

**ETUDE D'IMPACT DES AMENAGEMENTS PREVUS
POUR LA REHABILITATION DES BERGES DE L'ORGE
DANS LE PARC DUPARCHY A SAVIGNY-SUR-ORGE**

ETUDE HYDRAULIQUE

 hydratec groupe setec	Tél : 01.82.51.62.42 Fax : 01.82.51.41.39 Hydra@hydra.setec.fr	Réf : 29634 BST/LGU Date : Décembre 2012 Version 2
42/52 Quai de la Râpée CS71230 75583 Paris, Cedex 12		

SOMMAIRE

1	OBJET DE L'ETUDE	5
2	LES HYPOTHESES PRISES POUR L'ETUDE HYDRAULIQUE	7
2.1	GENERALITES	7
2.2	LES HYPOTHESES GENERALES	7
2.3	LES HYPOTHESES SPECIFIQUES	8
2.3.1	<i>Les hypothèses hydrologiques</i>	8
2.3.2	<i>Données topographiques utilisées dans le cadre de l'étude</i>	10
3	DESCRIPTION DU MODELE NUMERIQUE DE SIMULATION DES CRUES DE L'ORGE11	
3.1	PRESENTATION D'HYDRA-RIVIERE	11
3.2	PRESENTATION DU MODELE NUMERIQUE	12
3.2.1	<i>Description</i>	12
3.3	DEFINITION DU MODELE MATHEMATIQUE	14
3.3.1	<i>Domaine filaire</i>	14
3.3.2	<i>Domaine casier</i>	15
3.3.3	<i>Domaine pavé</i>	15
3.4	SCHEMATISATION DETAILLEE DE LA ZONE ETUDIEE	17
3.5	CALAGE DU MODELE	17
4	ETABLISSEMENT DE LA SITUATION HYDRAULIQUE DE REFERENCE	18
4.1	DESCRIPTION DU SITE ET DE SON ENVIRONNEMENT	18
4.2	DEFINITION DES CONDITIONS D'ÉCOULEMENT DANS LA CONFIGURATION DE REFERENCE	19
4.2.1	<i>Les profils en long des niveaux d'eau</i>	19
4.2.2	<i>Les profils en long des débits</i>	20
4.2.3	<i>Les profils en long de vitesses</i>	22
4.2.4	<i>Les vues en plan des zones inondées</i>	23
5	ETUDE DE L'IMPACT HYDRAULIQUE DU PROJET D'AMENAGEMENT DE BERGES35	
5.1	PRESENTATION HYDRAULIQUE DU PROJET RETENU	35
5.2	IMPACT DU PROJET SUR LES CONDITIONS D'ÉCOULEMENT	38
5.2.1	<i>Les profils en long en niveaux</i>	38
5.2.2	<i>Les profils en long des débits</i>	45
5.2.3	<i>Les profils en long de vitesses</i>	47
5.2.4	<i>Les vues en plan des zones inondées</i>	49
6	SYNTHESE	61
7	ANNEXE 1 : PRESENTATION DU LOGICIEL WOH	63
7.1	DOMAINE DE VALIDITE ET THEORIE DE BASE	63
7.2	UTILISATION PRATIQUE DU PROGRAMME WOH	64

Table des figures

Figure 1: Plan de situation (issu de l'étude SIVOA 2011)	5
Figure 2 : Caractéristiques des pluies 24 h simple triangle injectées dans le modèle hydrologique	8
Figure 3 : Hydrogrammes d'entrée de l'Orge et de l'Yvette	9
Figure 4 : Vue en plan du projet d'aménagement de berges – version 2	10
Figure 5 : Vue générale de la couche filaire du modèle hydraulique de l'Orge	13
Figure 6 : Carte de description du site et de son environnement.....	18
Figure 7 : Profil en long des niveaux d'eau atteints dans l'Orge dans l'état actuel.....	19
Figure 8 : Profil en long des débits maximaux circulant dans l'Orge dans l'état actuel	21
Figure 9 : Profil en long des vitesses du lit mineur de l'Orge dans l'état actuel.....	22
Figure 10 : Vue en plan des zones inondées pour une crue de période de retour 5ans – Etat initial ..	24
Figure 11 : Vue en plan des zones inondées pour une crue de période de retour 10ans – Etat initial	26
Figure 12 : Vue en plan des zones inondées pour une crue de période de retour 20ans – Etat initial	28
Figure 13 : Vue en plan des zones inondées pour une crue de période de retour 30ans – Etat initial	30
Figure 14 : Vue en plan des zones inondées pour une crue de période de retour 50ans – Etat initial	32
Figure 15 : Vue en plan des zones inondées pour une crue de période de retour 100ans – Etat initial	34
Figure 16 : Vue en plan du projet d'aménagement des berges de l'Orge dans le parc de Duparchy – version 2	36
Figure 17 : Présentation des travaux de renaturation envisagés sur le profil P4.....	37
Figure 18 : Présentation des travaux de renaturation envisagés sur le profil P12.....	37
Figure 19 : Profil en long des niveaux d'eau atteints dans l'Orge pour la crue 5ans – état projet/état initial.....	38
Figure 20 : Profil en long des niveaux d'eau atteints dans l'Orge pour la crue 10ans – état projet/état initial.....	39
Figure 21 : Profil en long des niveaux d'eau atteints dans l'Orge pour la crue 20ans – état projet/état initial.....	40
Figure 22 : Profil en long des niveaux d'eau atteints dans l'Orge pour la crue 30ans – état projet/état initial.....	41
Figure 23 : Profil en long des niveaux d'eau atteints dans l'Orge pour la crue 50ans – état projet/état initial.....	42
Figure 24 : Profil en long des niveaux d'eau atteints dans l'Orge pour la crue 100ans – état projet/état initial.....	43
Figure 25 : Profil en long des débits maximaux circulant dans l'Orge – état projet/état initial	45
Figure 26 : Profil en long des vitesses du lit mineur de l'Orge – état projet/état initial.....	47
Figure 27 : Vue en plan des zones inondées pour une crue de période de retour 5ans – Etat projet..	50
Figure 28 : Vue en plan des zones inondées pour une crue de période de retour 10ans – Etat projet	52
Figure 29 : Vue en plan des zones inondées pour une crue de période de retour 20ans – Etat projet	54
Figure 30 : Vue en plan des zones inondées pour une crue de période de retour 30ans – Etat projet	56
Figure 31 : Vue en plan des zones inondées pour une crue de période de retour 50ans – Etat projet	58
Figure 32 : Vue en plan des zones inondées pour une crue de période de retour 100ans – Etat projet	60

Figure 33 : Schéma explicatif d'une possible ligne d'eau d'un ouvrage hydraulique de traversée.....	63
Figure 34 : Exemple de fichier donné du programme WOH	64
Figure 35 : Exemple de fichier résultat du programme WOH pour le pont Corot – Q100	65

1 OBJET DE L'ETUDE

Le SIVOA souhaite reprofiler les berges de l'Orge dans la traversée du parc Duparchy à Savigny-sur-Orge. La zone de renaturation du projet du SIVOA concerne un linéaire de 400 mètres environ et les travaux de renaturation vont essentiellement consister à réduire la section d'écoulement de l'Orge pour favoriser la diversification des écoulements et multiplier les habitats.

La modélisation de cet aménagement par le SIVOA en 2011 a montré qu'il avait un impact négatif sur les écoulements en crue de l'Orge.

Dans ce contexte, le SIVOA a demandé à HYDRATEC de réaliser au premier semestre 2012 une étude hydraulique pour évaluer l'effet de mesures compensatoires de réduction de l'impact hydraulique de l'aménagement des berges de l'Orge proposé par le SIVOA, afin de garantir que le projet n'est pas susceptible d'aggraver les risques d'inondation ou d'en provoquer de nouveaux, et qu'il ne fait pas obstacle à l'écoulement des eaux. Les mesures compensatoires testées sont les suivantes :

- suppression du pont du lycée Corot,
- suppression du pont du lycée Corot et déplacement ou suppression de la digue du lycée Corot.

Le secteur concerné est le suivant :

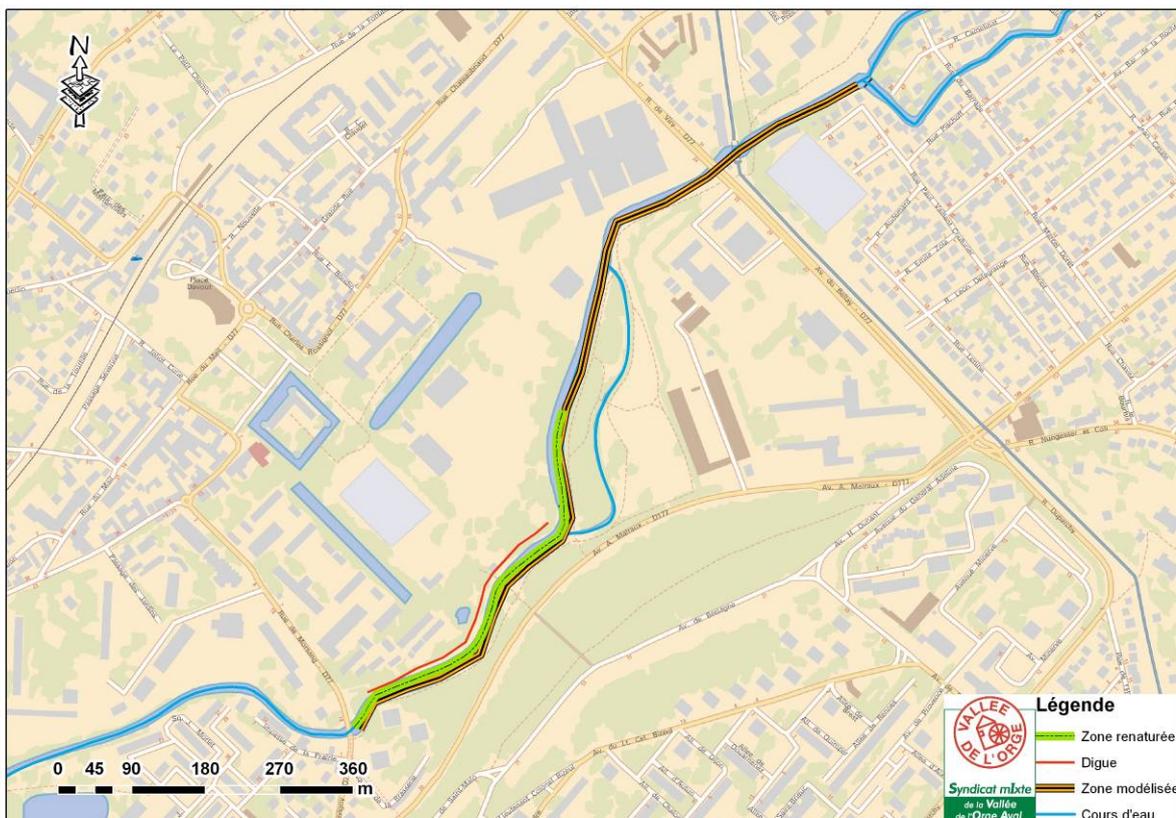


Figure 1: Plan de situation (issu de l'étude SIVOA 2011)

Les conclusions de l'étude réalisée par hydratec sont les suivantes :

- la suppression du pont Corot permet de compenser les impacts du projet en amont du pont mais avec un exhaussement à l'aval pour les fortes crues,
- la suppression supplémentaire de la digue du lycée Corot permet une réduction des hauteurs de submersion atteintes dans le secteur du lycée pour les crues fortes (moins de rétention d'eau en arrière de la digue), mais inondation du lycée dès la crue vicennale (30 ans en situation actuelle).

Pour limiter les impacts d'un aménagement de berges végétalisées et de réduction du lit d'étiage, hydratec a donc proposé de chercher à conserver la capacité hydraulique actuelle de l'Orge pour les crues fréquentes en élargissant son lit mineur dans les zones où des banquettes végétalisées sont mises en place.

Aujourd'hui, la solution de réduction de la vulnérabilité retenue par le SIVOA dans le cadre du réaménagement des berges consiste à :

- supprimer le pont du lycée Corot,
- prolonger le bras situé en rive droite de l'Orge vers l'amont pour augmenter la capacité du lit juste en aval de la future passerelle qui remplacera le pont Corot,
- conserver la capacité d'évacuation de la partie supérieure du lit de l'Orge.

A la suite de ce choix, le SIVOA a réalisé en 2012 une étude pour dimensionner le lit d'étiage de façon à augmenter les hauteurs d'eau et les vitesses pour les débits compris entre 1 et 5 m³/s. Les profils projetés visent également à augmenter la section d'écoulement des moyennes et hautes eaux en rive droite pour compenser la réduction de la section du lit d'étiage.

Dans ce contexte, le SIVOA a demandé à HYDRATEC de réaliser l'étude d'impact hydraulique de ce nouveau projet de réaménagement, afin de garantir que le projet n'est pas susceptible d'aggraver les risques d'inondation ou d'en provoquer de nouveaux, et qu'il ne fait pas obstacle à l'écoulement des eaux.

L'étude est réalisée à partir du modèle des écoulements en crue de l'Orge construit par hydratec en 2006.

2 LES HYPOTHESES PRISES POUR L'ETUDE HYDRAULIQUE

2.1 GENERALITES

Les hypothèses prises pour réaliser l'étude d'impact hydraulique concernent d'une part les hypothèses générales afférentes à ce type d'étude et d'autre part les hypothèses particulières concernant le site et les données de base utilisées dans le cadre de l'étude (topographie, cotes d'eau de calage, ...).

2.2 LES HYPOTHESES GENERALES

Les hypothèses générales afférentes aux études hydrauliques analysant l'effet de travaux sur un cours d'eau sont les suivantes :

① Un modèle numérique de simulation de la propagation des crues résolvant les équations de Barré de Saint-Venant pour des tronçons filaires d'écoulement et les équations régissant les écoulements par surverse, les écoulements au travers d'orifices et les écoulements rugueux des surfaces inondables représentées par des casiers, permet de calculer les lignes d'eau et les vitesses dans une configuration géométrique donnée de la vallée étudiée.

La modification de cette géométrie pour simuler le projet d'aménagement de berges permet de calculer les lignes d'eau et les vitesses dans la configuration aménagée.

② Le modèle numérique doit être construit à partir d'une topographie récente du lit de la rivière et calé, c'est à dire être capable de calculer pour plusieurs débits de l'Orge des cotes d'eau voisines des cotes d'eau observées pour ces crues dites crues de calage.

③ Lorsque le modèle numérique est utilisé en régime transitoire (c'est à dire lorsque les débits injectés à l'amont des filaires du modèle sont variables au cours du temps), les calculs de cote d'eau et de débits le long de l'Orge au cours du temps prennent en compte de manière implicite les effets volumiques liés à la modification du lit majeur.

④ Le modèle HYDRARIV, développé et commercialisé par HYDRATEC est un modèle de simulation permettant de réaliser les calculs décrits ci-dessus. C'est pourquoi il est utilisé dans cette étude hydraulique.

2.3 LES HYPOTHESES SPECIFIQUES

2.3.1 Les hypothèses hydrologiques

L'étude d'impact hydraulique de l'aménagement des berges de l'Orge dans la traversée du parc Duparchy est réalisée pour des débits de crue de période 5, 10, 20, 30, 50 et 100 ans.

Les hydrogrammes correspondants ont été définis par le SIVOA et sont rappelés en page suivante.

Les débits de pointe de l'Orge au Carouge et de l'Yvette sont les suivants :

- Le débit de période de retour 5 ans : Orge = 8 m³/s, Yvette = 13.2m³s,
- Le débit de période de retour 10 ans : Orge = 9.7 m³/s, Yvette = 15.4m³s,
- Le débit de période de retour 20 ans : Orge = 11.3 m³/s, Yvette = 17.6m³s,
- Le débit de période de retour 30 ans : Orge = 12.2 m³/s, Yvette = 18.8m³s,
- Le débit de période de retour 50 ans : Orge = 18 m³/s, Yvette = 22.5m³s,
- Le débit de période de retour 100 ans : Orge = 33 m³/s, Yvette = 37m³s

Les apports des bassins versants sont calculés à partir de relations pluies-débit basées sur des pluies simple triangle injectées entre 50 et 74h, au moment où le débit de pointe est atteint au niveau de l'Orge et de la Sallemouille. Les caractéristiques de ces pluies sont présentées dans le tableau ci-dessous (issu de l'étude sur le Carouge réalisée par le SIVOA en 2011) et sont prises homogènes sur l'ensemble du territoire :

Temps (h)	5 ans	10 ans	20 ans	30 ans	50 ans
0	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
50	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
62	2.50	3.50	3.75	4.25	4.75
74	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
96	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
H TOTALE (mm)	24	42	45	51	57

Figure 2 : Caractéristiques des pluies 24 h simple triangle injectées dans le modèle hydrologique

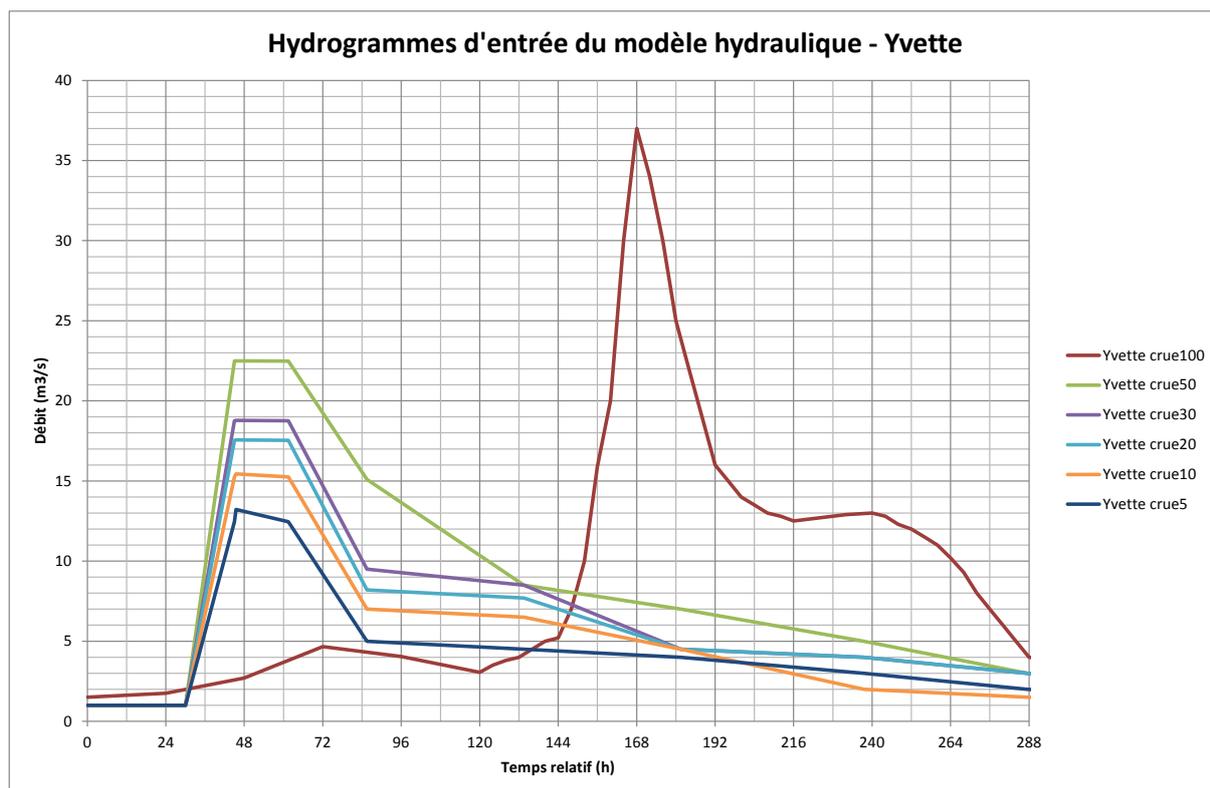
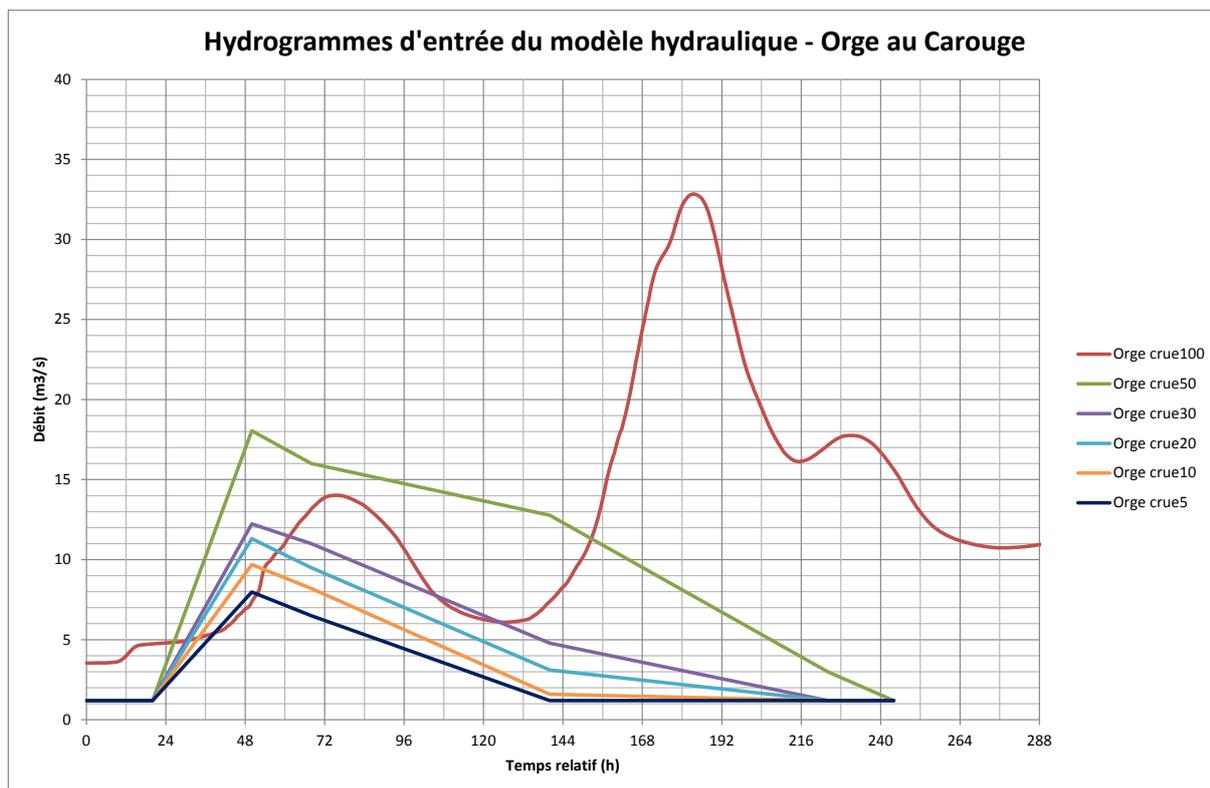


Figure 3 : Hydrogrammes d'entrée de l'Orge et de l'Yvette

2.3.2 Données topographiques utilisées dans le cadre de l'étude

Il s'agit des profils en travers de l'Orge, dans la traversée du parc Duparchy, levés en février 2010 et des profils en travers projetés fournis par le plan projet_duparchy_21112012.

La localisation de ces profils en travers et des banquettes végétalisées projetées est indiquée sur la vue en plan ci-après. Sur ce plan, est également indiqué l'allongement vers l'amont du bras rive droite de l'Orge.

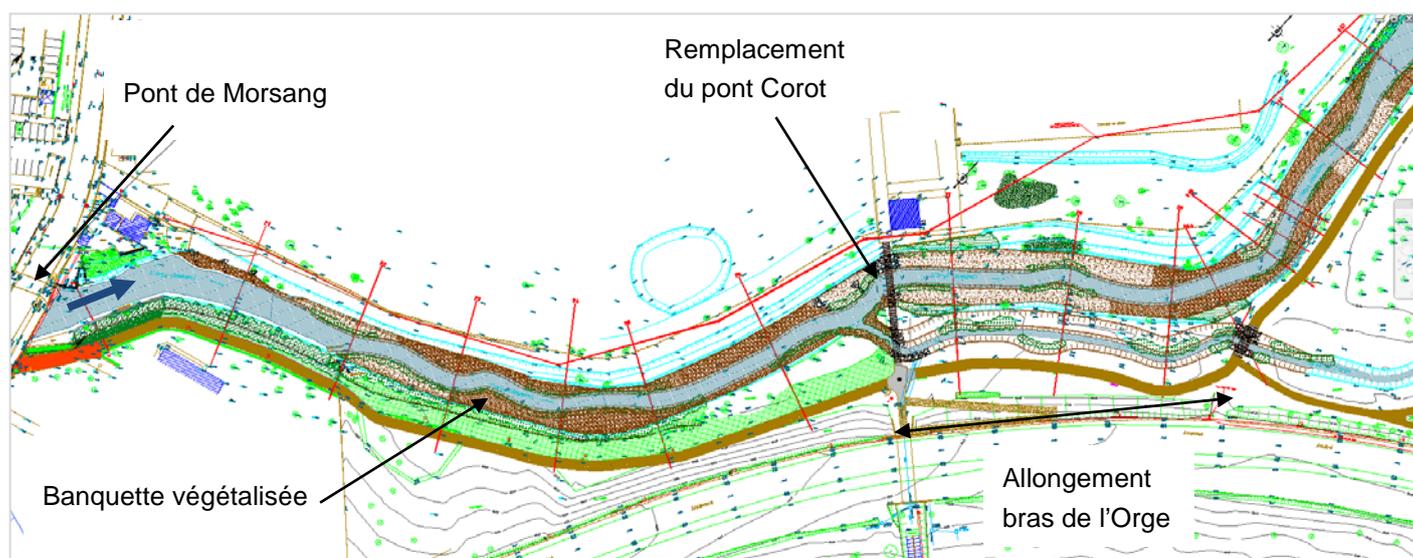


Figure 4 : Vue en plan du projet d'aménagement de berges – version 2

3 DESCRIPTION DU MODELE NUMERIQUE DE SIMULATION DES CRUES DE L'ORGE

3.1 PRESENTATION D'HYDRA-RIVIERE

La modélisation des écoulements est faite avec le programme de calcul HYDRA-RIVIERE, conçu et développé par HYDRATEC.

HYDRA-RIVIERE est un logiciel général de simulation dynamique des écoulements dans les cours d'eau et les vallées inondables.

Il possède une gamme très étendue de fonctionnalités, forgées par l'expérience et les besoins ressentis par HYDRATEC en matière d'aménagements de cours d'eau, qui se traduit notamment par des schémas de représentations qui peuvent être différents d'un secteur géographique à l'autre, tout en coexistant dans un même modèle : représentation filaire, découpage en casiers, maillages bidimensionnels.

HYDRA-RIVIERE utilise une méthode de résolution totalement implicite des équations de base (les calculs s'effectuent au même pas de temps alors qu'une méthode explicite utilise le pas de temps précédent) et s'appuie sur une structure de représentation maillée, empruntant plusieurs concepts propres aux éléments finis. Cette particularité permet de s'affranchir de tout problème de stabilité numérique lié aux choix de pas de temps et assure par ailleurs une grande souplesse d'exploitation, afin d'ajuster la complexité de la schématisation aux objectifs de l'étude et à la précision recherchée. A l'intérieur d'un mode donné de schématisation des écoulements, HYDRA-RIVIERE offre de nombreux modules de calculs de singularités, le choix le plus approprié étant fonction de l'appréciation du comportement et de l'impact local de la singularité.

Les très nombreuses observations disponibles sur les écoulements de crues dans les vallées inondables témoignent de la grande complexité des phénomènes hydrauliques à l'échelle locale : chenaux préférentiels d'écoulement induits par la micro-topographie, zones d'accumulation, lois d'échanges conditionnées par la topographie mais aussi les nombreux obstacles implantés dans le lit majeur : routes, voies SNCF, levés de terres, remblaiements, etc...

Ces phénomènes ne peuvent être appréhendés que par une démarche simplificatrice mais cependant cohérente par rapport aux objectifs assignés au modèle et aussi à la précision des données disponibles : une schématisation bidimensionnelle convient si l'on s'intéresse à l'impact d'un ouvrage sur les vitesses locales et les surélévations des niveaux d'eau des zones avoisinantes, elle devient totalement inappropriée dans le cas d'une étude d'impact aval d'un ouvrage de contrôle des crues ; une modélisation multifilaire s'avère dans ce cas beaucoup plus justifiée pour la propagation des hydrogrammes laminés.

Par ailleurs, même pour une étude locale de zone inondable, une modélisation bidimensionnelle doit souvent intégrer des représentations filaires d'écoulements préférentiels le long de thalwegs présentant une topographie locale accidentée.

Pour concilier toutes ces exigences, HYDRA-RIVIERE offre trois représentations possibles d'écoulement, désignées « domaines ».

- l'écoulement filaire le long d'un bief de rivière ou de vallée inondable, caractérisé par une direction privilégiée d'écoulement le long de son axe longitudinal : **c'est le domaine filaire**.
- la zone d'accumulation dans le lit majeur avec faible vitesse moyenne, où les transferts de débits sont conditionnés par des lois d'échange aux frontières : **c'est le domaine du casier**.
- les zones avec écoulement fortement bidimensionnel, décrites par un maillage fin, fonction de la topographie détaillée disponible : cette description permet de restituer la carte des vitesses locales : **c'est le domaine multidirectionnel** qui doit en fait être considéré comme un casier discrétisé par un maillage approprié.

Les comportements hydrauliques de chaque domaine sont décrits par des lois et des équations qui leur sont propres (ces équations sont rappelées au chapitre 3.3). Les domaines sont en plus connectés entre eux par des **liaisons externes** latérales qui servent en quelque sorte de « ciment » à l'ensemble de la zone modélisée.

Le concept de schématisation adopté dans HYDRA-RIVIERE s'inscrit dans la double démarche suivante :

- délimitation de la zone d'étude en domaines surfaciques disjoints, mais couvrant toute la zone, chaque domaine appartenant à une des trois catégories : filaire, casier, bidimensionnelle.
- définition de liaisons hydrauliques externes nécessaires pour lier hydrauliquement les domaines entre eux.

Suivant le contexte d'une application, un modèle peut ne comporter qu'un seul type de représentation ou plusieurs types différents coexistant ensemble.

3.2 PRESENTATION DU MODELE NUMERIQUE

3.2.1 Description

L'étude est réalisée à partir des modèles numériques des écoulements de l'Orge, ORGA et ORGB, développés par Hydratec dans le cadre d'études précédentes dont la réalisation d'un atlas des zones inondables de l'Orge en 2006. Ce modèle est actuellement utilisé par le SIVOA.

La Figure 5 présente la couche filaire du modèle limitée au lit mineur et aux ouvrages. Cette couche comprend :

- le linéaire de cours d'eau décomposé en 68 branches de calcul : une branche est un tronçon délimité à l'amont par une tête ou une déflueuse et à l'aval par une condition à la limite aval ou une confluence avec un autre tronçon,
- 151 bassins versants d'apports qui viennent se raccorder au lit mineur en 80 points d'entrée. Les apports de ces bassins versants sont calculés en interne selon des méthodes adaptés au type de bassin versant,
- 237 profils en travers issus des levés bathymétriques du lit mineur,

- 14 bassins de retenue en fond de vallées contrôlés par des ouvrages d'alimentation et de dérivation,
- 112 singularités hydrauliques comprenant des organes hydrauliques et des ouvrages de franchissement susceptibles de générer des pertes de charge,
- une trentaine de points de contrôle matérialisés par l'emplacement d'échelles limnimétriques.

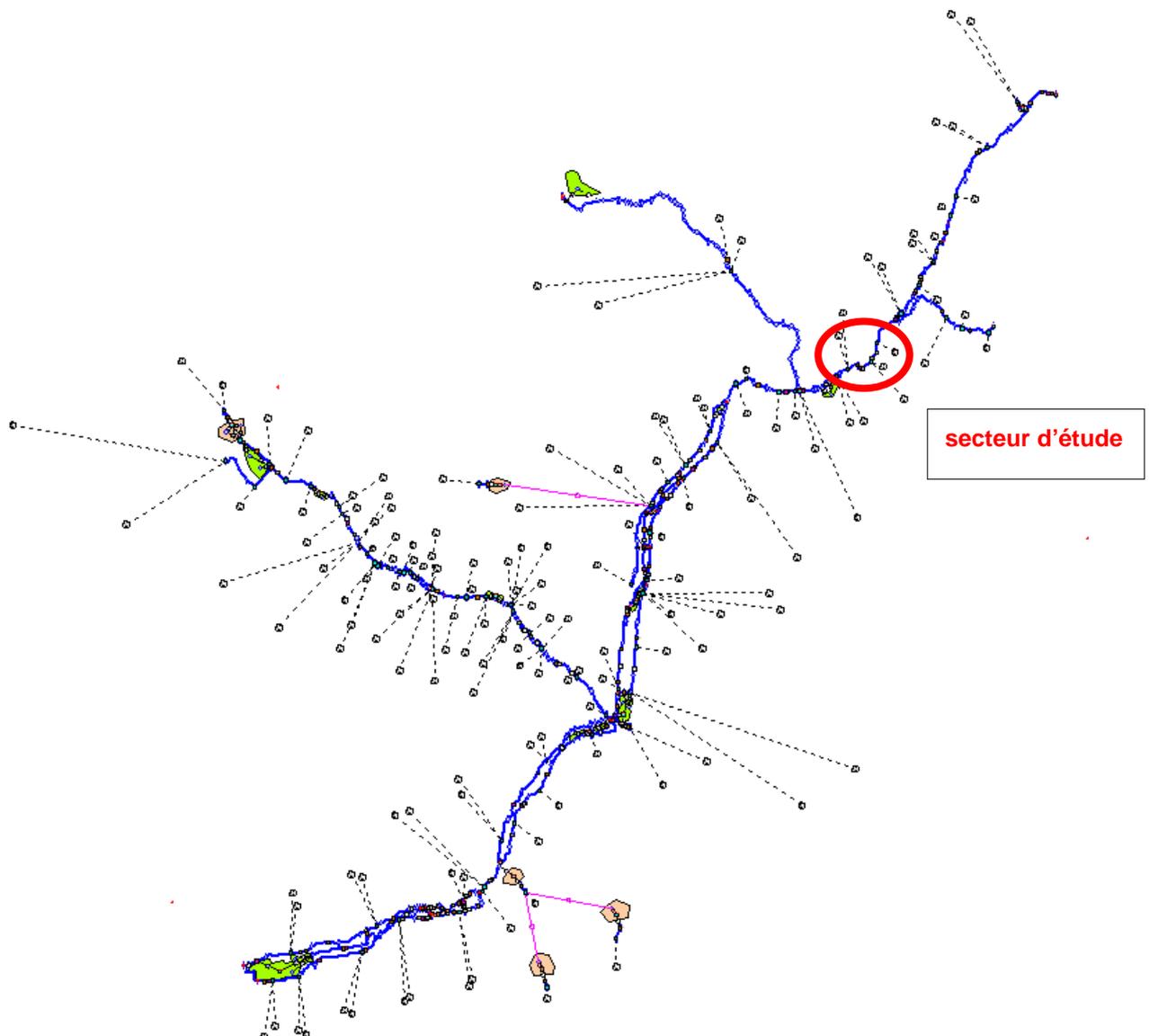


Figure 5 : Vue générale de la couche filaire du modèle hydraulique de l'Orge

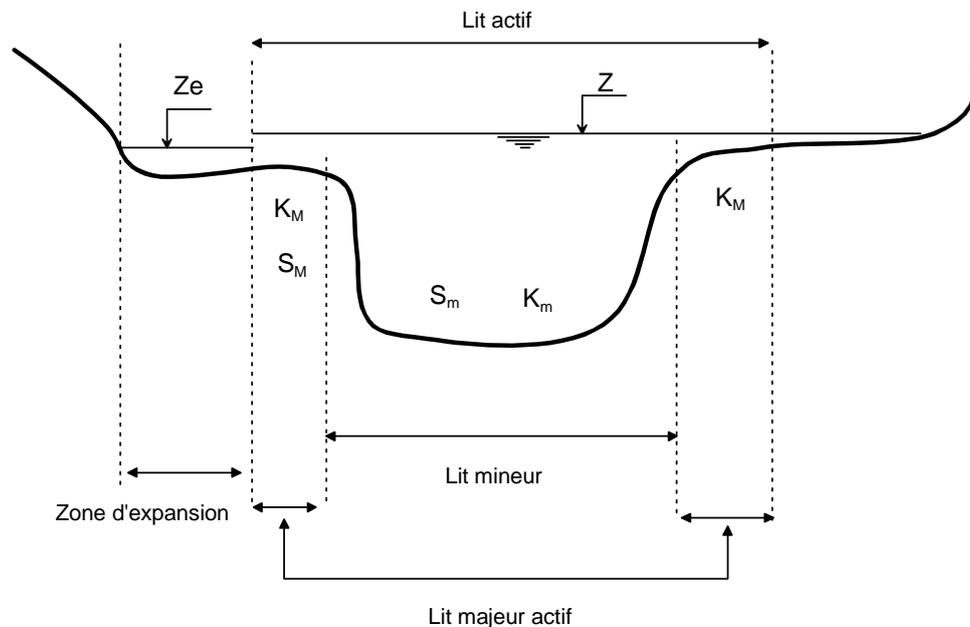
Les conditions limite aval de l'Orge sont définies par des lois (hauteur, débit) en Seine.

3.3 DEFINITION DU MODELE MATHEMATIQUE

Le modèle d'écoulement de l'Orge repose sur le code de calculs HYDRA, mis au point par hydratec.

3.3.1 Domaine filaire

La schématisation de la vallée est synthétisée selon la coupe transversale ci-dessous :



Les équations résolues sont celles de Barré-de-Saint-Venant pour l'élément de rugosité ainsi que celles classiques des pertes de charge locales pour les points singuliers (seuils, ponts...).

Continuité :

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(S_m + \frac{S_M}{s} \right) + \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{q_1}{s} + q_a$$

Quantité de mouvement :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{d}{dx} \left(\beta \frac{Q^2}{S_m + S_M} \right) + g(S_m + S_M) \frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{Q|Q|}{D^2} = 0$$

Où :

t : temps

s : coefficient de sinuosité

S_m : surface de la section mouillée du lit mineur

S_M : surface de la section mouillée du lit majeur actif

D : débitance = $S_m K_m R_m^{2/3} + s S_M K_M R_M^{2/3}$

- avec
- K_m et K_M : Strickler des lits mineur et majeur
 - R_m et R_M : rayons hydrauliques des lits mineur et majeur

β : coefficient d'échange de quantité de mouvement entre lits mineur et majeur

$$\beta = \left(\frac{1}{S_M} + \frac{r^2}{S_m} \right) \left(\frac{S_m + S_M}{1 - \eta^2} \right)$$

$$\text{Avec } \eta = \frac{Q_m}{Q_M} = \frac{S_m K_m R_m^{2/3}}{S_M K_M R_M^{2/3}}$$

q1 : débit d'échange latéral

$$q1 = \mu \sqrt{2g} (Z - Z_d)^{3/2} \text{ en régime dénoyé}$$

$$q1 = \mu \sqrt{2g} (Z_1 - Z_d) (Z - Z_1)^{1/2} \text{ en régime noyé}$$

q_a : débit d'apport latéral réparti par mètre linéaire

3.3.2 Domaine casier

Le modèle en casier représente les champs d'expansion des crues situés au-delà du lit de l'Orge.

Le casier est une zone d'expansion du lit majeur caractérisée par des vitesses d'écoulement généralement faibles et dont les contours s'appuient sur la topographie naturelle ou sur des obstacles artificiels à l'écoulement des eaux.

L'équation de base d'un casier exprime la loi de **conservation de la masse** :

$$S \cdot \frac{dZ_c}{dt} = \sum_i q_{li}(Z_c)$$

Où :

S : surface au miroir du casier

Z_c : cote d'eau (supposée uniforme dans le casier)

q_{li} : débit échangé avec un autre domaine. Les liaisons latérales disponibles sont de plusieurs types suivant la nature physique de la liaison : seuil, orifice, frottement sur le fond, écoulement poreux.

3.3.3 Domaine pavé

Le domaine 2 D est basé sur un maillage de forme quadrangulaire ou triangulaire, la densité et la taille moyenne des mailles étant adaptées en fonction de la cohérence de la précision des levés topographiques.

Avec cette discrétisation, la notion de vecteur vitesse d'écoulement a un sens et peut être calculée sans équivoque à chaque centroïde de bloc élémentaire à partir des valeurs de cote d'eau et des débits échangés avec les blocs voisins.

Les équations de base s'expriment sous la forme :

Continuité :

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (uh) + \frac{\partial}{\partial y} (vh) = 0$$

Dynamiques selon x et y

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \left(\frac{\partial z}{\partial x} - j_x \right) = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \left(\frac{\partial z}{\partial y} - j_y \right) = 0$$

Avec :

h : hauteur d'eau

u, v : composante de la vitesse

g : accélération de la gravité

z : cote de la surface libre

x, y : abscisse et ordonnée du point où sont définis (h, u, v)

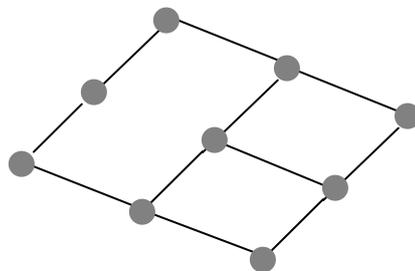
j_x, j_y : gradient de perte de charge engendré par le frottement

Les équations précédentes sont transformées dans le module 2D en intégrales de surface et sont discrétisées par la méthode des volumes finis.

Le modèle 2D, comme le modèle 1D, fonctionne en régime transitoire et simule la propagation complète de la crue.

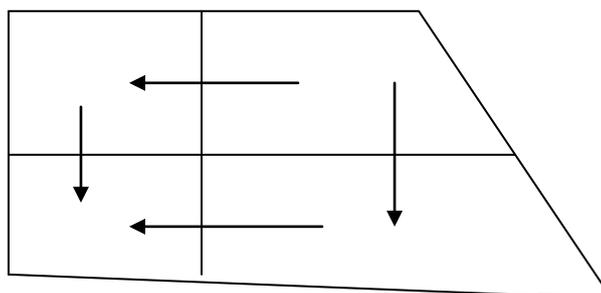
Le maillage proposé présente deux particularités :

- Il est déstructuré, c'est-à-dire que les frontières de chaque maille ont des directions quelconques : elles s'appuient sur les rives du cours d'eau, le long des obstacles dans le lit majeur,
- Il est possible de partager une frontière entre plus de deux éléments comme suit :



Cette souplesse permet de facilement traiter les situations géométriques les plus complexes, notamment au droit des ouvrages.

Les frontières entre deux mailles contigües sont traversées par des liaisons d'échanges hydrauliques.



A chaque liaison peut être renseignée une loi d'échange spécifique.

La grande majorité de ces liaisons sont intérieures au domaine 2D : elles sont régies par des lois d'échange satisfaisant les équations de Barré de St Venant en deux dimensions ; les vitesses sont calculées au centroïde de l'élément.

On peut également spécifier des liaisons régies par des lois de singularités hydrauliques.

3.4 SCHEMATISATION DETAILLEE DE LA ZONE ETUDIEE

La zone concernée par le projet d'aménagement des berges dans la traversée du parc Duparchy a été affinée lors de la réalisation de l'étude hydraulique d'évaluation de l'effet de mesures compensatoires du projet, réalisée au premier semestre 2012 par hydratec : les profils en travers de l'Orge levés en 2010 ont été intégrés dans le modèle pour représenter plus finement le lit mineur de l'Orge et évaluer l'impact des aménagements de berges projetés.

La perte de charge créée par le pont Corot a également été recalculée à l'aide du logiciel WOH (dont une présentation est donnée en annexe) :

Crue de période de retour	Débit (m ³ /s)	Perte de charge (m)
5ans	26	0.17
10ans	31	0.21
20ans	35	0.25
30ans	37	0.27
50ans	44	0.34
100ans	46	0.36

3.5 CALAGE DU MODELE

Après intégration des modifications sur le lit mineur de l'Orge, le calage du modèle a été vérifié. Dans la mesure où les modifications apportées au lit mineur de l'Orge dans la traversée du parc Duparchy ont peu modifié les cotes maximales atteintes dans l'Orge pour les crues de projet, le modèle est considéré comme calé.

4 ETABLISSEMENT DE LA SITUATION HYDRAULIQUE DE REFERENCE

4.1 DESCRIPTION DU SITE ET DE SON ENVIRONNEMENT

La zone concernée par le projet d'aménagement des berges de l'Orge couvre un linéaire de 400m environ dans la traversée du parc Duparchy à Savigny-sur-Orge.

Dans ce secteur, les ouvrages suivants sont recensés, de l'amont vers l'aval :

- le pont de Morsang,
- le pont du lycée Corot,
- un clapet à ouverture vers le bas ouvert en permanence,
- le pont de Viry,
- une digue en rive gauche de l'Orge le long du lycée Corot.

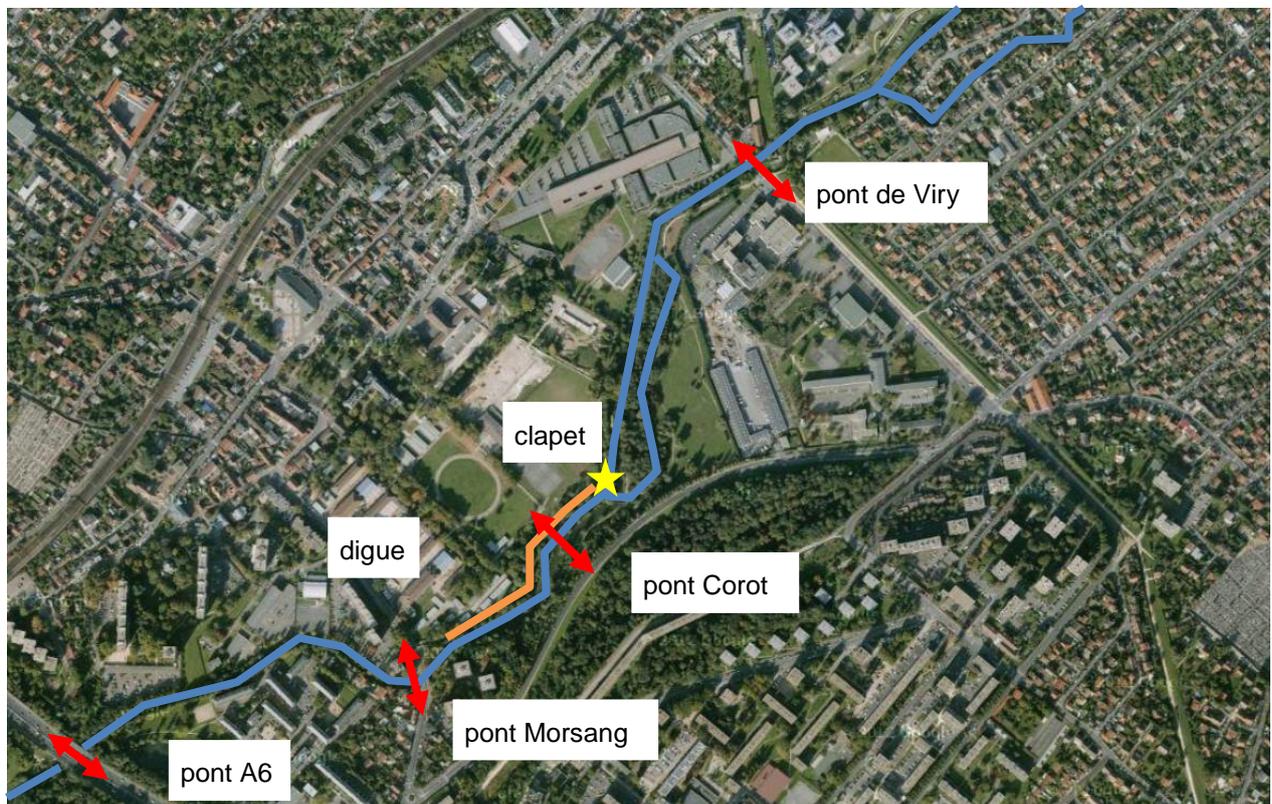


Figure 6 : Carte de description du site et de son environnement

4.2 DEFINITION DES CONDITIONS D'ÉCOULEMENT DANS LA CONFIGURATION DE REFERENCE

Les paragraphes suivants rendent compte du résultat de la modélisation détaillée du secteur dans l'état actuel pour les crues de projet de période de retour 5, 10, 20, 30, 50 et 100ans en régime transitoire.

L'analyse du fonctionnement de l'Orge dans sa configuration actuelle et la définition d'un état de référence (état initial) pour évaluer par la suite les impacts du projet d'aménagements de berges sont menés à l'échelle d'un linéaire d'Orge suffisant pour évaluer les enjeux dans la zone du projet : entre le pont de l'autoroute A6 en amont et le pont de Viry en aval.

4.2.1 Les profils en long des niveaux d'eau

La simulation des 6 crues de projet de période de retour comprise entre 5ans et 100ans pour le scénario de référence (ou état initial) donne, en tout nœud de calcul du modèle, les niveaux d'eau, les débits et les vitesses d'écoulement.

Le graphique ci-après présente les lignes d'eau maximales calculées dans le lit mineur de l'Orge pour ces 6 crues, superposées aux profils en long du fond de l'Orge.

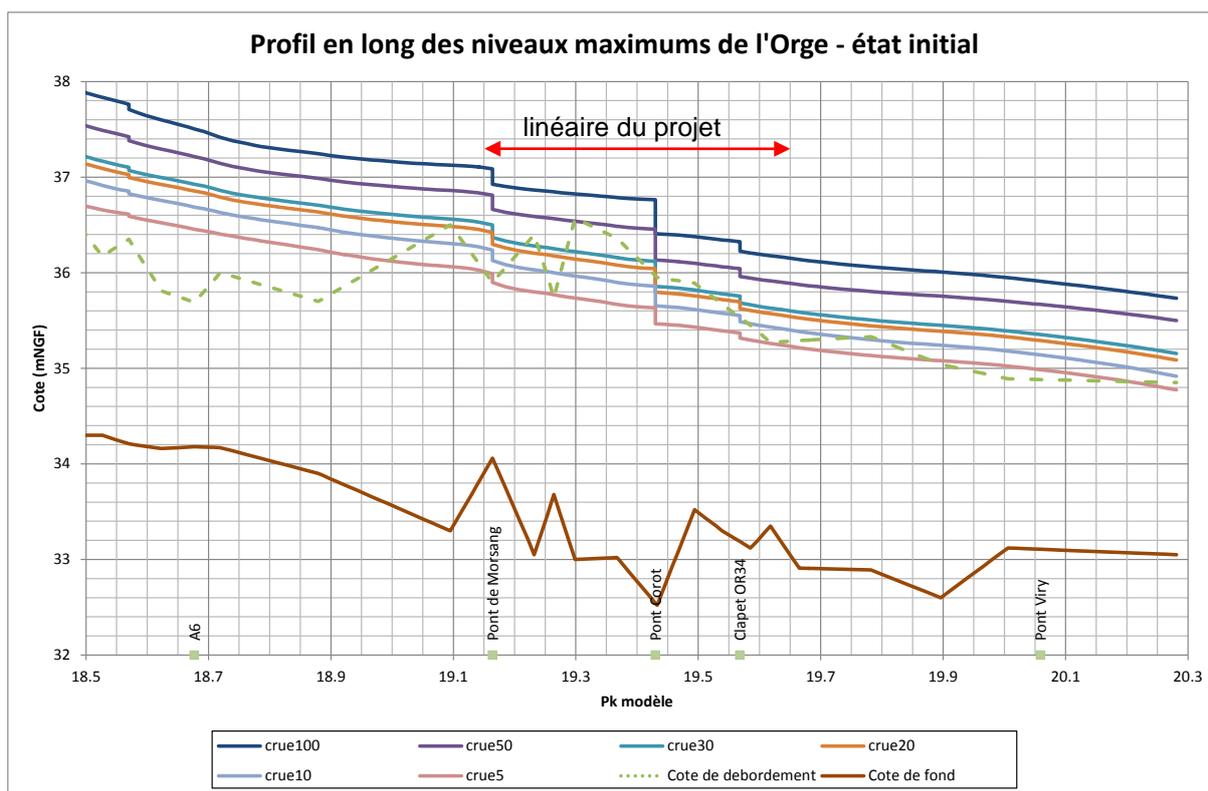


Figure 7 : Profil en long des niveaux d'eau atteints dans l'Orge dans l'état actuel

Le tableau ci-dessous donne pour les 6 crues simulées, les cotes d'eau maximales atteintes dans l'Orge à quelques points particuliers de la zone d'étude :

Cote maximale (mNGF)	Crue					
	100ans	50ans	30ans	20ans	10ans	5ans
Points particuliers						
A6	37.50	37.21	36.92	36.85	36.69	36.45
Pont Morsang amont	37.09	36.81	36.50	36.42	36.24	35.99
Pont Morsang aval	36.93	36.66	36.37	36.30	36.13	35.90
Pont Corot amont	36.76	36.46	36.12	36.04	35.86	35.63
Pont Corot aval	36.41	36.13	35.86	35.80	35.65	35.47
Clapet OR34 amont	36.32	36.04	35.76	35.70	35.55	35.37
Clapet OR34 aval	36.22	35.96	35.68	35.62	35.49	35.32
Pont Viry	35.91	35.67	35.35	35.29	35.14	34.99

Tableau 1 : Cotes calculées dans l'Orge pour les six crues simulées – Etat initial

Sur la zone d'étude, les crues de période de retour 5ans et 10ans ne sont pas débordantes. Au droit du lycée Corot, le niveau d'eau maximal dans l'Orge varie entre 35.63mNGF pour la crue de période de retour 5ans et 36.76mNGF pour la crue de période de retour 100ans.

Les emprises des zones inondées pour les crues de projet sont décrites au paragraphe 4.2.4.

4.2.2 Les profils en long des débits

Le graphique ci-après présente les profils en long des débits maximaux calculés dans le lit de l'Orge pour les 6 crues de projet.

Le tableau ci-dessous donne pour les 6 crues simulées, les débits maximaux circulant dans le lit mineur de l'Orge à quelques points particuliers de la zone d'étude :

Débit maximal (m3/s)	Crue					
	100ans	50ans	30ans	20ans	10ans	5ans
Points particuliers						
A6	60.2	46.3	36.6	34.4	30.6	25.3
Pont Morsang amont	45.0	41.6	36.3	34.6	30.7	25.4
Pont Morsang aval	45.0	41.6	36.3	34.6	30.7	25.4
Pont Corot amont	45.9	42.3	36.4	34.7	30.8	25.5
Pont Corot aval	45.9	42.3	36.4	34.7	30.8	25.5
Clapet OR34 amont	47.1	39.0	33.0	31.6	28.4	23.9
Clapet OR34 aval	47.1	39.0	33.0	31.6	28.4	23.9
Pont Viry	55.1	43.7	36.3	34.6	30.7	25.4

Tableau 2 : Débits maximaux circulant dans l'Orge pour les six crues simulées – Etat initial

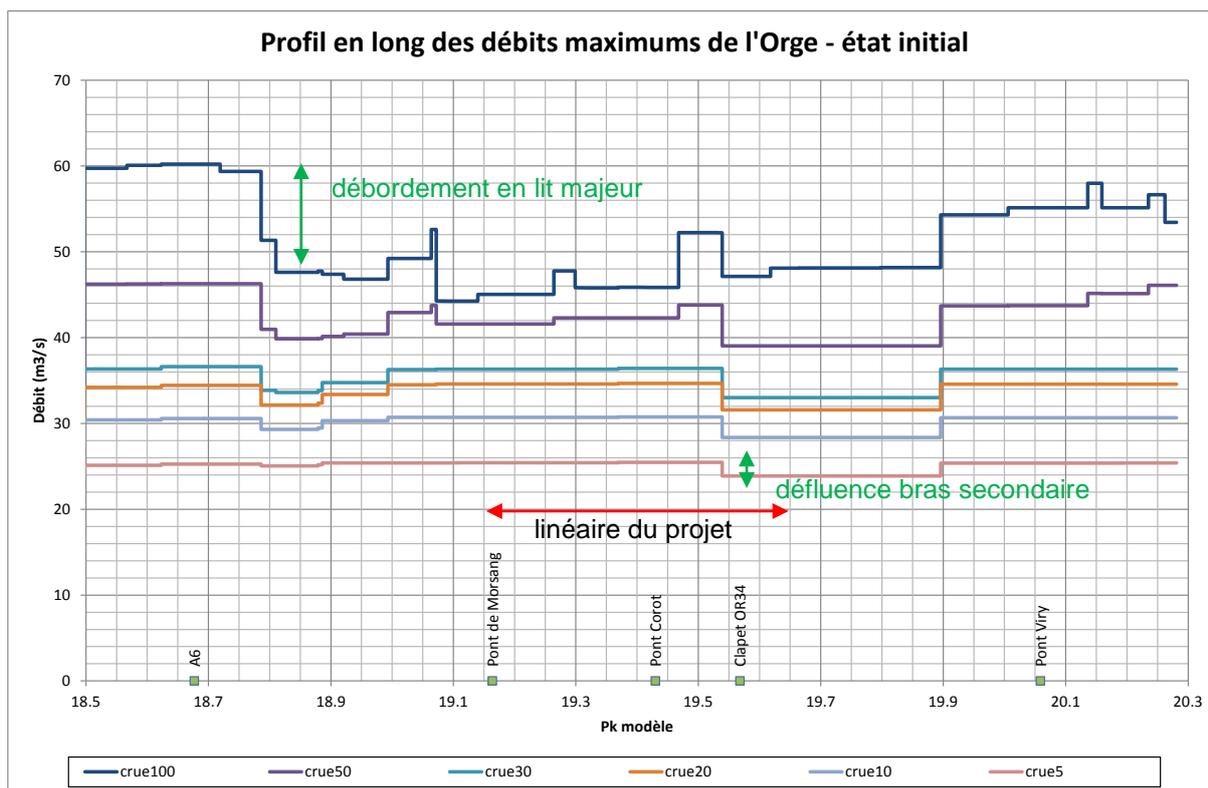


Figure 8 : Profil en long des débits maximums circulant dans l'Orge dans l'état actuel

L'étude des profils en long des débits permet de visualiser les zones de débordement vers le lit majeur de la zone d'étude.

Les débordements les plus importants sont observés en amont de la zone d'étude, entre l'autoroute A6 et le pont de Morsang dans le secteur Kennedy. Ces débordements sont observés dès la crue décennale et pour la crue centennale, un débit d'environ 12m³/s déborde ainsi dans le lit majeur de l'Orge au droit du pk modèle 18.8 et revient en partie dans le lit mineur de l'Orge au droit du pk modèle 19.

Sur le linéaire du projet, il n'y a pas d'échange (débordement ou restitution) entre le lit mineur de l'Orge et son lit majeur pour des crues de période de retour inférieure à 30ans.

Pour les crues cinquantennale et centennale, un débit est restitué à l'Orge le long du lycée Corot par submersion de la digue depuis le lycée Corot (pk 19.45).

4.2.3 Les profils en long de vitesses

Le graphique ci-après présente les profils en long des vitesses maximales calculées dans le lit mineur de l'Orge pour les 6 crues de projet.

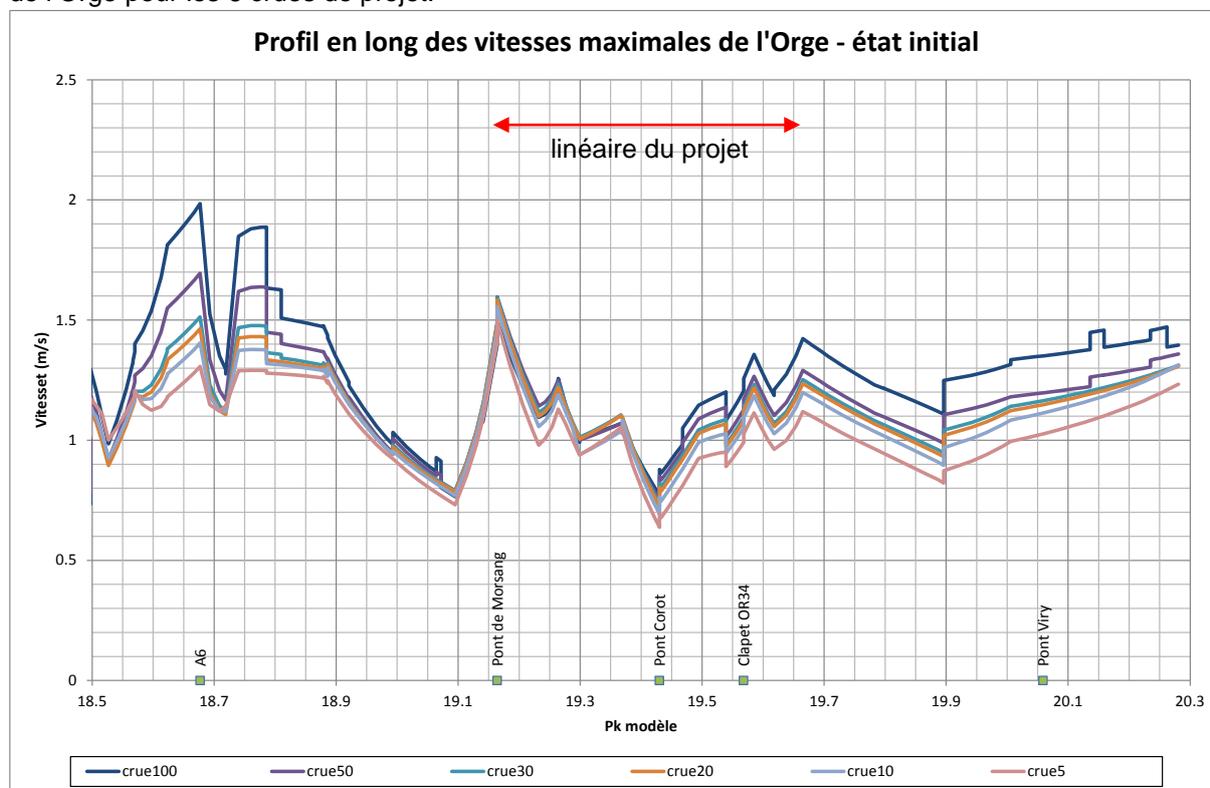


Figure 9 : Profil en long des vitesses du lit mineur de l'Orge dans l'état actuel

Le tableau ci-dessous donne pour les 6 crues simulées, les vitesses maximales d'écoulement dans le lit mineur de l'Orge à quelques points particuliers de la zone d'étude :

Vitesse maximale (m/s)	Cru					
	100ans	50ans	30ans	20ans	10ans	5ans
Points particuliers						
A6	2.0	1.7	1.5	1.5	1.4	1.3
Pont Morsang amont	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
Pont Morsang aval	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5
Pont Corot amont	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6
Pont Corot aval	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7
Clapet OR34 amont	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0
Clapet OR34 aval	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0
Pont Viry	1.4	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0

Tableau 3 : Vitesses maximales dans l'Orge pour les six crues simulées – Etat initial

Les vitesses d'écoulement dans le lit mineur de l'Orge sur le linéaire étudié varient peu d'une crue à l'autre et sont comprises entre 0.7m/s et 2/s, les vitesses les plus importantes étant observées à proximité de l'autoroute A6 et du pont de Morsang.

4.2.4 Les vues en plan des zones inondées

Les vues en plan des zones inondées pour les crues de période de retour 5 à 100ans sont données ci-après. Elles indiquent les hauteurs maximales de submersion en lit majeur de l'Orge en 5 classes :

- inférieures à 25cm,
- comprises entre 25cm et 50cm,
- comprises entre 50cm et 1m,
- comprises entre 1m et 2m,
- supérieures à 2m.

4.2.4.1 Crue de période de retour 5 ans

La figure page suivante donne une vue en plan des zones inondées pour une crue de période de retour 5ans.

Dans la zone d'étude, de légers débordements sont observés en rive gauche de l'Orge au droit du secteur Kennedy ; les hauteurs maximales de submersion sont inférieures à 25cm.

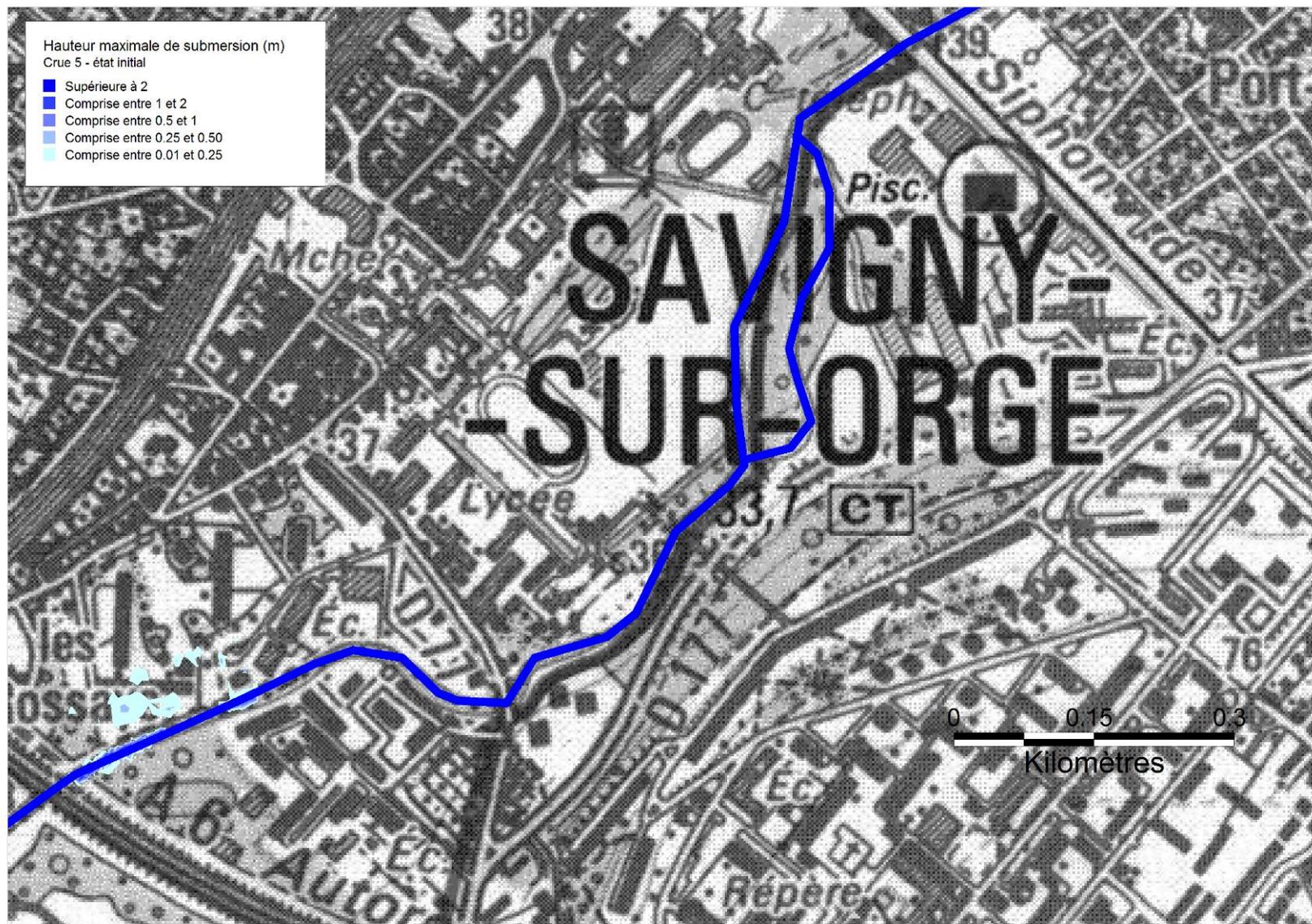


Figure 10 : Vue en plan des zones inondées pour une crue de période de retour 5ans – Etat initial

4.2.4.1 Crue de période de retour 10 ans

La figure page suivante donne une vue en plan des zones inondées pour une crue de période de retour 10ans.

Pour la crue décennale, des débordements de l'Orge vers le secteur Kennedy en rive gauche sont observés, entraînant des hauteurs maximales de submersion généralement inférieures à 25cm et localement inférieures à 50cm.

Pour rappel, en termes de niveau d'eau maximal dans l'Orge, l'écart entre la crue décennale et la crue quinquennale est de l'ordre de 20cm.

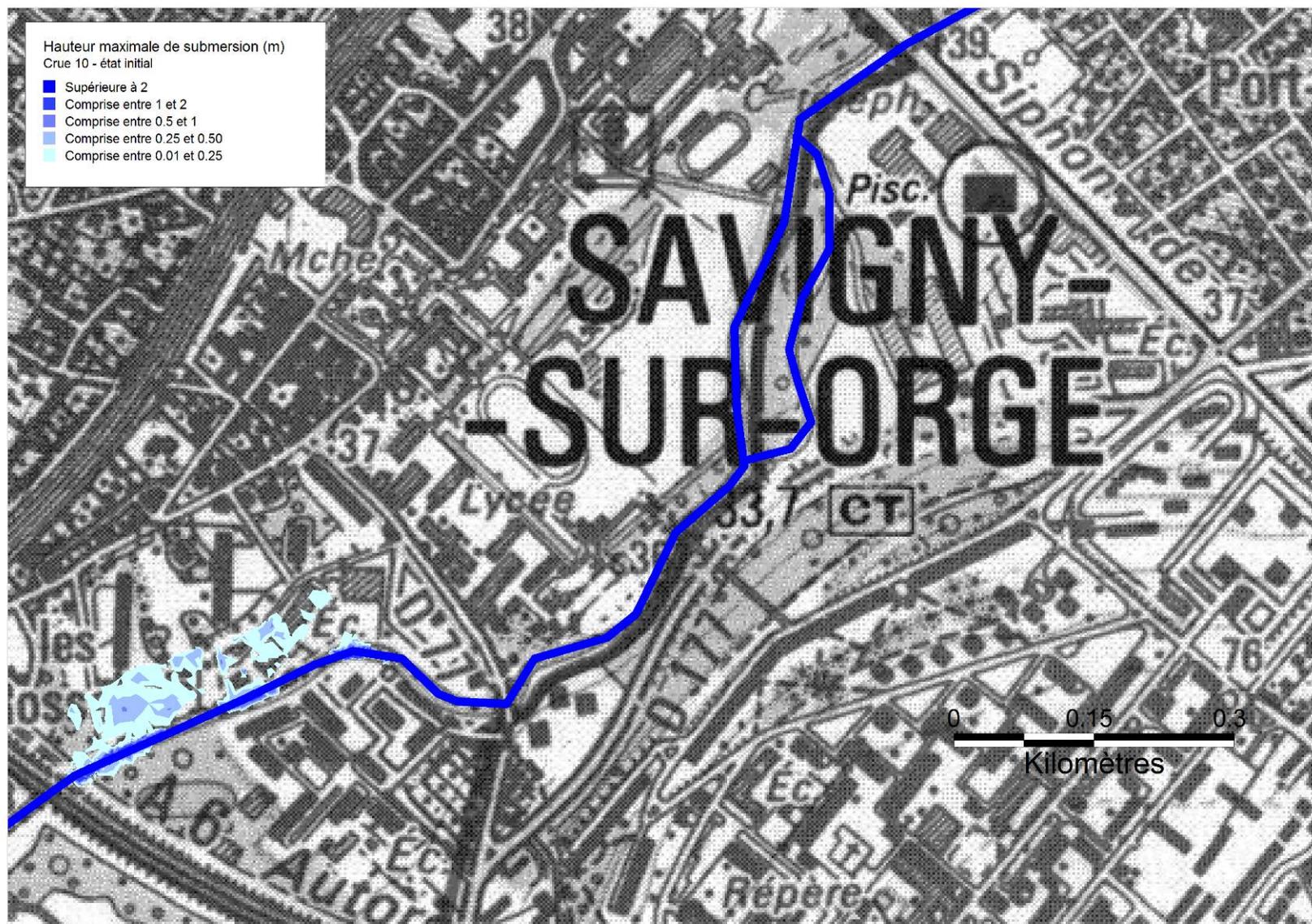


Figure 11 : Vue en plan des zones inondées pour une crue de période de retour 10ans – Etat initial

4.2.4.1 Crue de période de retour 20 ans

La figure page suivante donne une vue en plan des zones inondées pour une crue de période de retour 20ans.

Comme pour la crue décennale, des débordements de l'Orge vers le secteur Kennedy sont observés pour la crue vicennale, entraînant des hauteurs maximales de submersion généralement inférieures à 25cm et localement inférieures à 50cm ; quelques points bas sont inondés sous moins d'un mètre d'eau.

Pour rappel, en termes de niveau d'eau maximal dans l'Orge, l'écart entre la crue vicennale et la crue décennale est de l'ordre de 15cm.

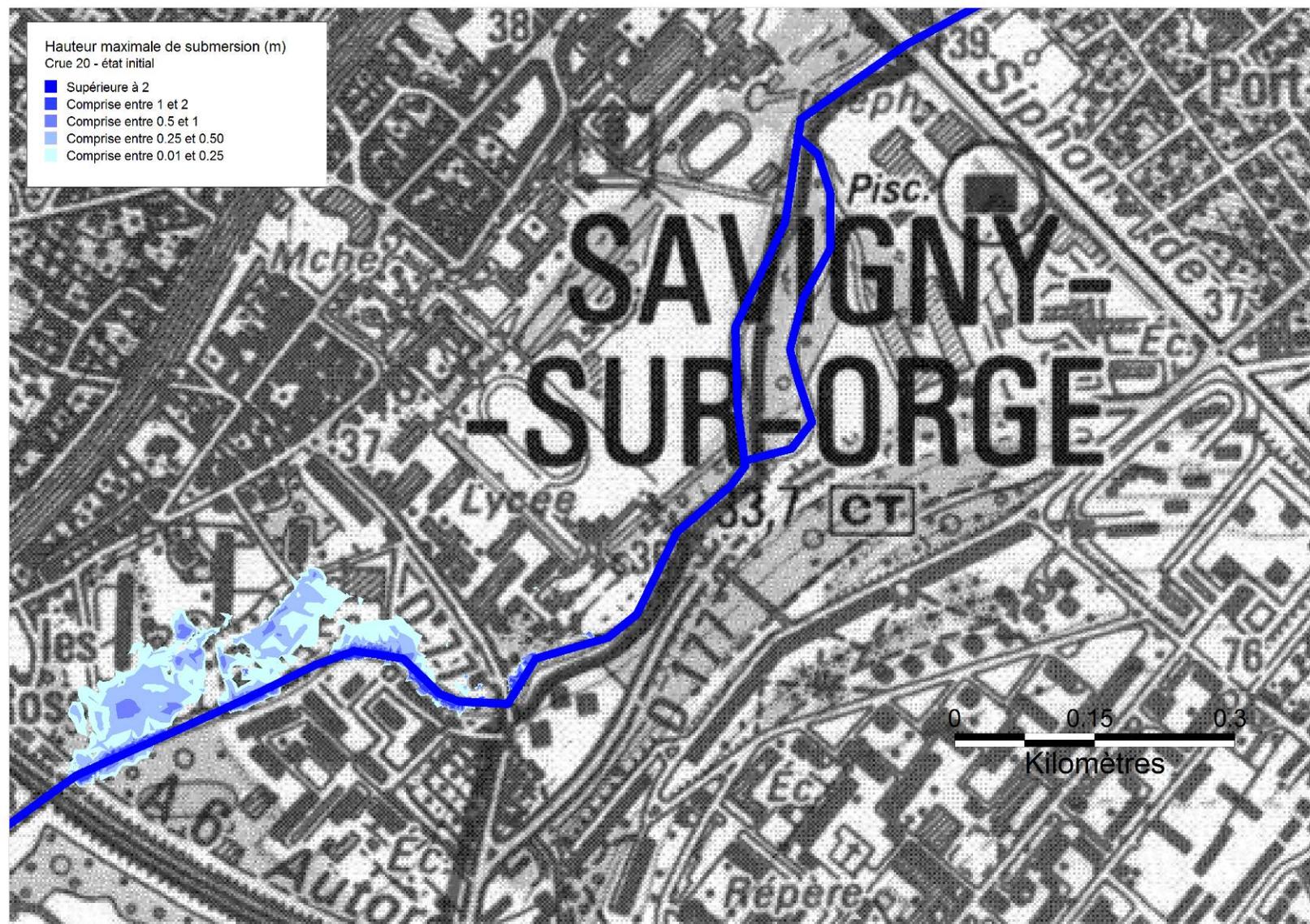


Figure 12 : Vue en plan des zones inondées pour une crue de période de retour 20ans – Etat initial

4.2.4.1 Crue de période de retour 30 ans

La figure page suivante donne une vue en plan des zones inondées pour une crue de période de retour 30ans.

Pour la crue de période de retour 30ans, le lycée Corot commence à être inondé par l'amont (la digue n'est pas submergée) et des débordements sont également observés à l'aval de l'autoroute A6 en rive droite de l'Orge (pour rappel, en termes de niveau d'eau maximal dans l'Orge, l'écart entre la crue vicennale et la crue trentennale est de l'ordre de 10cm).

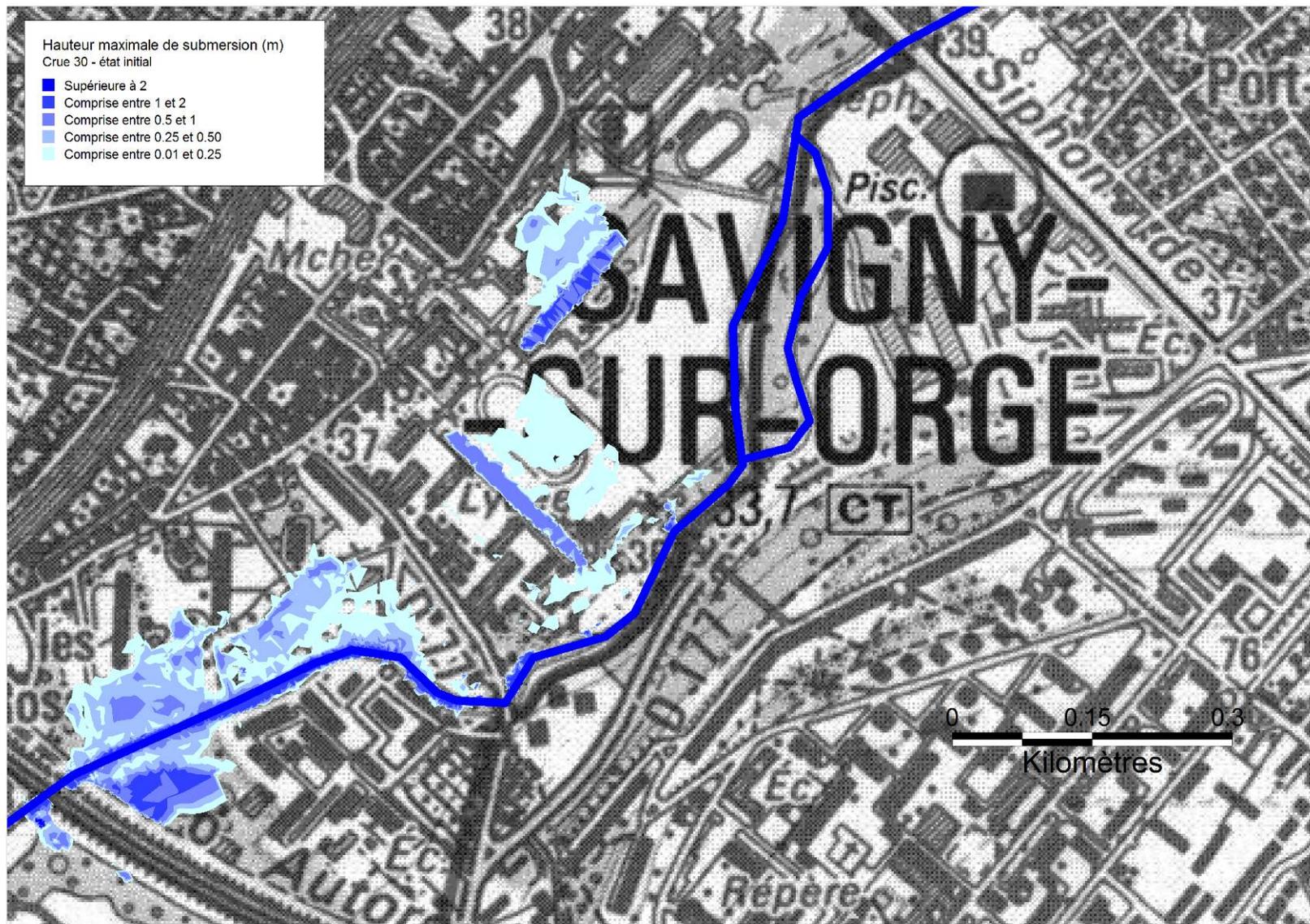


Figure 13 : Vue en plan des zones inondées pour une crue de période de retour 30ans – Etat initial

4.2.4.1 Crue de période de retour 50 ans

La figure page suivante donne une vue en plan des zones inondées pour une crue de période de retour 50ans.

Pour la crue de période de retour 50ans, l'emprise de la zone inondable augmente nettement par rapport à la crue de période de retour 30ans (pour rappel, en termes de niveau d'eau maximal dans l'Orge, l'écart entre les deux crues est de l'ordre de 30cm) : les débordements de l'Orge sont observés principalement vers son lit majeur gauche.

Pour la crue cinquantennale, la digue située le long du lycée Corot est submergée par les terrains situés à l'arrière de la digue : le secteur du lycée Corot est inondé progressivement par l'amont via le secteur Kennedy, jusqu'à atteindre une hauteur de submersion supérieure à la cote d'arase de la digue, entraînant la submersion de la digue. Les échanges se font alors du secteur du lycée Corot vers l'Orge.

Les hauteurs de submersion sur le secteur du lycée Corot sont comprises en moyenne entre 0.5m et 1m.

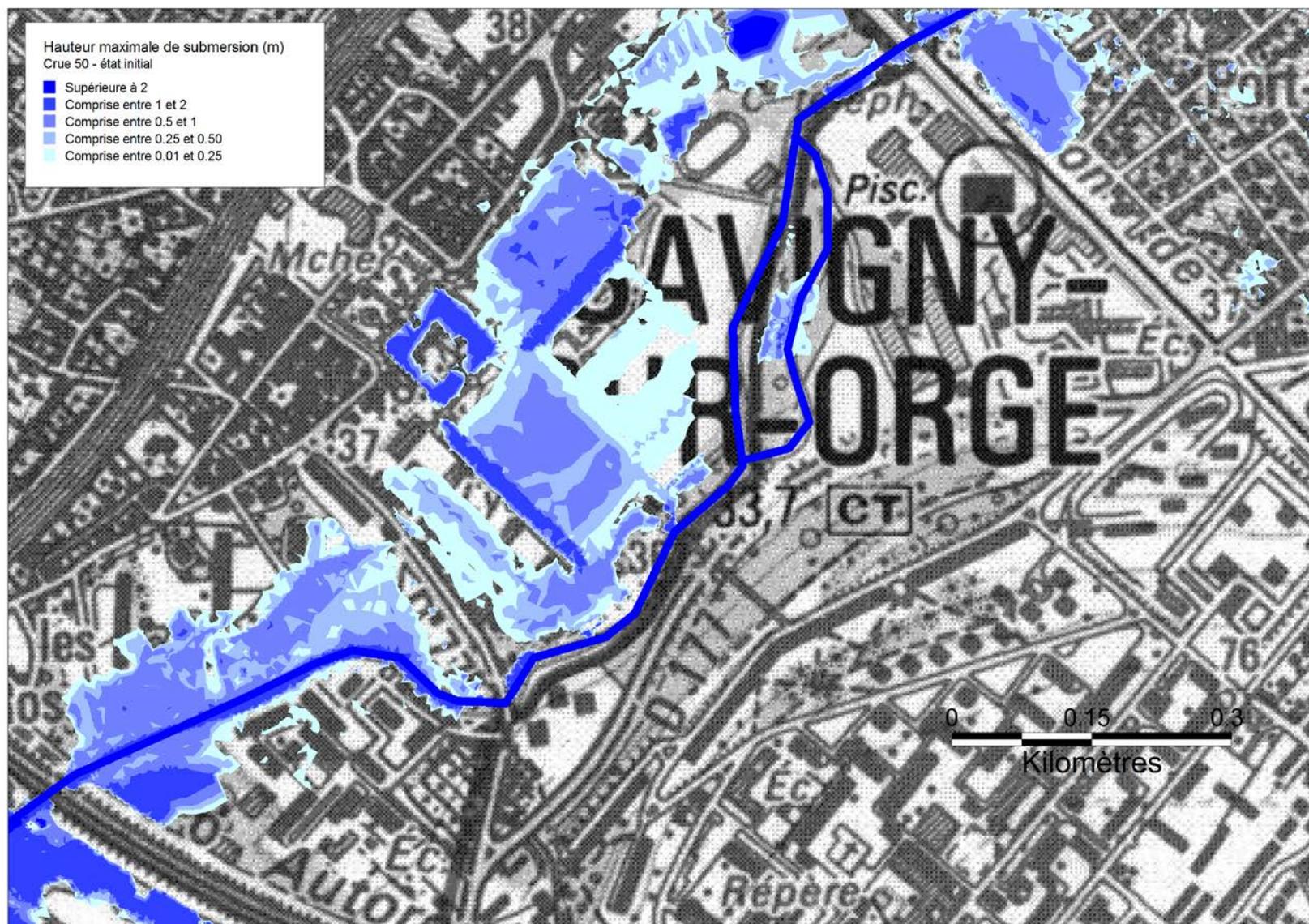


Figure 14 : Vue en plan des zones inondées pour une crue de période de retour 50ans – Etat initial

4.2.4.1 Crue de période de retour 100 ans

La figure page suivante donne une vue en plan des zones inondées pour une crue de période de retour 100ans.

Au droit du projet, l'emprise de la zone inondable pour une crue de période de retour 100ans varie peu par rapport à une crue de période de retour 50ans.

La digue située le long du lycée Corot est submergée par les terrains situés à l'arrière de la digue : le secteur du lycée Corot est inondé progressivement par l'amont via le secteur Kennedy, jusqu'à atteindre une hauteur de submersion supérieure à la cote d'arase de la digue, entraînant la submersion de la digue. Les échanges se font alors du secteur du lycée Corot vers l'Orge.

Les hauteurs de submersion sur le secteur du lycée Corot sont généralement supérieures à 1m.

Pour rappel, en termes de niveau d'eau maximal dans l'Orge, l'écart entre la crue cinquantennale et la crue centennale est de l'ordre de 30cm.

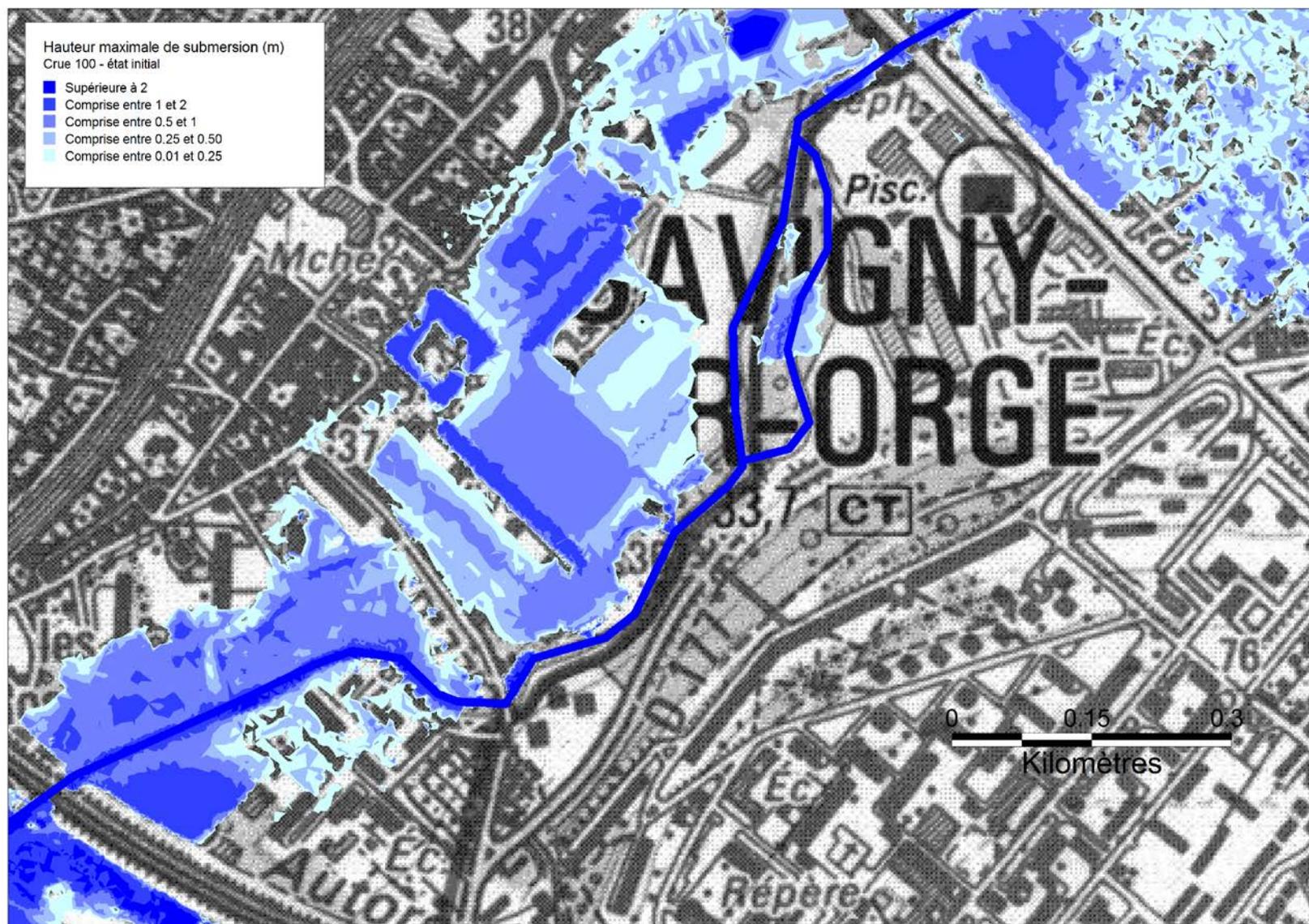


Figure 15 : Vue en plan des zones inondées pour une crue de période de retour 100ans – Etat initial

5 ETUDE DE L'IMPACT HYDRAULIQUE DU PROJET D'AMENAGEMENT DE BERGES

L'impact hydraulique du projet d'aménagement des berges de l'Orge dans la traversée du parc Duparchy, tel qu'il a été redéfini suites aux études précédentes, est évalué. Pour cela, le modèle est modifié pour représenter l'état aménagé (projet 2) et la simulation de la propagation des 6 crues de projet (période de retour 5 à 100ans) est réalisée. Cette modélisation permet d'extraire les résultats concernant les niveaux d'eau, les vitesses et les débits au droit du secteur aménagé.

5.1 PRESENTATION HYDRAULIQUE DU PROJET RETENU

La zone de renaturation concerne un linéaire de 400 mètres dans la traversée du parc Duparchy. Les travaux de renaturation vont essentiellement consister à réduire la section d'écoulement de l'Orge pour favoriser la diversification des écoulements et multiplier les habitats.

La figure suivante propose de situer deux profils en travers sur lesquels vont être présentés les travaux de renaturation envisagés. Il s'agit des profils en travers P4 et P12.

Dans ce secteur, l'Orge est très légèrement méandriforme. L'idée est d'accentuer cette tendance en mettant en place des banquettes végétalisées dans l'intrados de ces légers méandres. De cette façon les vitesses d'écoulement vont se trouver augmentées et le dépôt dans l'intrados sera favorisé, amplifiant de cette façon le caractère méandriforme du cours d'eau.

Pour illustrer ces propos, les travaux envisagés sur les profils P4 et P12 situés sur la Figure 16 sont présentés sur la Figure 17 et la Figure 18.

Le réaménagement des berges de l'Orge s'accompagne également :

- du remplacement de l'actuel pont Corot (pont arches) par une passerelle n'engendrant presque plus de perte de charge (remarque : en prenant cette hypothèse, cette passerelle n'a pas été modélisée dans la présente étude),
- la conservation de la digue le long du lycée Corot,
- le prolongement vers l'amont du bras rive droite de l'Orge pour augmenter la capacité d'évacuation du lit de l'Orge à l'aval de l'actuel pont Corot (allongement de 170m),
- le déplacement de la piste située en rive droite de l'Orge pour gagner en espace de liberté,
- le démantèlement et l'arasement complet de l'actuel clapet (nommé OR34 dans le modèle hydraulique) situé à l'aval de la défluence entre l'Orge et son bras rive droite.



Figure 16 : Vue en plan du projet d'aménagement des berges de l'Orge dans le parc de Duparchy – version 2

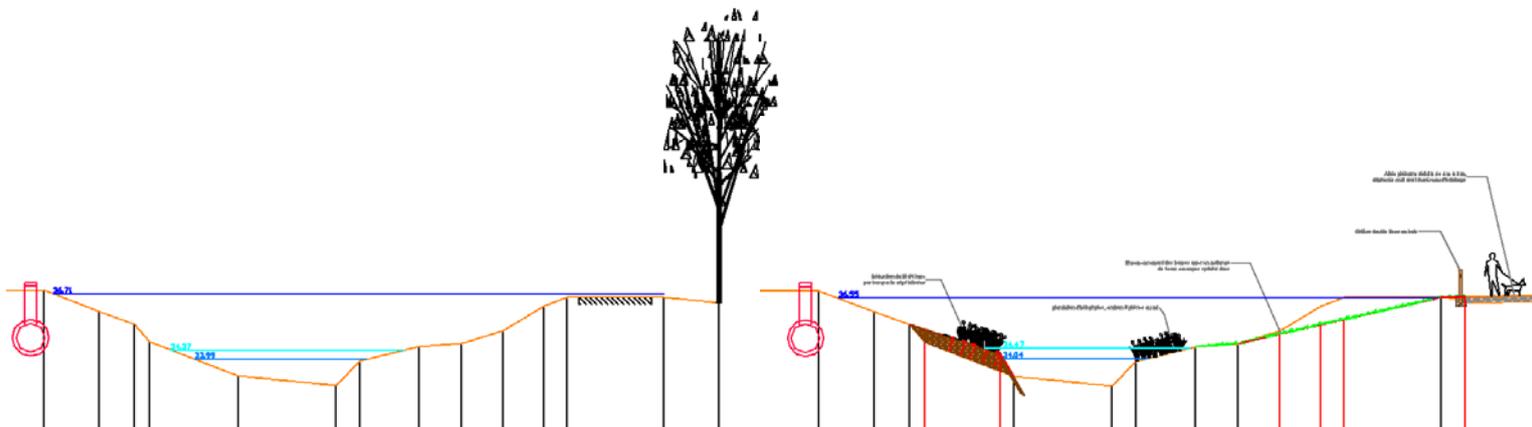


Figure 17 : Présentation des travaux de renaturation envisagés sur le profil P4

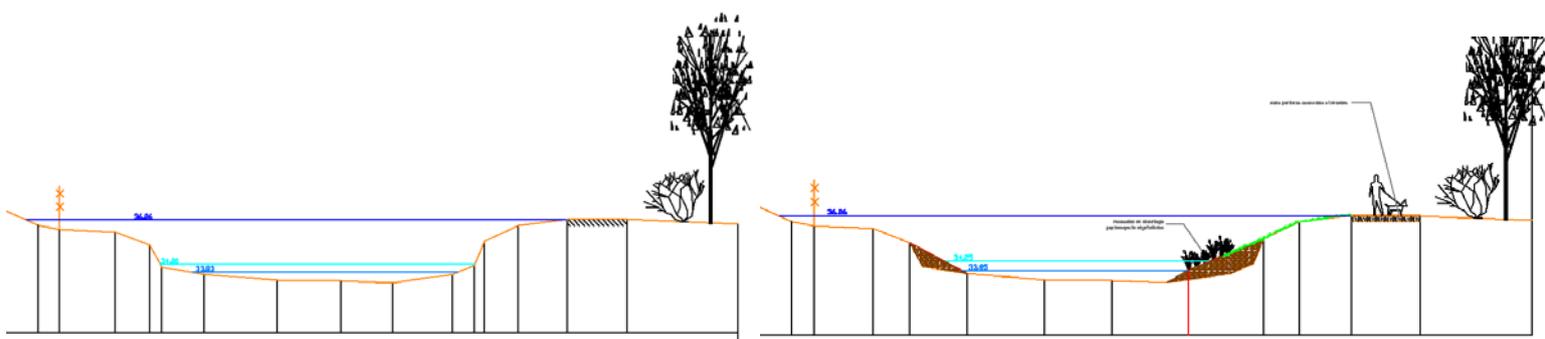


Figure 18 : Présentation des travaux de renaturation envisagés sur le profil P12

La réduction du lit mineur de l'Orge sur les deux profils précédents est de l'ordre de 20 à 25 %. Pour plus de détail sur les travaux de renaturation des berges de l'Orge, il faut se reporter à l'étude réalisée par le service paysage du SIVOA.

Pour tenir compte de ces aménagements, le modèle a été modifié en réduisant la section d'écoulement de certains biefs et en diminuant le coefficient de Strickler correspondant de 2 points afin de tenir compte de la végétalisation des banquettes. La réduction du coefficient de Strickler a été calculée au prorata de la largeur du lit mineur aménagée en banquettes végétalisées : sur le lit mineur non modifié, le coefficient de Strickler est initialement de 25 et sur les banquettes végétalisées, le coefficient est pris à 20 (sur le profil P4 par exemple, largeur totale du lit mineur de 20m dont 5m de banquettes végétalisées).

L'objectif de la modélisation est de vérifier l'impact de ces aménagements en cas de crue de l'Orge.

5.2 IMPACT DU PROJET SUR LES CONDITIONS D'ÉCOULEMENT

Les paragraphes suivants rendent compte du résultat de la modélisation détaillée du secteur dans la situation projetée pour les crues de projet et comparent cette situation projet (état projet version 2) avec la situation actuelle de référence.

L'analyse du fonctionnement de l'Orge dans sa configuration future et la comparaison avec l'état de référence défini précédemment sont menés à l'échelle d'un linéaire suffisant pour évaluer les enjeux dans la zone du projet : entre le pont de l'autoroute A6 à l'amont et le pont de Viry à l'aval.

5.2.1 Les profils en long en niveaux

La simulation des 6 crues de projet de période de retour comprise entre 5ans et 100ans pour le scénario projeté version 2 donne, en tout nœud de calcul du modèle, les niveaux d'eau, les débits et les vitesses d'écoulement.

Les graphiques ci-après présentent les lignes d'eau maximales calculées dans le lit mineur de l'Orge pour chacune des crues de projet, dans l'état projet et dans l'état initial.

5.2.1.1 Crue de période de retour 5ans

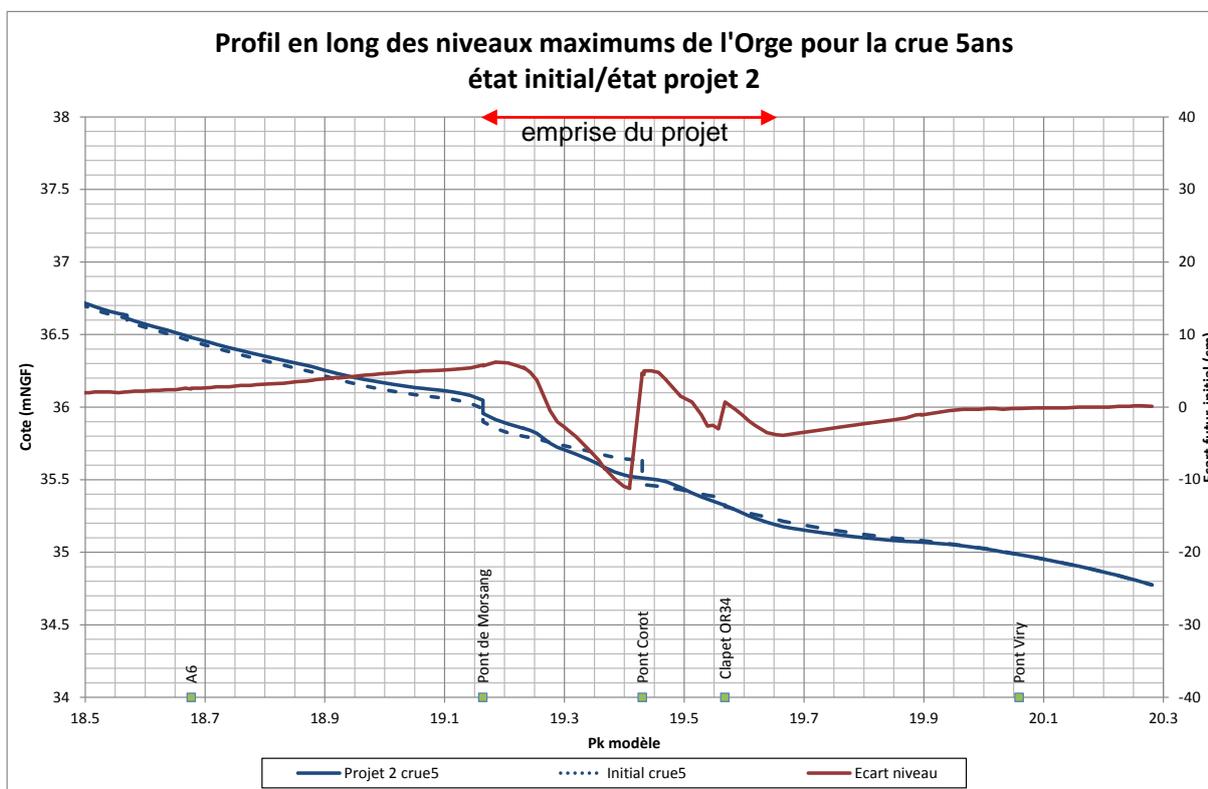


Figure 19 : Profil en long des niveaux d'eau atteints dans l'Orge pour la crue 5ans – état projet/état initial

L'aménagement des berges et les mesures compensatoires associées (suppression du pont Corot et du clapet, allongement du bras de l'Orge) induisent, pour la crue quinquennale, un exhaussement de la ligne d'eau atteignant au maximum 6cm en aval du pont de Morsang et 5cm en aval du pont Corot. Entre le clapet et le pont de Viry, le projet a tendance à abaisser les niveaux d'eau.

A l'amont de la zone de réaménagement, l'impact du projet diminue progressivement et au droit de l'autoroute A6, la surcote est inférieure à 3cm. L'impact de cet exhaussement sur l'emprise de la zone inondable est étudié au paragraphe 5.2.4.

5.2.1.2 Crue de période de retour 10ans

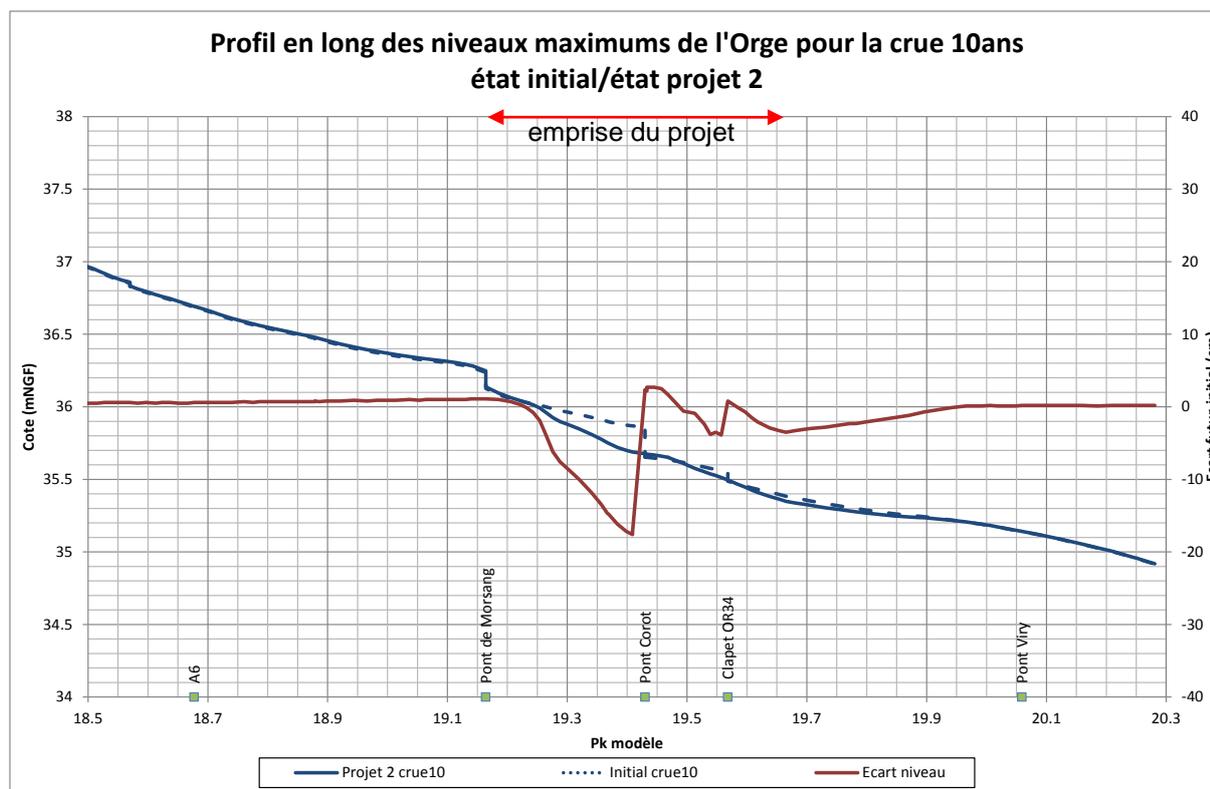


Figure 20 : Profil en long des niveaux d'eau atteints dans l'Orge pour la crue 10ans – état projet/état initial

L'aménagement des berges et les mesures compensatoires associées (suppression du pont Corot et du clapet, allongement du bras de l'Orge) induisent, pour la crue décennale, un exhaussement de la ligne d'eau atteignant au maximum 3cm en aval du pont Corot.

Entre le clapet et le pont de Viry, le projet a tendance à abaisser les niveaux d'eau.

A l'amont de la zone de réaménagement, le projet entraîne un exhaussement de la ligne d'eau, inférieur à 1cm au droit du pont de Morsang, c'est-à-dire compris dans l'incertitude numérique des calculs.

5.2.1.3 Crue de période de retour 20ans

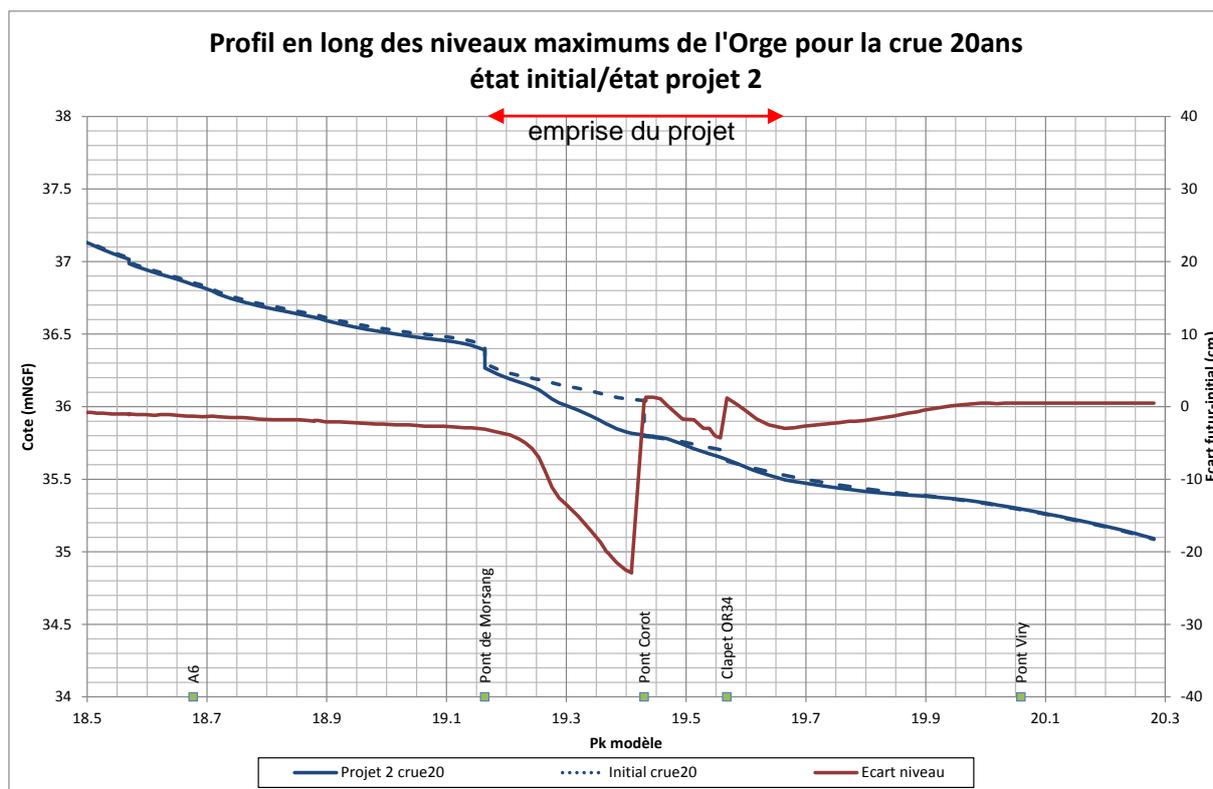


Figure 21 : Profil en long des niveaux d'eau atteints dans l'Orge pour la crue 20ans – état projet/état initial

L'aménagement des berges et les mesures compensatoires associées (suppression du pont Corot et du clapet, allongement du bras de l'Orge) induisent, pour la crue vicennale, un exhaussement ponctuel de la ligne d'eau inférieur à 1cm en aval du pont Corot et en aval du clapet.

A l'amont de la zone de réaménagement, le projet a tendance à abaisser les niveaux d'eau et au droit de l'autoroute A6, cet abaissement atteint 1cm.

A l'aval de la zone de réaménagement, le projet entraîne un exhaussement des niveaux d'eau, inférieur à 1cm.

5.2.1.4 Crue de période de retour 30ans

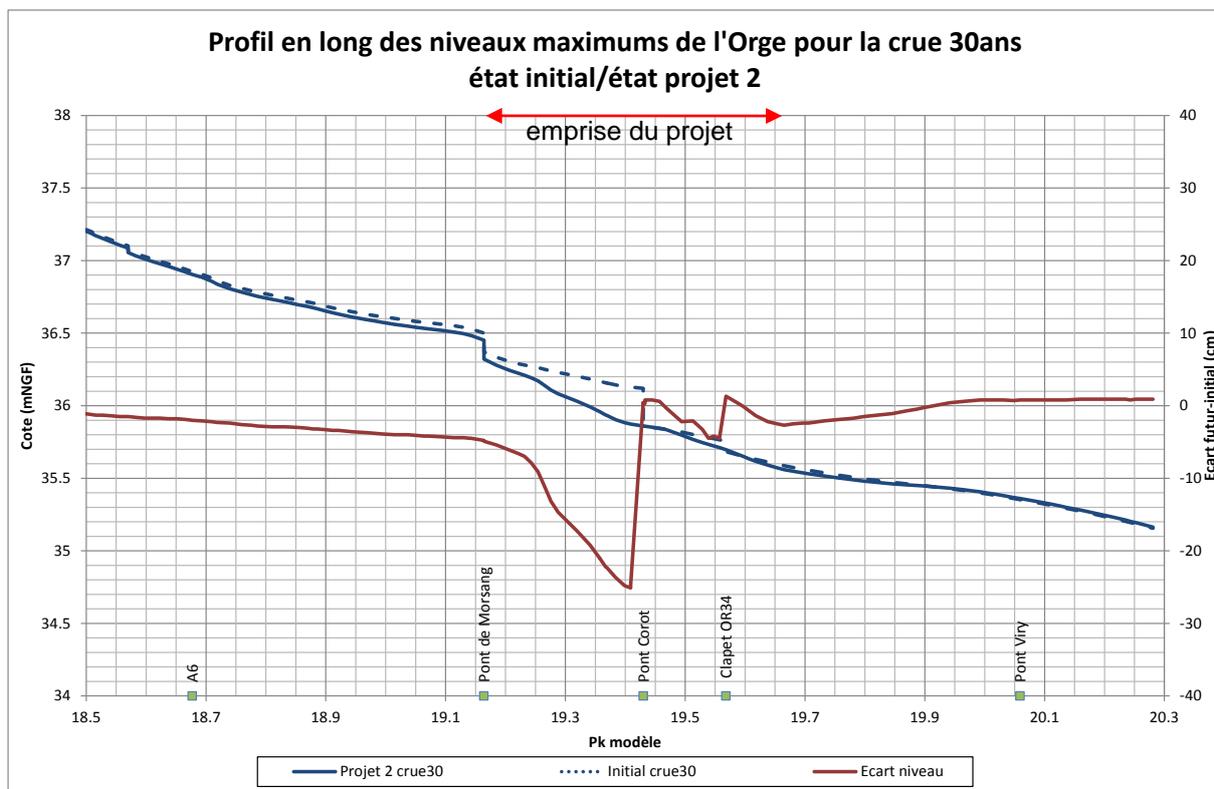


Figure 22 : Profil en long des niveaux d'eau atteints dans l'Orge pour la crue 30ans – état projet/état initial

L'aménagement des berges et les mesures compensatoires associées (suppression du pont Corot et du clapet, allongement du bras de l'Orge) induisent, pour la crue trentennale, un exhaussement ponctuel de la ligne d'eau inférieur à 1cm en aval du pont Corot et en aval du clapet.

A l'amont de la zone de réaménagement, le projet a tendance à abaisser les niveaux d'eau et au droit de l'autoroute A6, cet abaissement atteint 2cm.

A l'aval de la zone de réaménagement, le projet entraîne un exhaussement des niveaux d'eau, inférieur à 1cm.

5.2.1.5 Crue de période de retour 50ans

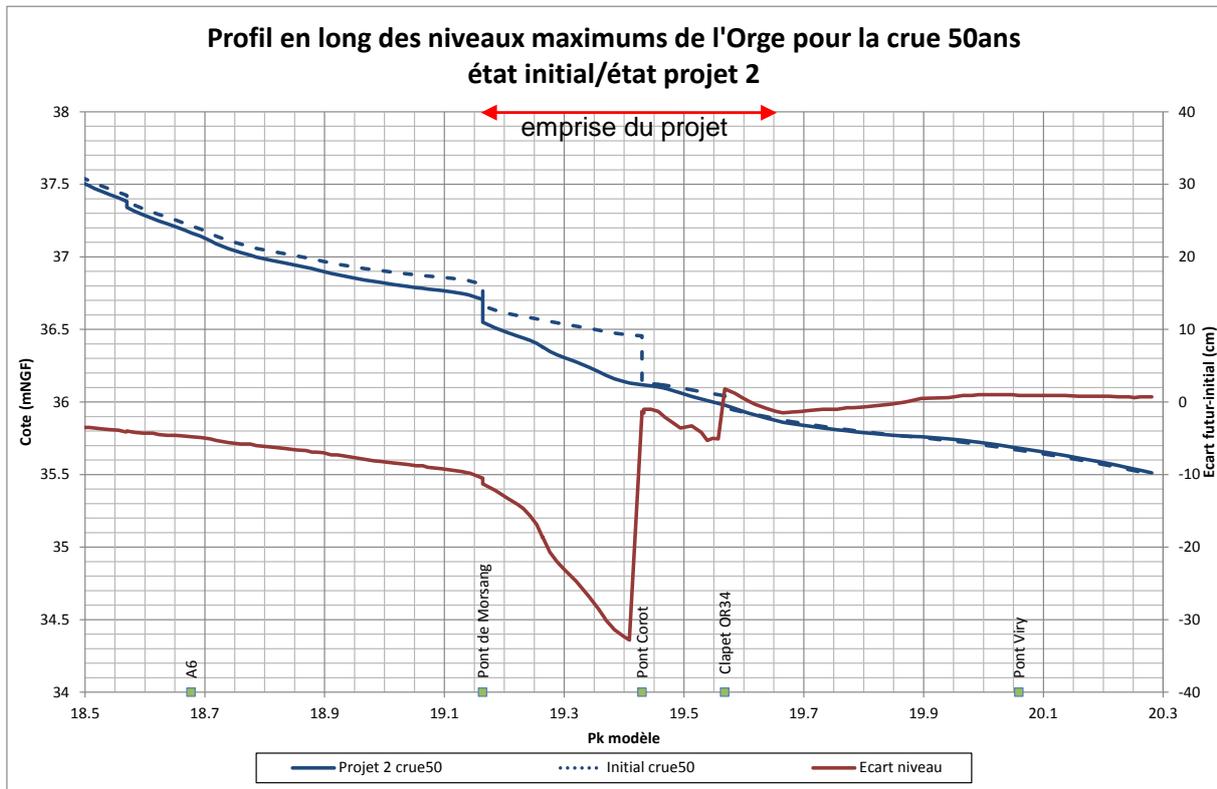


Figure 23 : Profil en long des niveaux d'eau atteints dans l'Orge pour la crue 50ans – état projet/état initial

L'aménagement des berges et les mesures compensatoires associées (suppression du pont Corot et du clapet, allongement du bras de l'Orge) induisent, pour la crue cinquantennale, un exhaussement ponctuel de la ligne d'eau inférieur à 2cm en aval du clapet.

Au droit et en amont de la zone de réaménagement, le projet a tendance à abaisser les niveaux d'eau et au droit de l'autoroute A6, cet abaissement atteint 5cm.

A l'aval de la zone de réaménagement, le projet entraîne un exhaussement des niveaux d'eau, inférieur à 1cm.

5.2.1.6 Crue de période de retour 100ans

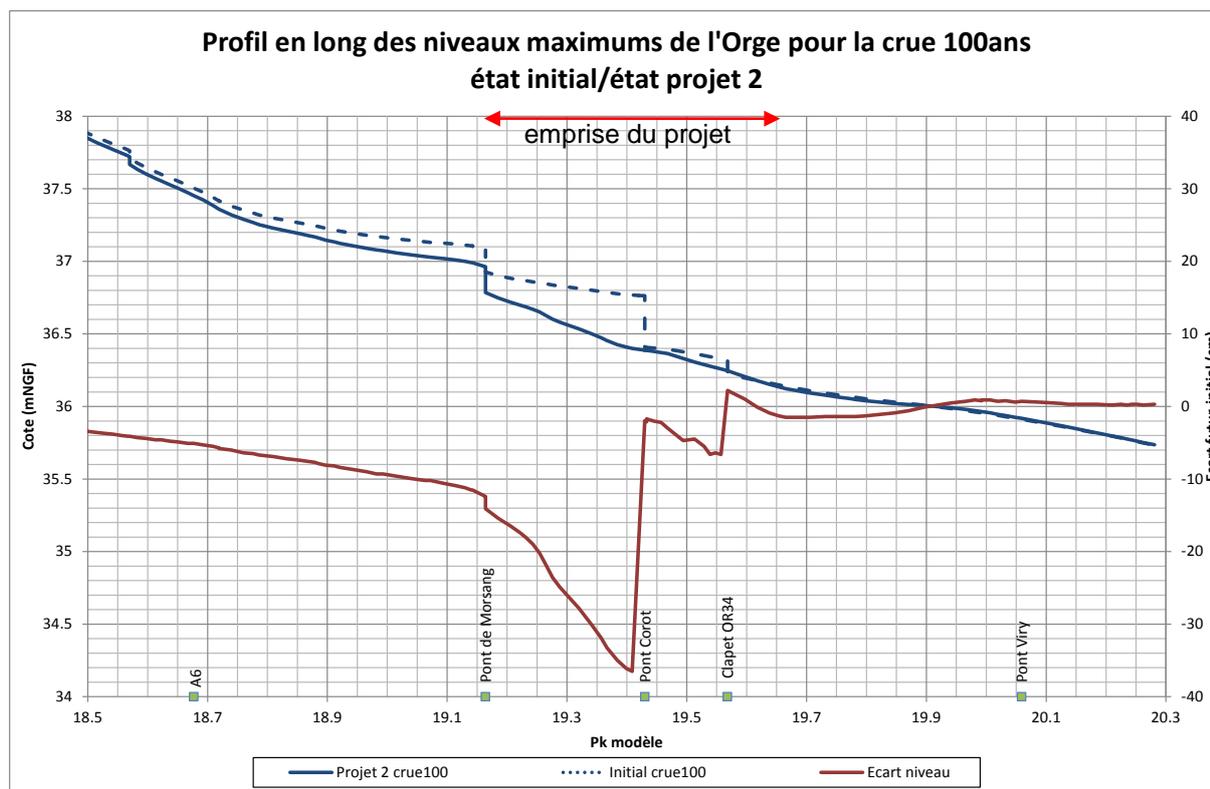


Figure 24 : Profil en long des niveaux d'eau atteints dans l'Orge pour la crue 100ans – état projet/état initial

L'aménagement des berges et les mesures compensatoires associées (suppression du pont Corot et du clapet, allongement du bras de l'Orge) induisent, pour la crue centennale, un exhaussement ponctuel de la ligne d'eau inférieur à 2cm en aval du clapet.

Au droit et en amont de la zone de réaménagement, le projet a tendance à abaisser les niveaux d'eau et au droit de l'autoroute A6, cet abaissement atteint 5cm.

A l'aval de la zone de réaménagement, le projet entraîne un exhaussement des niveaux d'eau, inférieur à 1cm.

5.2.1.7 Synthèse

Le tableau ci-après donne pour les 6 crues simulées, les cotes d'eau maximales atteintes dans l'Orge à quelques points particuliers de la zone d'étude dans l'état projet et dans l'état initial et les écarts :

Cote maximale (mNGF) Points particuliers	Crue																	
	100ans			50ans			30ans			20ans			10ans			Sans		
	Initial	Projet	Ecart (cm)															
A6	37.50	37.45	-5.1	37.21	37.17	-4.8	36.92	36.90	-2.0	36.85	36.84	-1.3	36.69	36.69	0.6	36.45	36.48	2.5
Pont Morsang amont	37.09	36.96	-12.4	36.81	36.71	-10.5	36.50	36.45	-4.8	36.42	36.39	-3.1	36.24	36.25	1.1	35.99	36.05	5.8
Pont Morsang aval	36.93	36.79	-14.1	36.66	36.55	-11.3	36.37	36.32	-4.9	36.30	36.27	-3.1	36.13	36.14	1.1	35.90	35.96	5.7
Pont Corot amont	36.76	36.40	-36.3	36.46	36.13	-32.5	36.12	35.87	-24.7	36.04	35.82	-22.5	35.86	35.69	-17.3	35.63	35.52	-10.9
Pont Corot aval	36.41	36.39	-2.0	36.13	36.12	-1.4	35.86	35.86	0.4	35.80	35.80	0.8	35.65	35.68	2.3	35.47	35.51	4.6
Clapet OR34 amont	36.32	36.26	-6.6	36.04	35.99	-5.1	35.76	35.71	-4.5	35.70	35.65	-4.3	35.55	35.51	-3.9	35.37	35.34	-3.0
Clapet OR34 aval	36.22	36.25	2.2	35.96	35.98	1.8	35.68	35.70	1.3	35.62	35.64	1.2	35.49	35.50	0.8	35.32	35.32	0.7
Pont Viry	35.91	35.92	0.7	35.67	35.68	0.7	35.35	35.36	0.8	35.29	35.30	0.5	35.14	35.14	0.2	34.99	34.98	-0.2

Tableau 4 : Cotes calculées dans l'Orge pour les six crues simulées – Etat projet/état initial

Pour les crues de période de retour supérieure à 10ans, le projet a tendance à abaisser les niveaux d'eau à l'amont du clapet (suppression de la perte de charge du pont Corot) et à augmenter légèrement les niveaux d'eau à l'aval (exhaussement inférieur à 1cm) en raison de l'augmentation du débit qui circule dans l'Orge (diminution des débordements). Cependant, d'après les cartes de hauteurs de submersion présentées au paragraphe 5.2.4, ces exhaussements de la ligne d'eau n'ont pas d'impact sur l'emprise des zones inondées à l'aval.

Pour les crues de période de retour inférieure à 10ans, le projet a tendance à augmenter les niveaux d'eau à l'amont de 8cm au maximum pour la crue quinquennale (la suppression du pont Corot ne permet pas de compenser intégralement les impacts des aménagements de berge). Mais ces exhaussements de la ligne d'eau sont situés dans des secteurs où l'Orge ne déborde pas pour des crues inférieures à la décennale.

5.2.2 Les profils en long des débits

Le graphique ci-après présente les profils en long des débits maximaux calculés dans le lit de l'Orge pour les 6 crues de projet dans l'état aménagé et dans l'état initial.

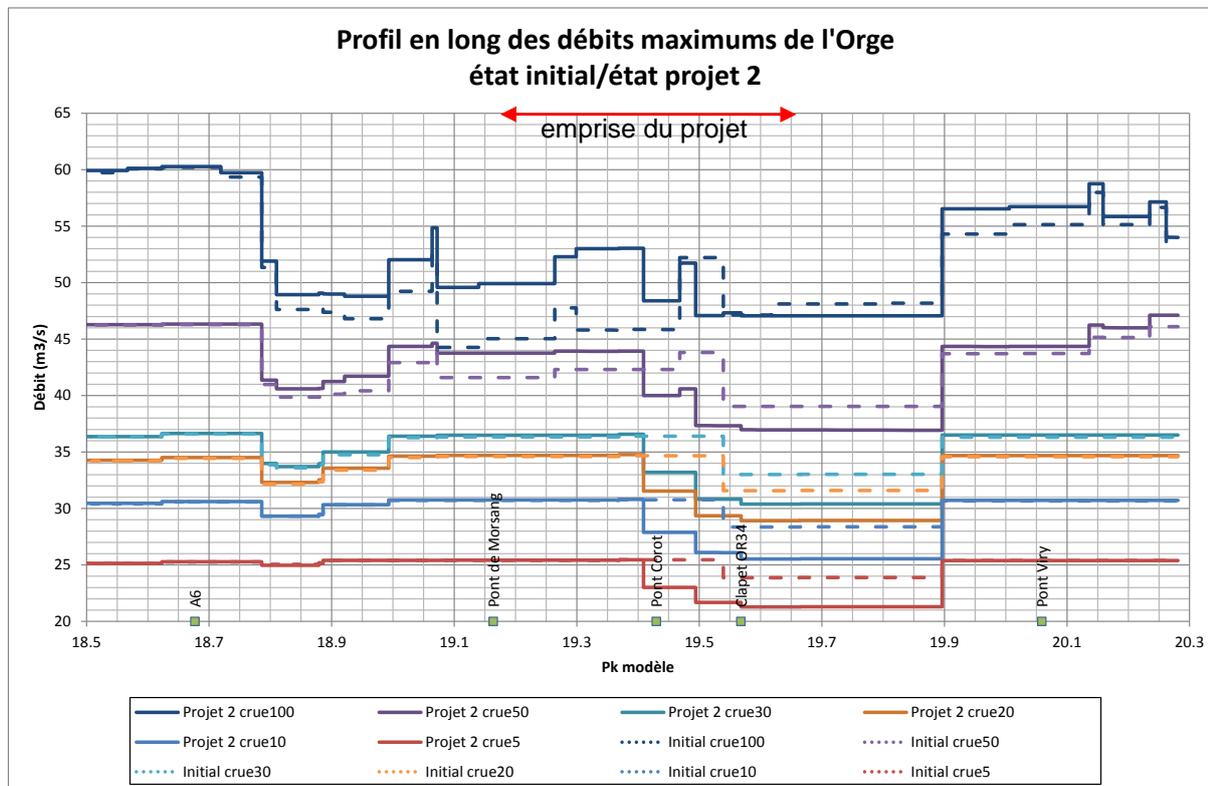


Figure 25 : Profil en long des débits maximaux circulant dans l'Orge – état projet/état initial

Le tableau ci-après donne pour les 6 crues simulées, les débits maximaux circulant dans le lit mineur de l'Orge à quelques points particuliers de la zone d'étude, dans l'état projet et dans l'état initial et les écarts.

Débit maximal (m3/s)	Crue																	
	100ans			50ans			30ans			20ans			10ans			Sans		
	Initial	Projet	Ecart (m3/s)															
A6	60.2	60.3	0.1	46.3	46.3	0.0	36.6	36.6	0.0	34.4	34.5	0.1	30.6	30.6	0.0	25.3	25.3	0.0
Pont Morsang amont	45.0	49.9	4.9	41.6	43.8	2.2	36.3	36.5	0.2	34.6	34.7	0.1	30.7	30.8	0.0	25.4	25.4	0.0
Pont Morsang aval	45.0	49.9	4.9	41.6	43.8	2.2	36.3	36.5	0.2	34.6	34.7	0.1	30.7	30.8	0.0	25.4	25.4	0.0
Pont Corot amont	45.9	48.4	2.5	42.3	40.0	-2.3	36.4	33.2	-3.2	34.7	31.5	-3.1	30.8	27.9	-2.9	25.5	23.0	-2.5
Pont Corot aval	45.9	48.4	2.5	42.3	40.0	-2.3	36.4	33.2	-3.2	34.7	31.5	-3.1	30.8	27.9	-2.9	25.5	23.0	-2.5
Clapet OR34 amont	47.1	47.3	0.2	39.0	37.3	-1.7	33.0	30.8	-2.2	31.6	29.4	-2.2	28.4	26.1	-2.3	23.9	21.7	-2.2
Clapet OR34 aval	47.1	47.3	0.2	39.0	37.3	-1.7	33.0	30.8	-2.2	31.6	29.4	-2.2	28.4	26.1	-2.3	23.9	21.7	-2.2
Pont Viry	55.1	56.7	1.6	43.7	44.4	0.6	36.3	36.5	0.2	34.6	34.7	0.1	30.7	30.7	0.0	25.4	25.4	0.0

Tableau 5 : Débits maximaux circulant dans l'Orge pour les six crues simulées – état projet/état initial

En amont du clapet, le projet a peu d'impact sur le débit qui transite dans le lit mineur de l'Orge pour les crues de période de retour inférieure à 50ans ; pour les crues supérieures, le débit qui circule dans le lit mineur de l'Orge est augmentée, en raison de la diminution des débordements de l'Orge (abaissement du niveau d'eau suite à la suppression du pont Corot).

A l'aval du clapet, le prolongement du bras rive droite de l'Orge entraine une augmentation du débit qui circule dans ce bras et donc une diminution du débit dans le bras principal de l'Orge pour toutes les crues étudiées.

A l'aval de la confluence entre le bras et l'Orge, le débit de pointe circulant dans le lit mineur est augmenté (de 1 à 3m3/s) pour les crues de période de retour supérieure à 50ans mais sans impact notable sur les niveaux d'eau, comme vu précédemment.

5.2.3 Les profils en long de vitesses

Le graphique ci-après présente les profils en long des vitesses maximales calculées dans le lit mineur de l'Orge pour les 6 crues de projet dans l'état aménagé et dans l'état initial.

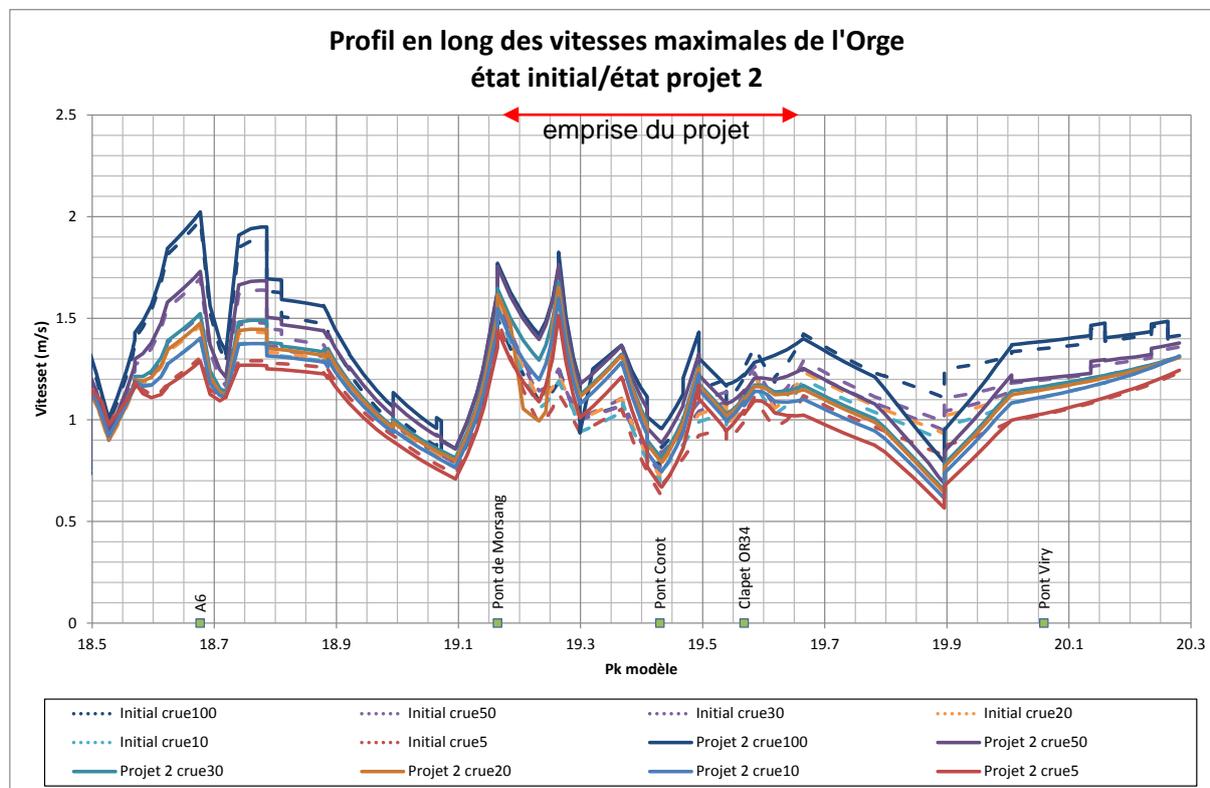


Figure 26 : Profil en long des vitesses du lit mineur de l'Orge – état projet/état initial

Le tableau ci-après donne pour les 6 crues simulées, les vitesses maximales d'écoulement dans le lit mineur de l'Orge à quelques points particuliers de la zone d'étude, dans l'état projet et dans l'état initial et les écarts.

Vitesse maximale (m/s)	Crue																	
	100ans			50ans			30ans			20ans			10ans			Sans		
Points particuliers	Initial	Projet	Ecart (m/s)															
A6	2.0	2.0	0.0	1.7	1.7	0.0	1.5	1.5	0.0	1.5	1.5	0.0	1.4	1.4	0.0	1.3	1.3	0.0
Pont Morsang amont	1.4	1.6	0.2	1.5	1.6	0.1	1.5	1.5	0.0	1.5	1.5	0.0	1.5	1.4	0.0	1.4	1.4	-0.1
Pont Morsang aval	1.5	1.8	0.3	1.6	1.8	0.2	1.6	1.6	0.1	1.6	1.6	0.0	1.6	1.5	0.0	1.5	1.4	-0.1
Pont Corot amont	0.8	1.0	0.2	0.8	1.0	0.2	0.7	0.9	0.2	0.7	0.9	0.2	0.7	0.8	0.1	0.6	0.8	0.1
Pont Corot aval	0.9	1.0	0.1	0.9	0.9	0.0	0.8	0.8	0.0	0.8	0.8	0.0	0.8	0.8	0.0	0.7	0.7	0.0
Clapet OR34 amont	1.2	1.2	0.0	1.1	1.1	0.0	1.1	1.1	0.0	1.1	1.1	0.0	1.1	1.0	0.0	1.0	1.0	0.0
Clapet OR34 aval	1.3	1.2	0.0	1.2	1.1	0.0	1.1	1.1	0.0	1.1	1.1	0.0	1.1	1.1	0.0	1.0	1.0	0.0
Pont Viry	1.4	1.4	0.0	1.2	1.2	0.0	1.2	1.2	0.0	1.1	1.1	0.0	1.1	1.1	0.0	1.0	1.0	0.0

Tableau 6 : Vitesses maximales dans l'Orge pour les six crues simulées – état projet/état initial

Le projet d'aménagement entraîne une légère augmentation des vitesses à l'amont du projet (0.3m/s pour la crue centennale), liée à la réduction des débordements en lit majeur et donc à l'augmentation du débit en lit mineur de l'Orge.

Sur le linéaire du projet, en amont du clapet, le projet entraîne une augmentation des vitesses dans le lit mineur, atteignant 0.6m/s au pk 19.25. Il sera donc important d'apporter une attention particulière aux plantations dans les zones de survitesse.

En aval du clapet, le projet a tendance à diminuer les vitesses d'écoulement dans le lit mineur, en raison de la baisse du débit qui circule dans le lit principal de l'Orge au profit du bras rive droite.

5.2.4 Les vues en plan des zones inondées

Les vues en plan des zones inondées dans l'état projet pour les crues de période de retour 5 à 100ans sont données ci-après. Elles indiquent les hauteurs maximales de submersion en lit majeur de l'Orge en 5 classes :

- inférieures à 25cm,
- comprises entre 25cm et 50cm,
- comprises entre 50cm et 1m,
- comprises entre 1m et 2m,
- supérieures à 2m.

Est également indiquée la limite de la zone inondable dans l'état initial.

5.2.4.1 Crue de période de retour 5 ans

La figure page suivante donne une vue en plan des zones inondées dans l'état projet pour une crue de période de retour 5ans.

L'exhaussement des niveaux d'eau calculés dans le lit mineur de l'Orge en amont de la zone renaturée n'est pas suffisant pour se traduire par une augmentation de la zone inondable pour la crue quinquennale : celle-ci est identique dans l'état projet et l'état initial et les hauteurs de submersion sont les mêmes.

De plus les exhaussements calculés à l'aval du pont Corot sont situés dans une zone où l'Orge ne déborde pas de son lit mineur pour la crue quinquennale, sauf dans la zone située entre les deux bras de l'Orge dont le terrain est abaissé dans la situation projet.

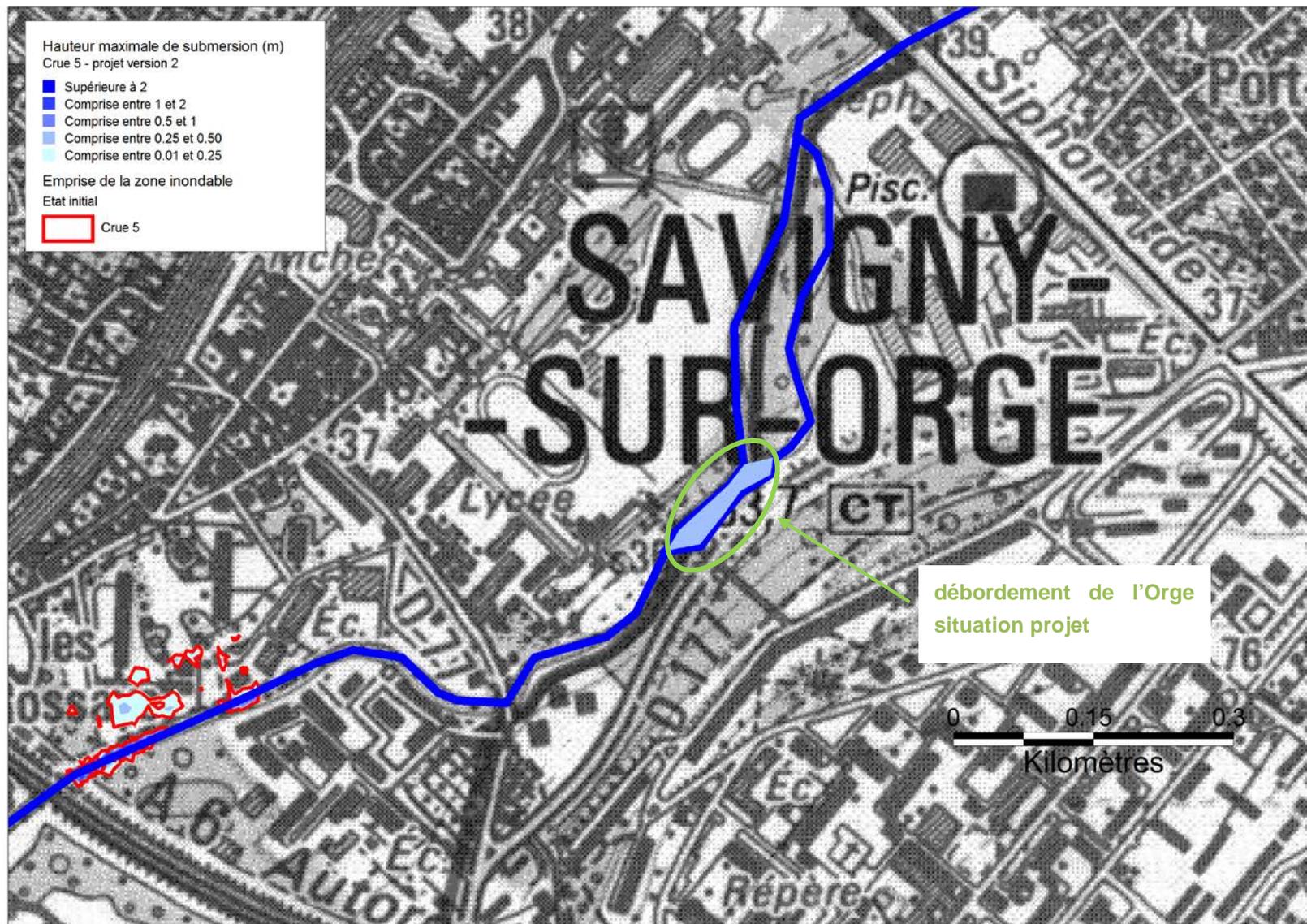


Figure 27 : Vue en plan des zones inondées pour une crue de période de retour 5ans – Etat projet

5.2.4.2 Crue de période de retour 10 ans

La figure page suivante donne une vue en plan des zones inondées dans l'état projet pour une crue de période de retour 10ans.

L'exhaussement des niveaux d'eau calculés dans le lit mineur de l'Orge en amont de la zone renaturée n'est pas suffisant pour se traduire par une augmentation de la zone inondable pour la crue décennale : celle-ci est identique dans l'état projet et l'état initial et les hauteurs de submersion sont les mêmes.

De plus les exhaussements calculés à l'aval du pont Corot sont situés dans une zone où l'Orge ne déborde pas de son lit mineur pour la crue décennale, sauf dans la zone située entre les deux bras de l'Orge dont le terrain est abaissé dans la situation projet.

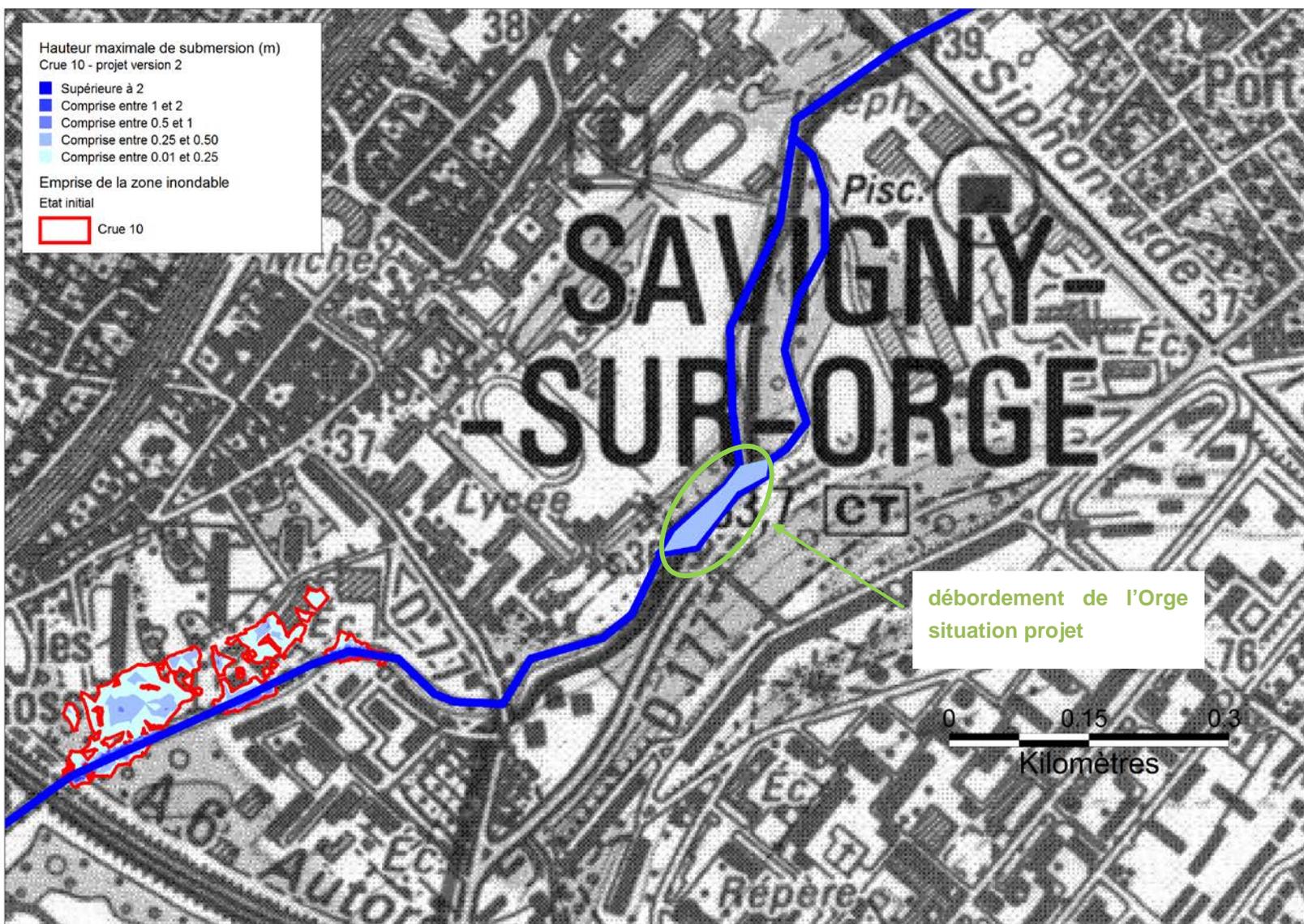


Figure 28 : Vue en plan des zones inondées pour une crue de période de retour 10ans – Etat projet

5.2.4.3 Crue de période de retour 20 ans

La figure page suivante donne une vue en plan des zones inondées dans l'état projet pour une crue de période de retour 20ans.

L'abaissement des niveaux d'eau calculés dans le lit mineur de l'Orge en amont de la zone renaturée n'est pas suffisant pour se traduire par une diminution de la zone inondable pour la crue vicennale : celle-ci est identique dans l'état projet et l'état initial et les hauteurs de submersion sont les mêmes.

La zone située entre les deux bras de l'Orge dont le terrain est abaissé dans la situation projet est inondée pour la crue vicennale avec des hauteurs d'eau comprises entre 0.5m et 1m.

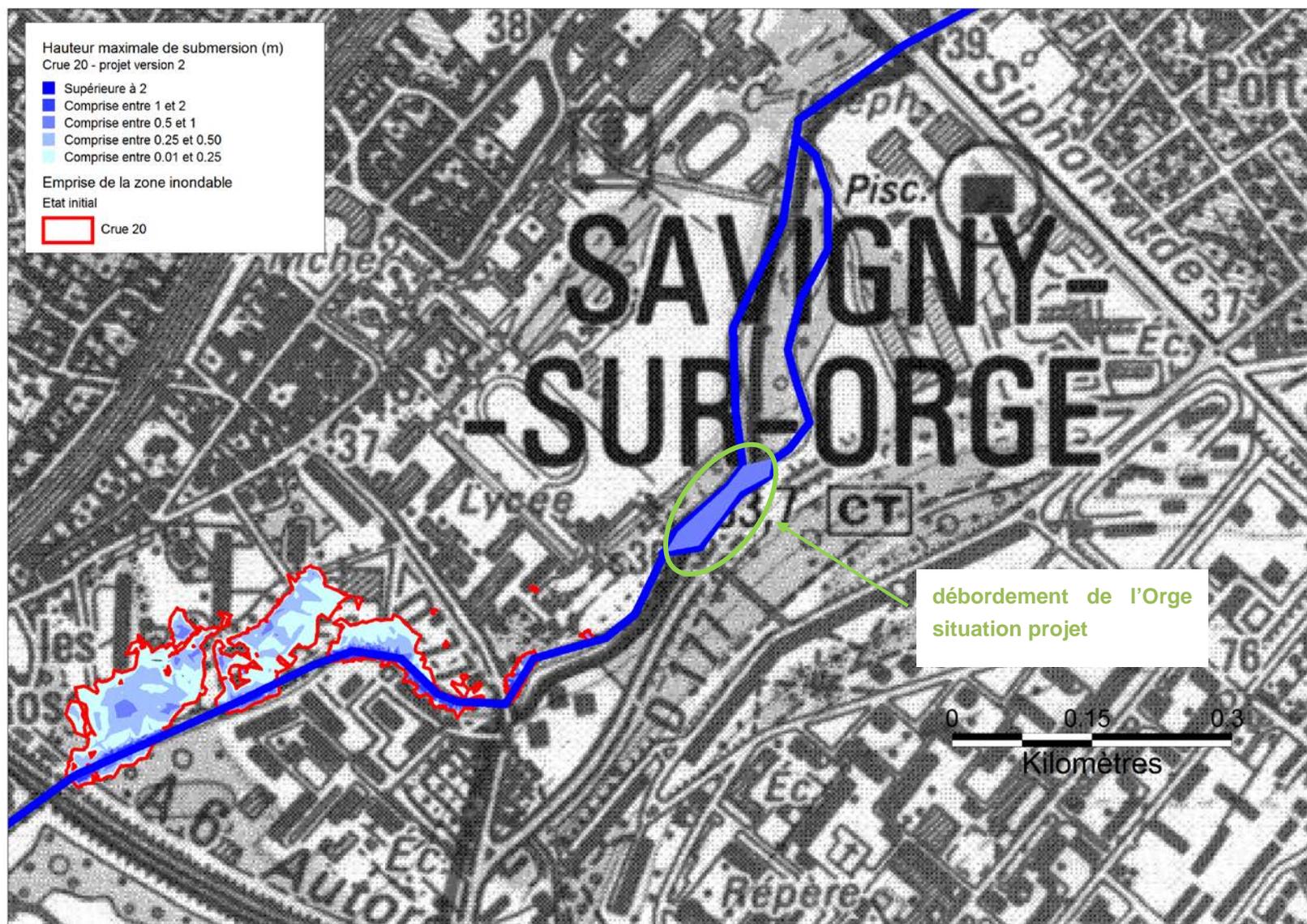


Figure 29 : Vue en plan des zones inondées pour une crue de période de retour 20ans – Etat projet

5.2.4.4 Crue de période de retour 30 ans

La figure page suivante donne une vue en plan des zones inondées dans l'état projet pour une crue de période de retour 30ans.

L'abaissement des niveaux d'eau calculés dans le lit mineur de l'Orge de 25cm au droit du pont Corot et de 2cm au droit de l'autoroute permet de réduire l'emprise de la zone inondable pour la crue trentennale dans la situation projet, dans le secteur Kennedy et dans le lycée Corot.

La zone située entre les deux bras de l'Orge dont le terrain est abaissé dans la situation projet est inondée pour la crue trentennale avec des hauteurs d'eau comprises entre 0.5m et 1m.

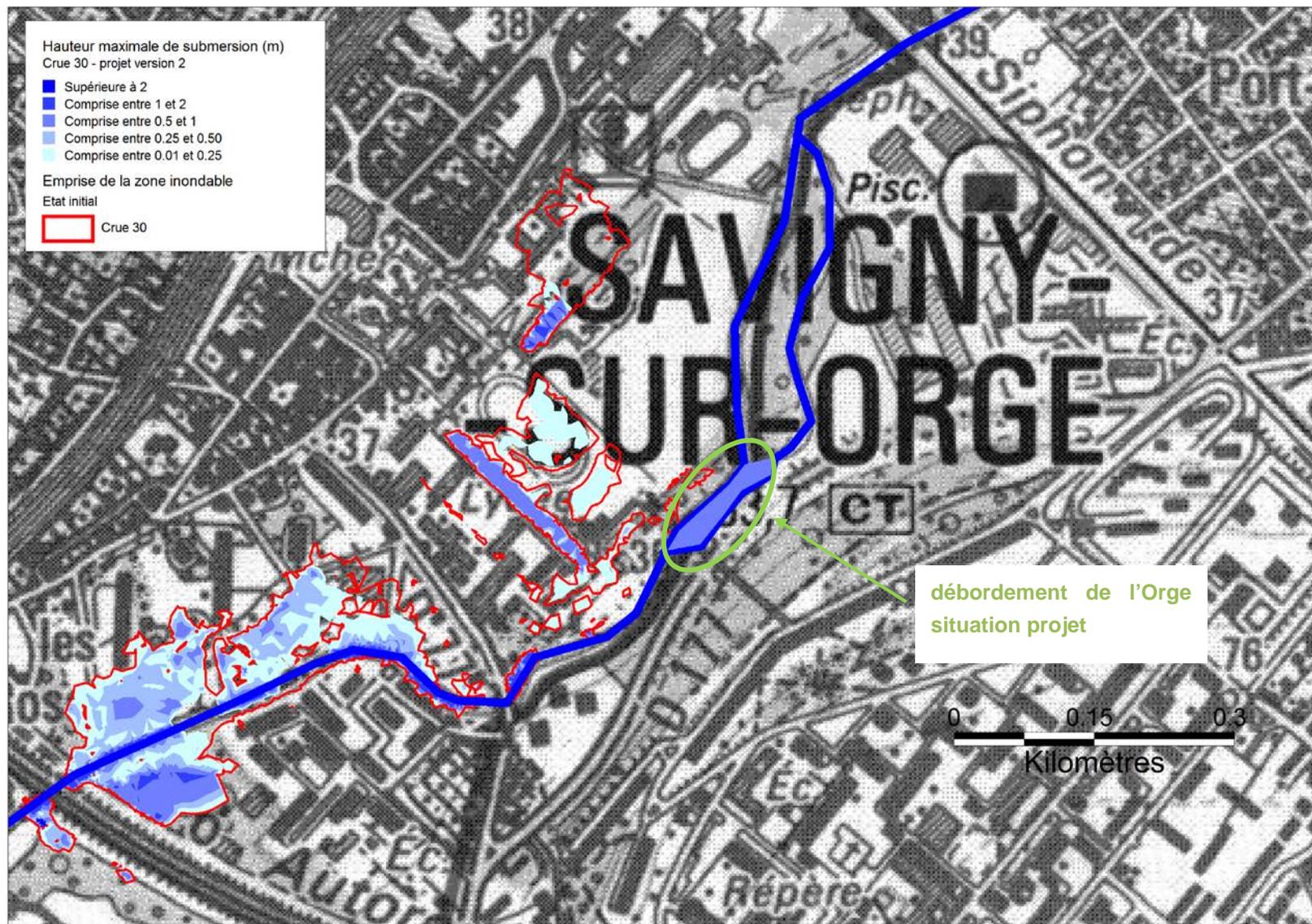


Figure 30 : Vue en plan des zones inondées pour une crue de période de retour 30ans – Etat projet

5.2.4.5 Crue de période de retour 50 ans

La figure page suivante donne une vue en plan des zones inondées dans l'état projet pour une crue de période de retour 50ans.

L'abaissement des niveaux d'eau calculés pour la situation projet dans le lit mineur de l'Orge de 32cm au droit du pont Corot et de 5cm au droit de l'autoroute permet de réduire légèrement les hauteurs de submersion atteintes en lit majeur, sans diminuer l'emprise de la zone inondable pour la crue cinquantennale.

La zone située entre les deux bras de l'Orge dont le terrain est abaissé dans la situation projet est inondée pour la crue cinquantennale avec des hauteurs d'eau comprises entre 0.5m et 1m.

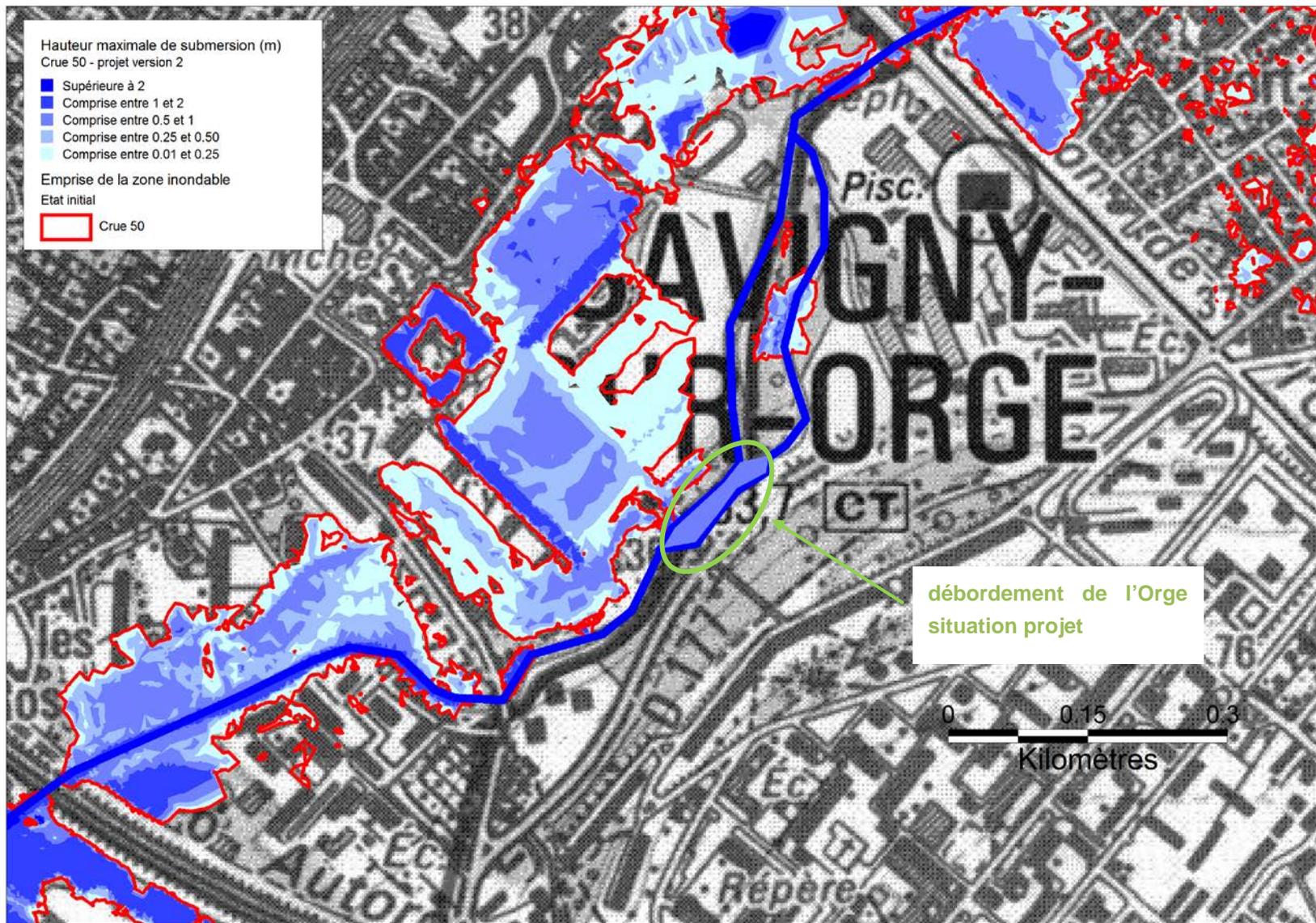


Figure 31 : Vue en plan des zones inondées pour une crue de période de retour 50ans – Etat projet

5.2.4.6 Crue de période de retour 100 ans

La figure page suivante donne une vue en plan des zones inondées dans l'état projet pour une crue de période de retour 100ans.

L'abaissement des niveaux d'eau calculés pour la situation projet dans le lit mineur de l'Orge de 36cm au droit du pont Corot et de 5cm au droit de l'autoroute permet de réduire légèrement les hauteurs de submersion atteintes en lit majeur, sans diminuer l'emprise de la zone inondable pour la crue centennale.

Des débordements de l'Orge sont observés à l'aval du clapet dans la situation projet sur une faible largeur.

La zone située entre les deux bras de l'Orge dont le terrain est abaissé dans la situation projet est inondée pour la crue centennale avec des hauteurs d'eau comprises entre 1m et 1.5m.

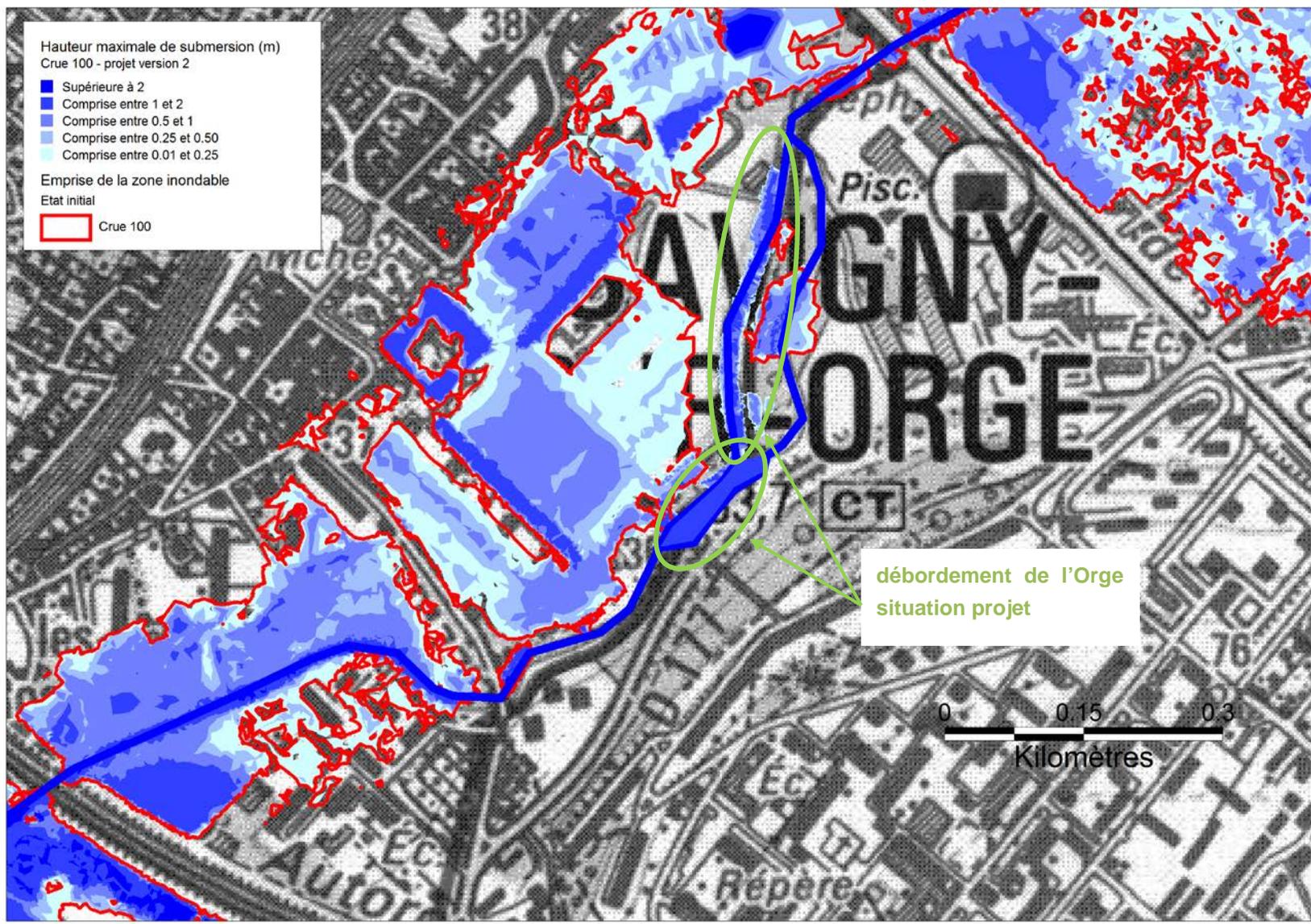


Figure 32 : Vue en plan des zones inondées pour une crue de période de retour 100ans – Etat projet

6 SYNTHÈSE

Le SIVOA souhaite reprofiler les berges de l'Orge dans la traversée du parc Duparchy à Savigny-sur-Orge. La zone de renaturation du projet du SIVOA concerne un linéaire de 400 mètres environ et les travaux de renaturation vont essentiellement consister à réduire la section d'écoulement de l'Orge pour favoriser la diversification des écoulements et multiplier les habitats.

Le secteur de la zone renaturée projetée est caractérisé par la présence d'une digue en rive gauche de l'Orge le long du lycée Corot. Cette digue était propriété de l'Etat et a été rétrocédée récemment à la région, et un collecteur intercommunal primaire appartenant au SIVOA est situé sous la digue.

Il s'agit d'un ouvrage de 1m de hauteur environ et de 300m de longueur.

De nombreux enjeux sont présents en arrière de la digue : installation sportive du lycée, bâtiments abritant le CIO (propriété de l'Etat), bâtiments du lycée Corot (propriété de la Région Ile-de-France), centre-ville de Savigny-sur-Orge, ainsi qu'en amont de la zone endiguée : secteur du quartier Kennedy.

Sur le linéaire renaturé, on note également la présence du pont Corot qui permet un accès piéton en direction du lycée depuis la rive droite de l'Orge.

Le projet d'aménagement des berges par le SIVOA a fait l'objet d'une première définition au premier semestre 2012, dont la modélisation a montré qu'il avait un impact négatif sur les écoulements en crue de l'Orge.

Dans ce contexte, le SIVOA a demandé à HYDRATEC de réaliser une étude hydraulique pour évaluer l'effet de mesures compensatoires de réduction de l'impact hydraulique de l'aménagement des berges de l'Orge proposé par le SIVOA, afin de garantir que le projet n'est pas susceptible d'aggraver les risques d'inondation ou d'en provoquer de nouveaux, et qu'il ne fait pas obstacle à l'écoulement des eaux.

Cette étude a été réalisée à partir du modèle des écoulements en crue de l'Orge construit par hydratec en 2006, dont la zone concernée par le projet d'aménagement des berges dans la traversée du parc Duparchy a été affinée (prise en compte des profils en travers de l'Orge levés en 2010 et évaluation de la perte de charge créée par le pont Corot à l'aide du logiciel WOH).

Cette étude a montré que les mesures compensatoires proposées par le SIVOA (suppression de la perte de charge créée par le pont Corot et/ou suppression de la digue du lycée Corot) ne permettent pas de supprimer intégralement les impacts hydrauliques liés à l'aménagement des berges de l'Orge dans la traversée du parc Duparchy (exhaussement de la ligne d'eau engendrée par le rétrécissement de la section hydraulique après la mise en place de banquettes végétalisées) :

- la suppression de la perte de charge du pont Corot permet de compenser les impacts des aménagements de berges en amont du pont mais entraîne un exhaussement de la ligne d'eau à l'aval du pont pour les crues fortes en raison d'un débit plus important qui transite dans le lit mineur de l'Orge,
- la suppression supplémentaire de la digue du lycée Corot rend le lycée inondable dès la crue vicennale (trentennale dans l'état initial) mais réduit les hauteurs de submersion atteintes dans le secteur pour les crues plus fortes en permettant une vidange directe des terrains vers l'Orge.

Ainsi, pour limiter les impacts de l'aménagement de berges végétalisées et de réduction du lit d'étiage, le SIVOA a défini, au second semestre 2012, un nouveau projet d'aménagement de berges en dimensionnant le lit d'étiage de façon à augmenter les hauteurs d'eau et les vitesses pour les débits compris entre 1 et 5 m³/s mais en augmentant également la section d'écoulement des moyennes et hautes eaux en rive droite pour compenser la réduction de la section du lit d'étiage.

Ce projet d'aménagement de berges s'accompagne :

- du remplacement de l'actuel pont Corot (pont arches) par une passerelle n'engendrant presque plus de perte de charge (remarque : en prenant cette hypothèse, cette passerelle n'a pas été modélisée dans la présente étude),
- la conservation de la digue le long du lycée Corot,
- le prolongement vers l'amont du bras rive droite de l'Orge pour augmenter la capacité d'évacuation du lit de l'Orge à l'aval de l'actuel pont Corot (allongement de 170m),
- le déplacement de la piste située en rive de l'Orge pour gagner en espace de liberté,
- le démantèlement et l'arasement complet de l'actuel clapet (nommé OR34 dans le modèle hydraulique) situé à l'aval de la défluence entre l'Orge et son bras rive droite.

La présente étude a eu pour objet de vérifier l'impact hydraulique de ce projet global. Il en ressort les résultats suivants :

- pour les crues de période de retour inférieure à 10ans, un exhaussement maximal de 6cm de la ligne d'eau est observé à l'amont de la zone renaturée : la suppression du pont Corot ne permet pas de compenser l'impact de l'aménagement des berges. Cependant cet exhaussement concerne un linéaire où l'Orge ne déborde pas : les zones inondables dans l'état projet ne sont pas modifiées, sauf dans la zone située entre les deux bras de l'Orge dont le terrain est abaissé dans la situation projet.
- pour les crues de période de retour supérieures à 30ans, la suppression du pont Corot permet d'abaisser les niveaux d'eau atteints en amont (de 36cm au maximum pour la crue centennale) et de réduire l'emprise de la zone inondable. Cependant cette diminution des débordements entraîne une augmentation de la part du débit qui s'écoule dans le lit mineur de l'Orge, en particulier à l'aval de la confluence du bras et de l'Orge, qui provoque une réhausse du niveau d'eau inférieure à 1cm au droit du pont de Viry et qui n'entraîne pas d'extension de la zone inondable à l'aval.
- l'arasement complet du clapet et le prolongement vers l'amont du bras rive droite de l'Orge permet de mieux alimenter le bras secondaire, avec une diminution du débit dans le bras principal de l'Orge, de l'ordre de 2m³/s.

Ce projet d'aménagement des berges et les mesures compensatoires associées apparaît donc acceptable d'un point de vue hydraulique, les principaux enjeux de la zone d'étude (secteur Kennedy, lycée Corot, quartier aval du pont de Viry, ...) étant soit moins inondés que dans l'état initial, soit inondés avec la même emprise.

7 ANNEXE 1 : PRESENTATION DU LOGICIEL WOH

Les ouvrages hydrauliques (OH) de traversée des lignes ferroviaires ou routières occasionnent des pertes de charge relativement importantes provoquant localement une remontée de niveau d'eau.

Afin d'estimer au mieux ces niveaux, HYDRATEC a développé le logiciel WOH en suivant les règles de Bernoulli et Manning-Strickler. Les méthodes de calculs utilisées dans le programme WOH tiennent compte de ces pertes de charge dues à l'entonnement dans l'ouvrage de tête, au frottement dans l'OH lui-même et à la condition limite du plan d'eau aval et permettent le calcul des lignes d'eau amont, aval et intérieur aux OH étudiés.

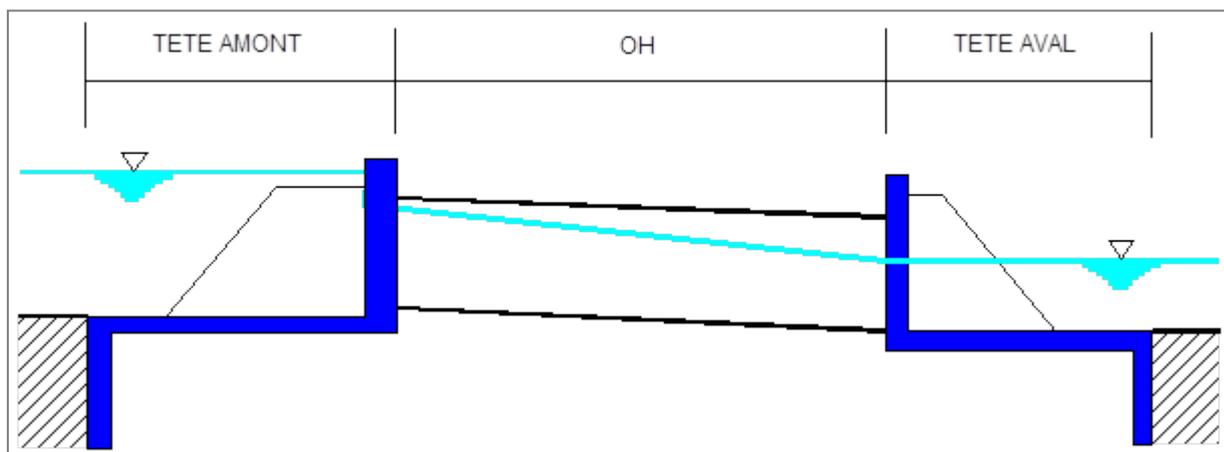


Figure 33 : Schéma explicatif d'une possible ligne d'eau d'un ouvrage hydraulique de traversée

7.1 DOMAINE DE VALIDITE ET THEORIE DE BASE

L'OH doit être fermé de forme géométrique bien définie, d'une longueur finie et posé à une pente positive ou nulle. Il peut être circulaire, rectangulaire ou paramétriquement fermé de type ovoïde ou dalot voûté.

L'écoulement utilisé est du type permanent et graduellement varié à débit constant. Les calculs de la ligne d'eau se font par pas de discrétisation constante d'amont vers l'aval ou d'aval vers l'amont selon le régime d'écoulement dans l'OH et la condition limite aval. D'un point de calcul à l'autre, on applique la loi de Bernoulli.

L'écoulement dans l'OH peut être à surface libre ou en charge.

Quand l'OH est à surface libre, il y règne deux régimes possibles : fluvial et torrentiel. Dans un cas comme dans l'autre, on utilise l'équation de Manning-Strickler pour calculer la hauteur normale et l'équation de l'énergie dite spécifique pour la hauteur critique.

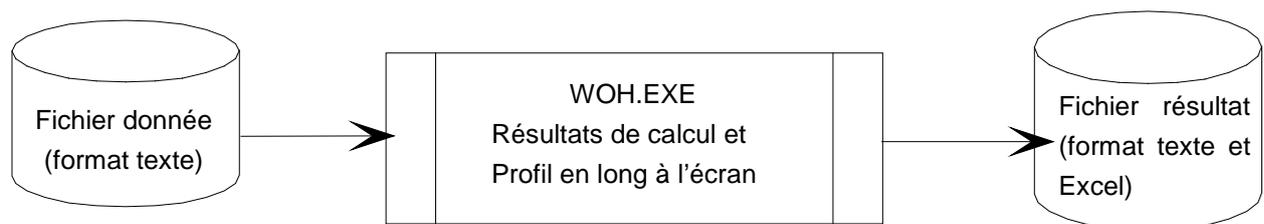
On dénombre en tout six solutions possibles résultant chacune d'une résolution numérique bien précise. Ces 6 cas de figure sont schématisés au paragraphe 7.3 *Outils WOH - Schémas des Lignes d'eau* et explicitent l'allure théorique de la ligne d'eau.

Dans le cas de mise en charge, la loi d'orifice est en plus utilisée pour déterminer le plan d'eau amont avant d'appliquer la loi de Bernoulli. Trois autres cas de figure viennent s'ajouter aux six cas précédents pour former l'ensemble des solutions aux problèmes rencontrés dans les ouvrages hydrauliques (cf. 7.3. *Outils WOH - Schémas des Lignes d'eau*).

7.2 UTILISATION PRATIQUE DU PROGRAMME WOH

Le programme OH est une application Windows, écrit en Visual Basic version 16 bits. Autrement dit il peut tourner sous toutes les versions de Windows prenant en charge les applications 16 bits.

Son installation consiste à copier tous les fichiers du package dans le sous répertoire 'SYSTEM' de Windows puis à lancer le seul exécutable du package (woh.exe).



Le programme WOH est alimenté par un ensemble de donnée contenu dans un fichier de type ascii (ou texte). Ces données possèdent un format bien défini qu'il convient de respecter.

```

1 11      OH type (1 ou 2 = rectangulaire, 3 = circulaire , 11 = parametrique)
2 2.014   Qprojet
3 48.00   OH longueur
4 0.008   OH pente
5 param.txt OH diametre ou largeur d'un dalot, sinon nom de fichier d'une section parametrique
6 dn1200  OH hauteur, sinon identif d'une section parametrique plus haut
7 70.     OH rugosite
8 0.7     Ke amont (Mur en aile = 0.5, Perre = 0.7, Mur droit = 0.9)
9 239.36  Z radier amont
10 245.00 Z aval (si ce champs est vide ou contient un *, la section aval est à paramétrer sur 20 lignes
11      0.00   244.00   15.00
12      1.00   238.20   15.00
13      2.00   238.20   15.00
14      3.00   244.00   0.00
15 0.0058  Pente de la section aval
  
```

Figure 34 : Exemple de fichier donné du programme WOH

Les résultats de calculs s'affichent immédiatement après chargement du fichier de données. Un exemple de résultat de calcul de la perte de charge du pont Corot pour la crue centennale est disponible ci-dessous.

Ligne d'eau dans l'OH (paramétrique)					
<u>Dimension:</u>	<u>Distance</u>	<u>Hauteur</u>	<u>Vitesse</u>	<u>Cote Z</u>	
	(m)	(m)	(m/s)	(m)	
Section = corot	0.00	2.6443	2.0427	36.2443	Strickler = 70.000
Fichier = sect.txt	0.76	2.6451	2.0425	36.2394	Pente(m/m) = 0.0075
Ke amont = 0.700	1.52	2.6459	2.0423	36.2345	OH amont:
Q (m3/s) = 23.000	2.28	2.6468	2.0422	36.2297	Zradier am = 33.600
Régime = torrentiel	3.04	2.6476	2.0420	36.2248	Zvoûte am = 36.400
H nor (m) = 0.9418	3.80	2.6485	2.0418	36.2200	OH aval:
H cri (m) = 1.2235					Zradier av = 33.572
					Zvoûte av = 36.372
Plan d'eau amont:			Plan d'eau aval : imposé		
Z amont = 36.6059			Z aval = 36.220		
Remous (m) = 0.3616			Résolution type : V.4D		
Revanche (m) = 0.1557			Ressaut extérieur		

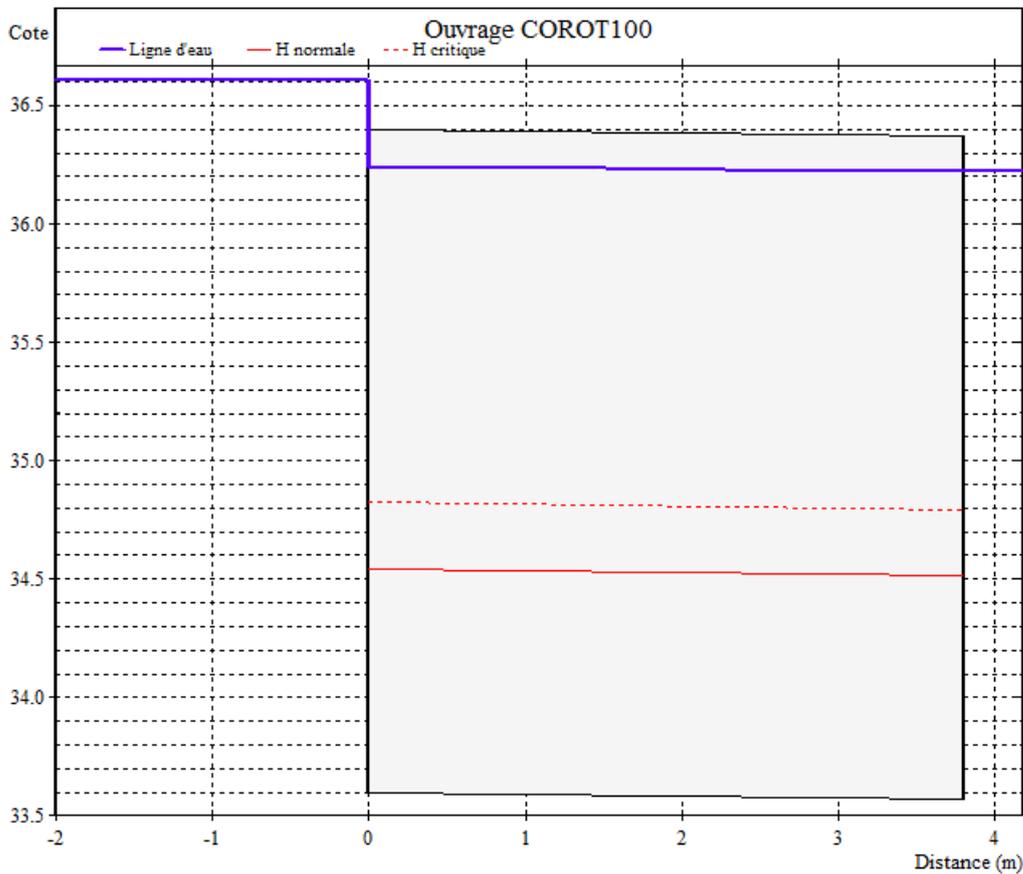


Figure 35 : Exemple de fichier résultat du programme WOH pour le pont Corot – Q100

7.3 OUTILS WOH - SCHEMAS DES LIGNES D'EAU

1) OH Fluvial

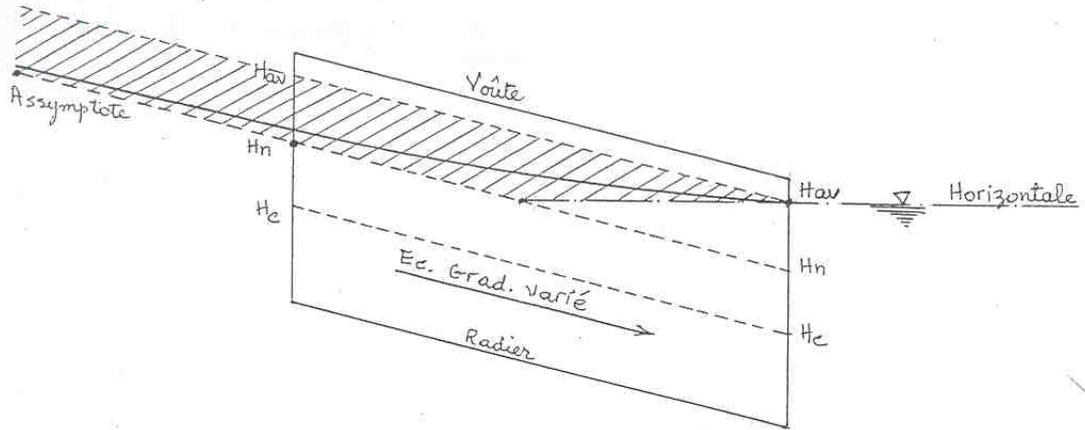
- 1.1 Condition aval type 1
- 1.2 Condition aval type 2
- 1.3 Condition aval type 3

2) OH Torrentiel

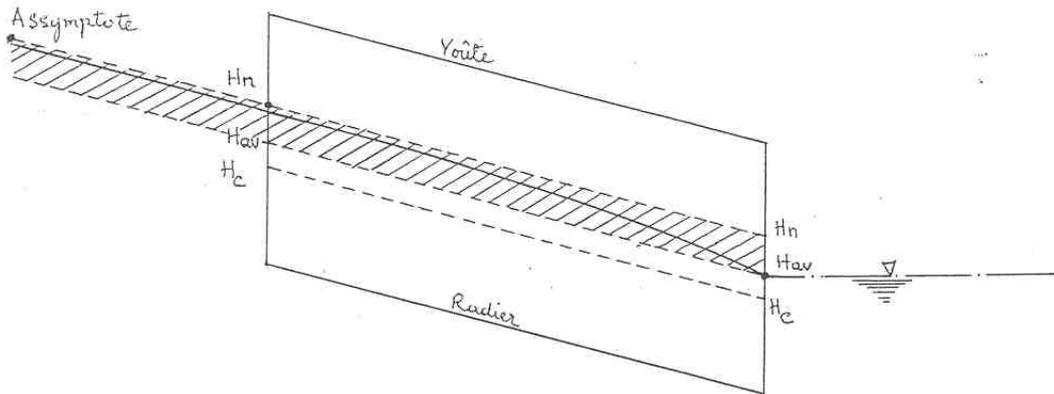
- 2.1 Condition aval type 4
- 2.2 Condition aval type 5
- 2.3 Condition aval type 6

1) OH. FLUVIAL

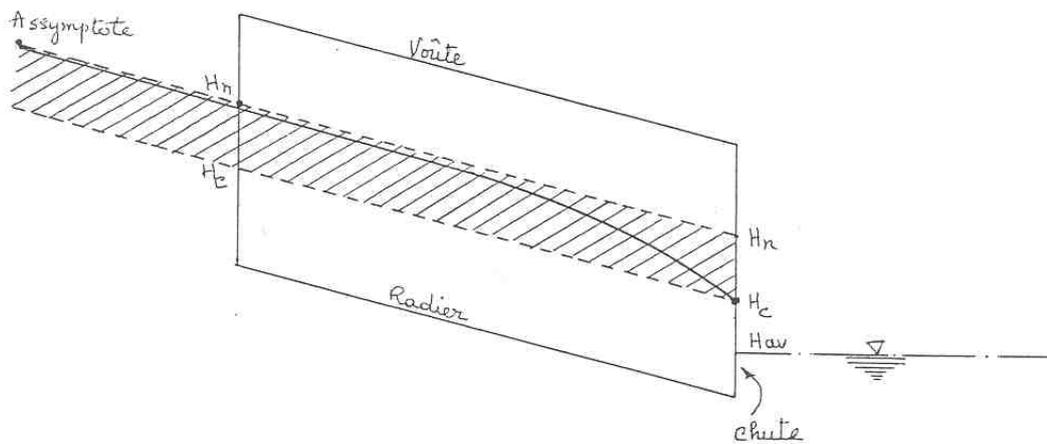
1.1) CONDITION AYAL TYPE 1 : $H_{av} > H_n$



1.2) CONDITION AYAL TYPE 2 : $H_e \leq H_{av} < H_n$



1.3) CONDITION AYAL TYPE 3 : $H_{av} < H_e$



2) OH. TORRENTIEL

2.1) CONDITION AVAL TYPE 4 : $H_{av} > H_c$

