avec la canalisation située dessous car étant à la cote de l'ouvrage de l'état actuel c'est elle qui aura un rôle limitant et générera la mise en charge des ponts projetés.

Les dimensions du pont et de la passerelle piétonne sont présentées sur les plans suivants. L'obstruction créée par le nouvel ensemble (pont + passerelle) sur les écoulements est très similaire à celle de l'ouvrage existant. Cela résulte d'une volonté de modifier le moins possible la géométrie du pont routier et de la contrainte altimétrique de la conduite fixée à la passerelle qui impose une cote de mise en charge de l'ensemble des ouvrages.

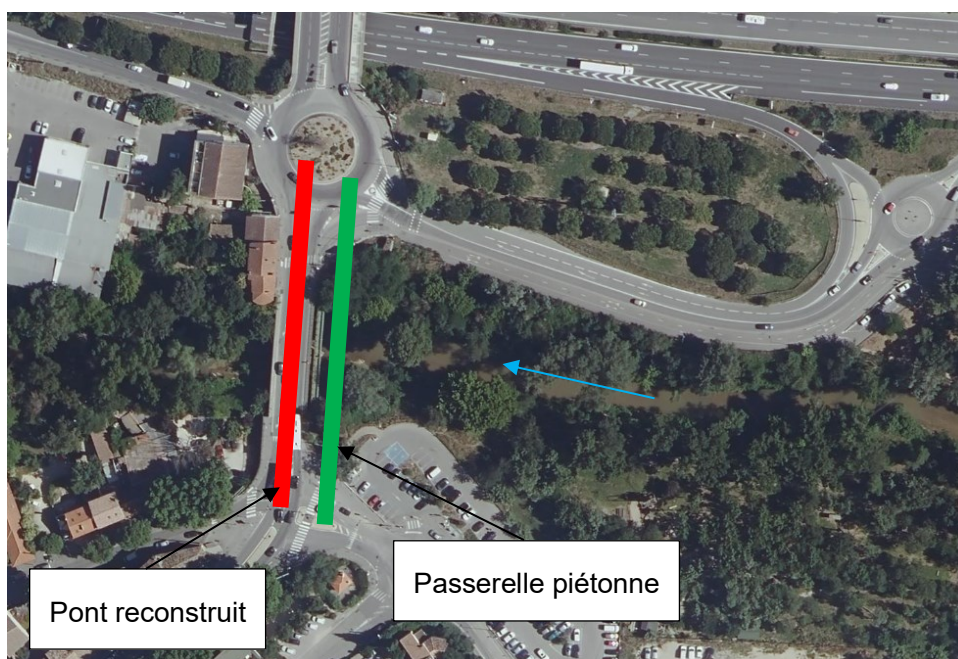


Figure 2-14 : Emplacement du pont et de la passerelle projetés

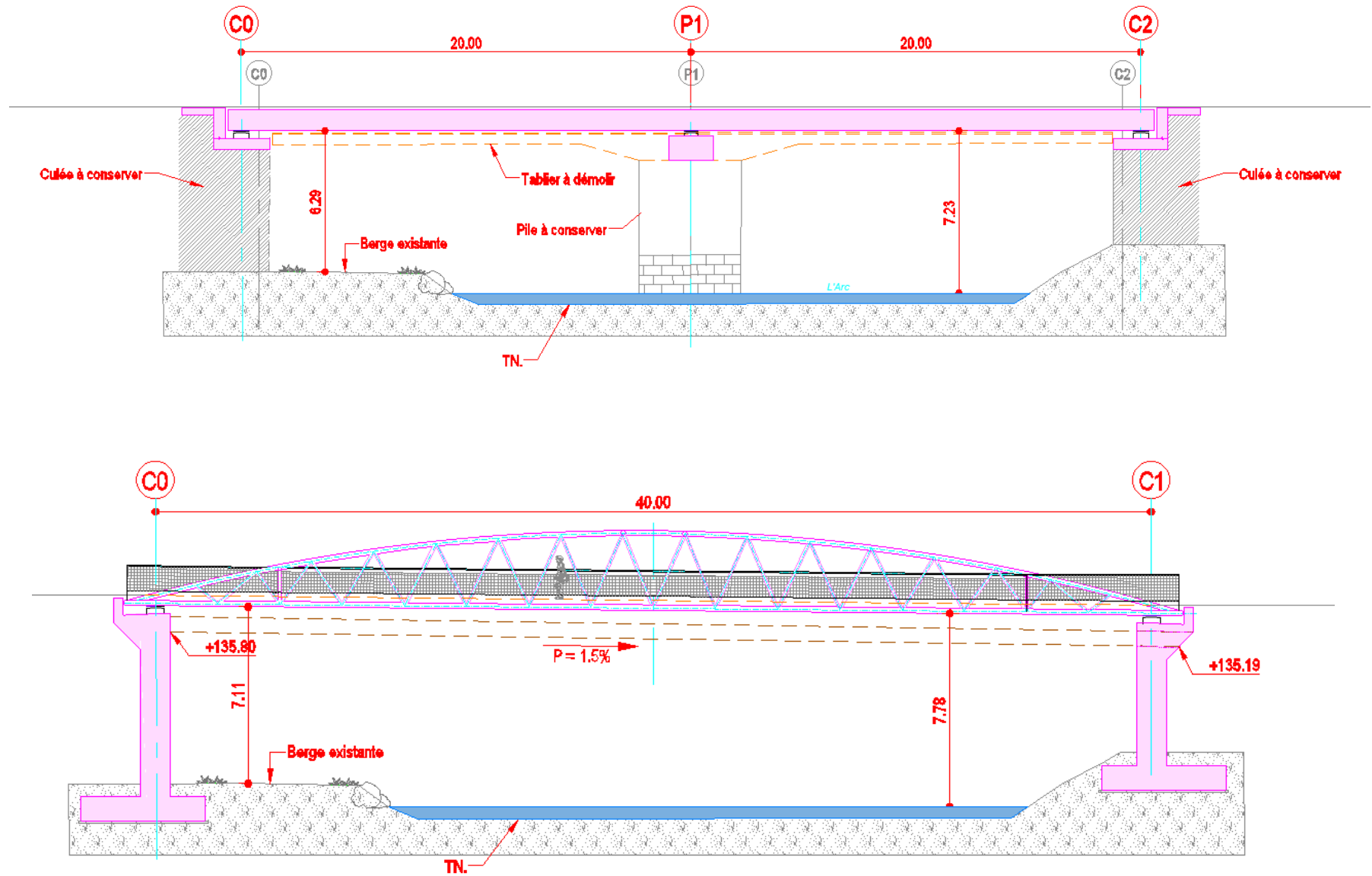


Figure 2-15 : Coupes longitudinales du pont et de la passerelle

2.6.2 Fonctionnement hydraulique

Il a été considéré, à la demande de la DDTM 13, que l'état projet garde les configurations de l'état actuel en intégrant les nouveaux ouvrages. C'est-à-dire d'appliquer la même obstruction sur les ouvrages qu'en situation initiale. Cela permet de comparer les résultats de la situation initiale avec ceux de la situation projet.

De façon analogue à l'état initial, la section des ouvrages de franchissement amont a donc été réduite de 50% pour la passerelle du Krypton et de 25% pour le pont en amont. L'ouvrage reconstruit ne présente pas de modification majeure de géométrie par rapport à l'actuel. Identiquement à l'obstruction considérée en état initial, il voit quant à lui sa section réduite de 65%.

Les cartes de zones inondées présentées ci-dessous montrent pour la crue de référence du PPRI, en situation projet, que l'Arc déborde en lit majeur aux mêmes points que pour la situation initiale. Le fonctionnement hydraulique général du secteur est inchangé par rapport à l'état initial. En effet, la perte de charge engendrée par le nouveau pont est quasiment identique à celle de l'existant. La cote de mise en charge est aussi inchangée à cause de la conduite fixée à la passerelle piétonne.

Afin de déterminer les impacts sur les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement entre la situation initiale et la situation projet, des comparaisons ont été effectuées. Aucun impact n'a été repéré sur les vitesses d'écoulement. Concernant les hauteurs d'eau, la carte ci-dessous présente un très léger impact. **Cet impact est de moins d'un centimètre** sur la totalité de la zone. Cela peut s'expliquer soit par une très faible augmentation de la ligne d'eau en amont des ponts. Cette valeur de 1 cm correspond aussi à l'incertitude du modèle sur les niveaux d'eau calculés.

Les cartes d'aléas sont identiques à l'état initial.

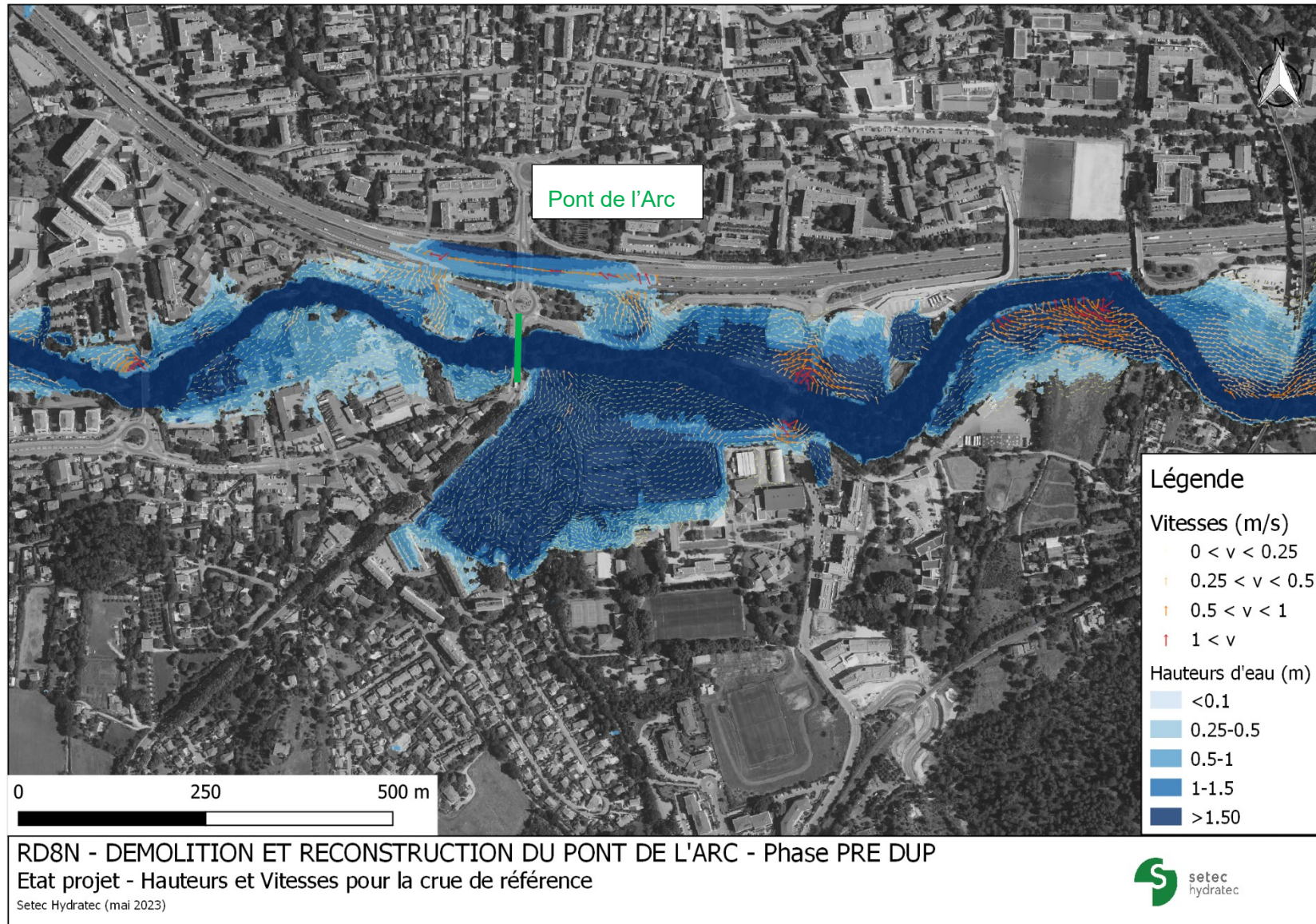


Figure 2-16 : Hauteurs et vitesses maximales pour la crue de référence – centré sur le pont de l'Arc

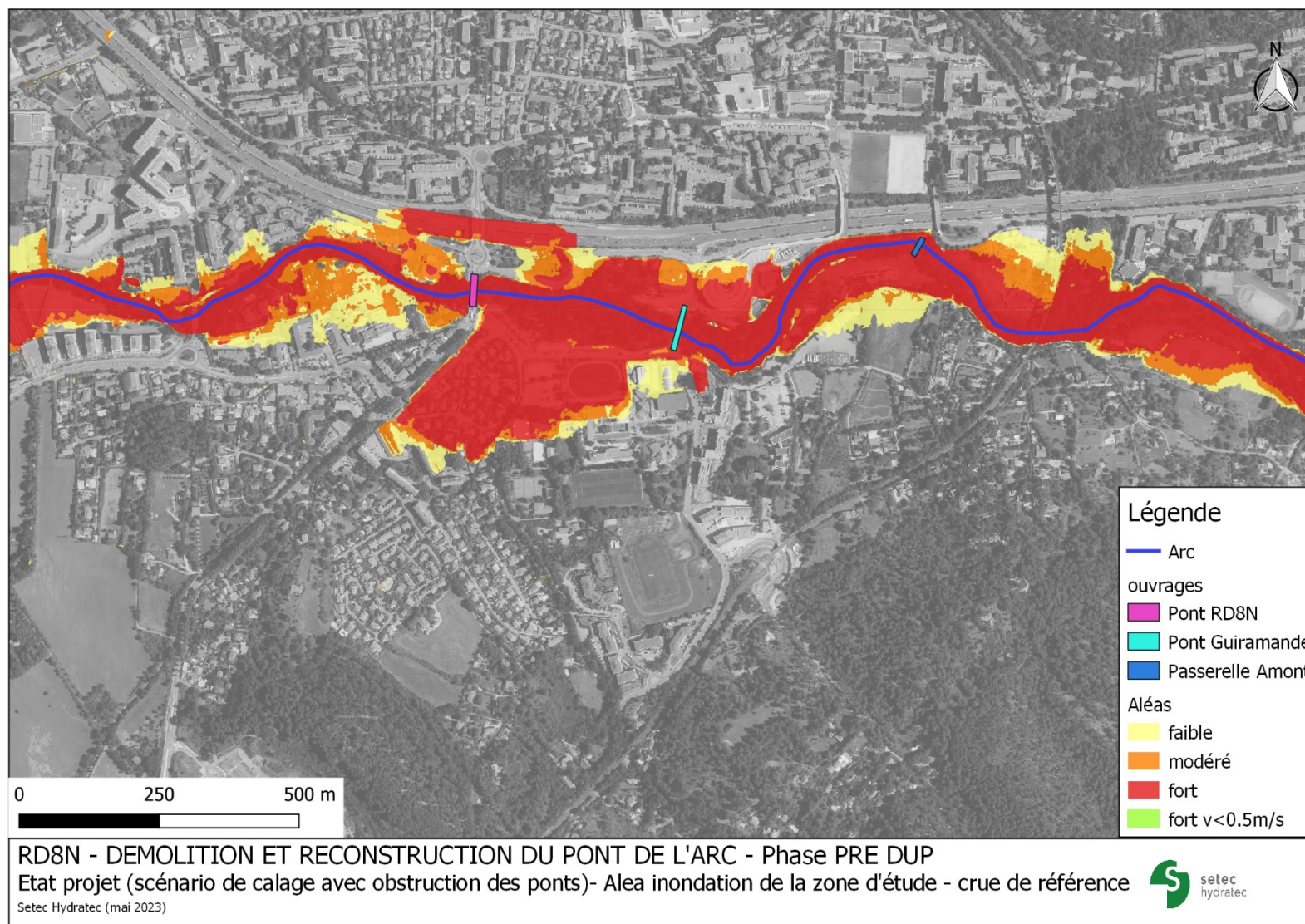


Figure 2-17 : Aléa inondation pour la crue de référence – grille d'aléas PPRI

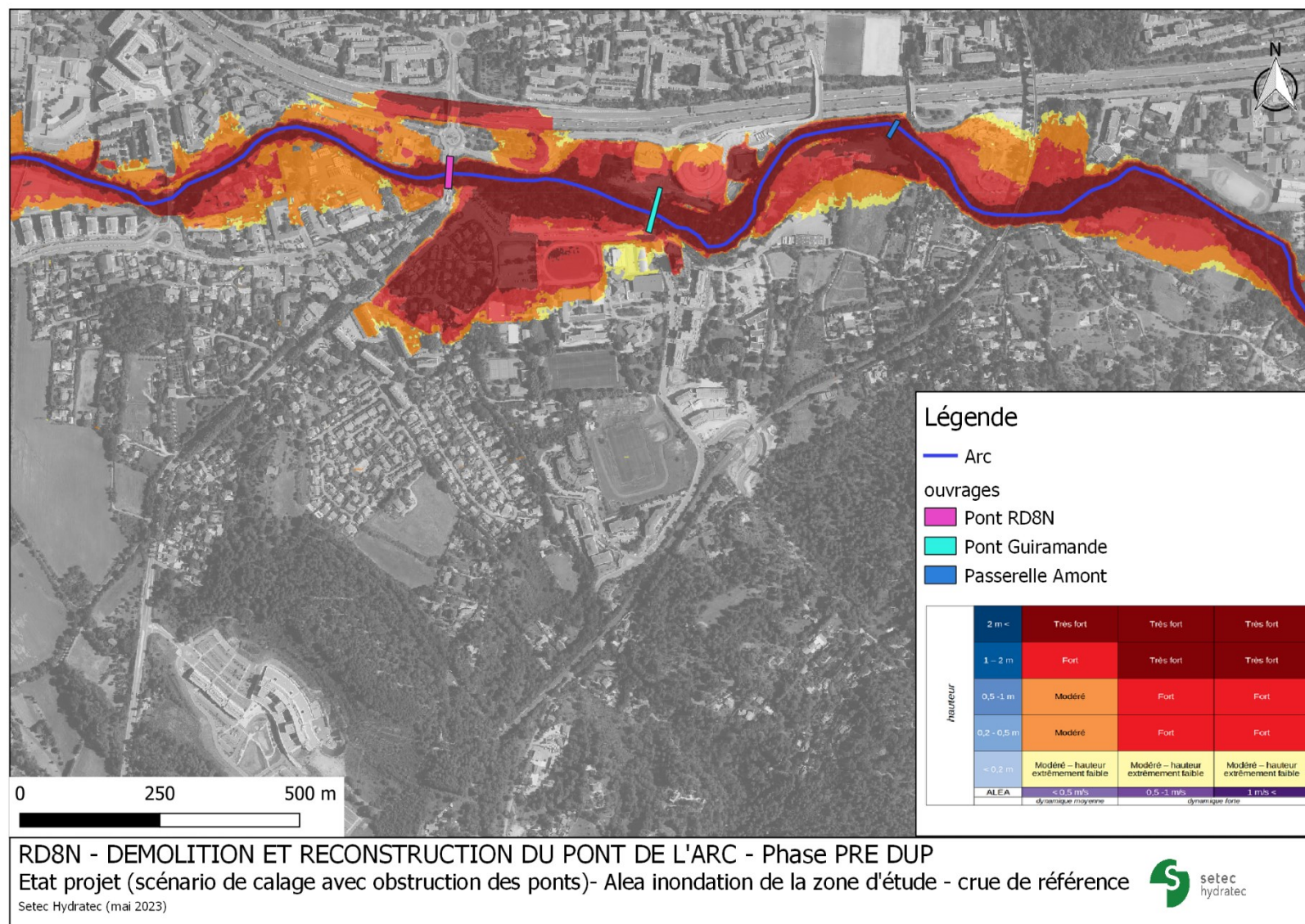


Figure 2-18 : Carte d'aléas de la situation projet – grille d'aléas DDTM

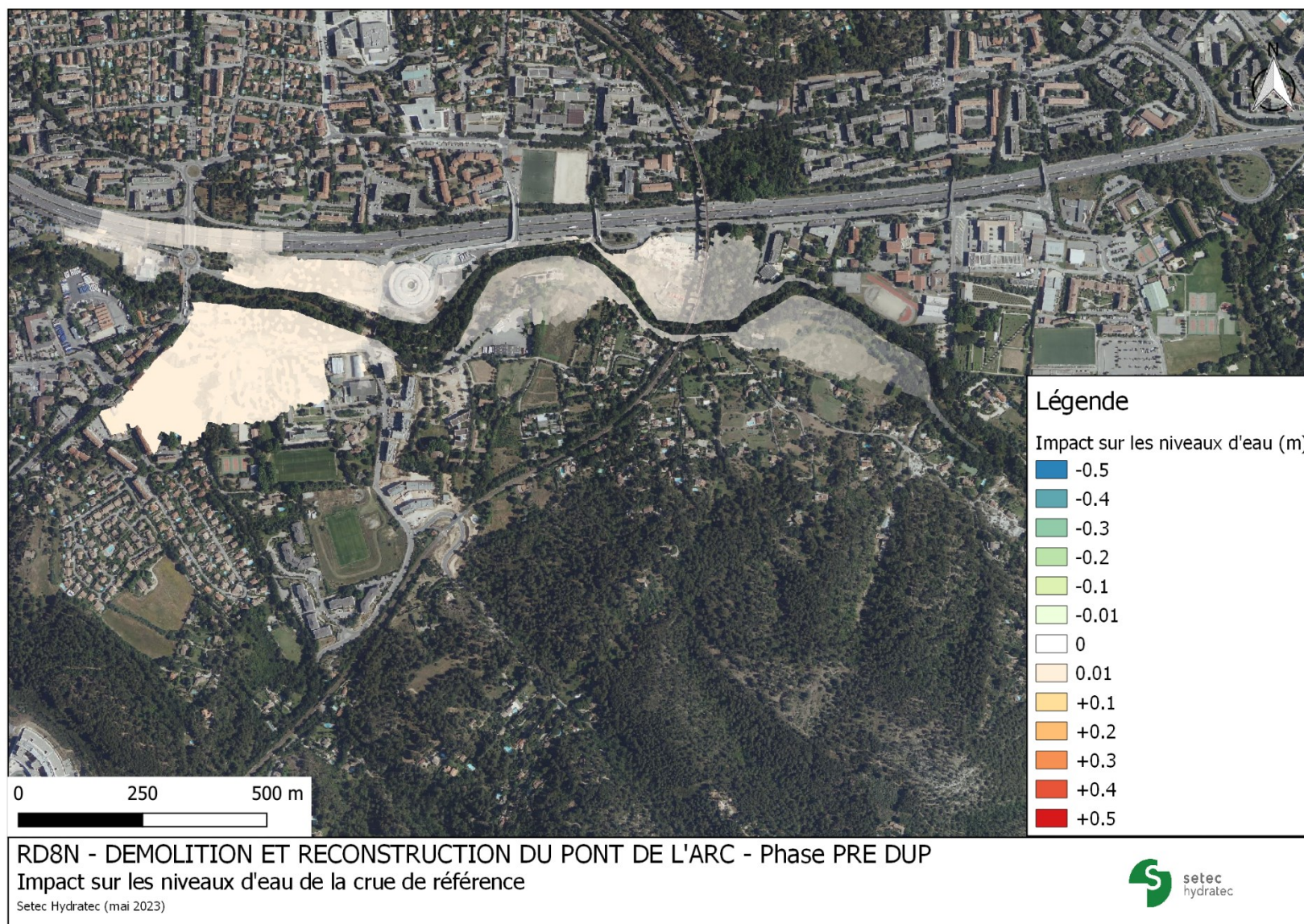


Figure 2-19 : Impact sur les niveaux d'eau de la crue de référence

2.7 CONCLUSION

L'état actuel a été modélisé avec des obstructions de section des ouvrages de franchissement afin de retrouver les résultats du PPRI en termes d'emprises inondées, de cotes d'eau et d'aléas dans le lit mineur ainsi que dans le lit majeur.

Il a de ce fait été choisi de caler le modèle en obstruant les sections de ponts et de garder ce scénario pour l'état projet.

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact hydraulique de la phase projet sur les débordements, les vitesses d'écoulement et les hauteurs d'eau en lit majeur et de s'assurer qu'il n'y ait pas d'impact négatifs inadmissibles sur les zones à enjeux. Les débordements similaires entre les deux phases, aucun n'impact sur les vitesses n'est recensé. L'impact sur les hauteurs d'eau est très faible (inférieur ou égal à 1 cm en lits majeur et mineur). Sur de telles valeurs qu'il peut être dû aux incertitudes du modèle hydraulique.

La phase projet prévoit des ouvrages dont l'obstruction sur les écoulements est très proche de celle des ouvrages actuels. Ainsi, l'aménagement projeté n'impacte que très peu les zones à enjeux du secteur d'étude. Ce projet ne semble présenter aucune contre-indication d'un point de vue hydraulique.