



RAPPORT

Etude hydraulique du comportement de la Maine Dossier 15013-C

ANGERS CŒUR DE MAINE
Secteur SAINT Serge
Avril 2015

Atelier GRETHER
Architecte
Urbaniste

PHYTOLAB
Paysage et
milieux naturels

(K)
sce
Aménagement
& environnement

CLIENT

| | |
|--|---|
| RAISON SOCIALE | SPLA de l'ANJOU |
| COORDONNÉES | SARA 7, Esplanade de la Gare 49 100 ANGERS Tél. 02.41.24.19.80 |
| INTERLOCUTEUR <i>(nom et coordonnées)</i> | Monsieur Olivier REGUER Tél. 02.41.24.13.47 o.reguer@sodemel.fr |

SCE

| | |
|--|--|
| COORDONNÉES | 5, avenue Augustin Louis-Cauchy – BP 10703 44307 NANTES Cedex 3 Tél. 02.40.68.51.55 - Fax 02.40.68.79.43 – E-mail : sce@sce.fr |
| INTERLOCUTEUR <i>(nom et coordonnées)</i> | Madame Valérie BRUN Tél. 02.40.68.51.55 E-mail : valerie.brun@sce.fr |

RAPPORT

| | |
|--------------------|--|
| TITRE | Etude hydraulique du comportement de la Maine |
| NOMBRE DE PAGES | 40 |
| NOMBRE D'ANNEXES | 8 |
| OFFRE DE REFERENCE | 11061-FGE-MOE-Urbaine-des-Berges-de-Maine |
| N° COMMANDE | Notification – Bon de commande n°2015/151 – 17/04/2015 |

SIGNATAIRE

| REFERENCE | DATE | REVISION DU DOCUMENT | OBJET DE LA REVISION | REDACTEUR | CONTROLE QUALITE |
|-----------|------------|----------------------|----------------------|-----------|------------------|
| 11061 | 21/04/2015 | Edition 2 | | DCH/GCL | VBU |

SOMMAIRE

| | |
|--|-----------|
| 1. Contexte et objectifs de l'étude | 5 |
| 1.1. Contexte hydrologique | 5 |
| 1.2. Etendue et objectifs de l'étude | 10 |
| 2. Etude hydrodynamique..... | 11 |
| 2.1. Méthodologie..... | 11 |
| 2.2. Modélisation numérique des écoulements en l'état actuel..... | 12 |
| 2.2.1. Mise en place du modèle numérique | 12 |
| 2.2.1.1. Principe – Logiciel utilisé | 12 |
| 2.2.1.2. Domaine de calcul | 12 |
| 2.2.1.3. Maillage du modèle..... | 13 |
| 2.2.1.4. Données bathymétriques et topographiques..... | 15 |
| 2.2.1.5. Conditions limites | 15 |
| 2.2.2. Calage et validation du modèle | 17 |
| 2.2.2.1. Généralités | 17 |
| 2.2.2.2. Utilisation du modèle « Crue BVA »..... | 18 |
| 2.2.3. Analyse des résultats de calage..... | 18 |
| 2.2.3.1. Introduction..... | 18 |
| 2.2.3.2. Crue de Janvier 1995 | 18 |
| 2.2.4. Résultats en l'état actuel | 19 |
| 2.2.4.1. Niveaux d'eau..... | 20 |
| 2.2.4.2. Champs de Vitesses | 21 |
| 2.3. Modélisation numérique des écoulements en l'état projeté | 22 |
| 2.3.1. Projet de réaménagement du quartier Saint-Serge..... | 22 |
| 2.3.2. Construction du modèle | 23 |
| 2.3.3. Résultats..... | 26 |
| 2.3.3.1. Préambule | 26 |
| 2.3.3.2. Crue de janvier 1995 | 26 |
| 2.4. Conclusion sur les aspects hydrodynamiques | 30 |
| ANNEXES | 31 |
| Annexe 1 : Fiches de la station hydrométrique de la Maine à Angers (Source : Banque Hydro) | 32 |
| Annexe 2 : Cartographie de l'aléa inondation (Source : DDT Maine et Loire) | 37 |

1. Contexte et objectifs de l'étude

Dans le cadre du projet de réaménagement du quartier Saint-Serge à Angers, une étude hydrodynamique de la rivière Maine dans la traversée d'Angers a été réalisée.

Cette étude a pour objectif d'évaluer l'impact du réaménagement du quartier Saint-Serge sur la ligne d'eau de la Maine en crue.

1.1. Contexte hydrologique

La Maine est le court exutoire (11 km) d'un vaste bassin hydrographique composé des trois rivières principales que sont le Loir (312 km), la Sarthe (318 km) et la Mayenne (200 km), drainant 22 000 km² et s'étendant des confins de la Normandie à ceux du bassin parisien.

L'ensemble constitue le plus vaste système affluent de la Loire.

Les trois rivières qui alimentent la Maine connaissent des contextes géologiques différents :

- La Mayenne et son affluent principal l'Oudon, sont encaissés dans le massif armoricain dur et peu perméable déterminant une vallée étroite et relativement encaissée où le lit majeur s'étale ponctuellement.
- La Sarthe circule à la limite du massif armoricain (granits et schistes durs) et des formations occidentales du bassin parisien (roches sédimentaires tendres et perméables). Le lit majeur établi sur ces dernières est large tout le long du cours en Maine-et-Loire, les terrasses alluviales du quaternaire y sont très développées notamment dans la partie aval.
- Le Loir, comme la Sarthe, est une rivière de bassin sédimentaire mais son lit majeur en amont de Seiches est nettement plus étroit. Il s'épanouit en aval et trouve à partir de Villevèque-Soucelles des dimensions comparables à celles de la Sarthe.

La confluence des trois rivières forme en amont d'Angers un vaste bassin de stockage des crues qui permet de temporiser leur écoulement géné par l'étroitesse du goulet d'étranglement dû au verrou rocheux d'Angers.

Une station hydrométrique est présente sur la Maine au droit de la traversée d'Angers, et d'autres restituent les données hydrologiques des différents affluents en amont d'Angers. Les fiches de présentation et de synthèse issues de la Banque Hydro sont disponibles en annexe 1.

La Maine dans sa traversée d'Angers à l'aval de l'île Saint-Aubin jusqu'au seuil de Maine est traversée par 8 ponts dont l'influence sur l'hydrologie n'est pas négligeable, notamment au niveau des pertes de charge qu'ils peuvent occasionner. De l'amont vers l'aval, ces différents ponts sont :

- Le pont de Segré : également appelé pont SNCF est un pont en treillis d'une longueur de 120 mètres. Il présente une seule pile centrale de 4 mètres de large sur 12,50 mètres de long.
- Le viaduc de la Maine : viaduc courbe permettant la traversée de la Maine par l'autoroute A11 d'une longueur de 530 mètres. Deux piles de 12 mètres de long par environ 3 mètres de large sont situées dans la Maine.
- Le pont Jean Moulin : il permet de relier le plateau des Capucins au quartier Saint-Serge. Deux piles de 13 mètres de long pour 2,40 mètres de large se situent dans la Maine.

- Le pont Confluences : long de 293 mètres, ce pont en arc ne présente pas d'appui dans le lit mineur de la Maine.
- Le pont Haute Chaîne : long de 105 mètres , il est composé de 2 culées sur les berges de Maine et de 2 piles de 17,12 mètres de long pour 2,50 mètres de large sur fondations de 18,12 mètres x 3,50 mètres.
- Le pont de Verdun : historiquement le plus vieux pont d'Angers, il relie les deux berges de la Maine par 8 piles de 13,60 mètres de long pour 3 mètres de large. Les voûtes présentent un intrados dont la cote à la clef varie de 20,04 mNGF à 21,28 mNGF. La géométrie de ce pont a eu un impact négatif sur les lignes d'eau lors de la crue de 1995 (cf. § Des crues fréquentes).



Figure 1 : La Maine dans la traversée d'Angers (pont de Verdun) (source : Wikipédia)

- Le pont de Basse Chaîne : ce pont de 124 mètres de long comporte 3 travées pour 2 piles en maçonnerie dans le lit mineur de la Maine. Les dimensions des piles sont de 18,50 mètres de long pour 1,30 mètre de large.
- Le pont de l'Atlantique : ce pont de 160 mètres de long comporte 2 piles de 3 m de large situées dans le lit mineur de la Maine.

La Maine d'aujourd'hui : une rivière qui oscille entre crues et étiage marqué

La Maine, de par son contexte, présente un régime hydrologique particulier.

En effet, elle représente tout d'abord la confluence de la Mayenne et de la Sarthe. Il en résulte que le comportement de la rivière Maine dépend directement de deux régimes hydrologiques distincts, tant en termes de basses eaux qu'en période de crue.

Qui plus est, de par sa faible longueur, l'influence de la confluence avec la Loire est très forte. Le niveau de la Maine dans la traversée d'Angers est ainsi directement lié au niveau de la Loire lorsque ce dernier est élevé. En effet, durant les périodes de basses et moyennes eaux de la Loire, c'est le seuil de Maine qui régule le niveau d'eau dans la traversée d'Angers (Cf. figure ci-dessous).

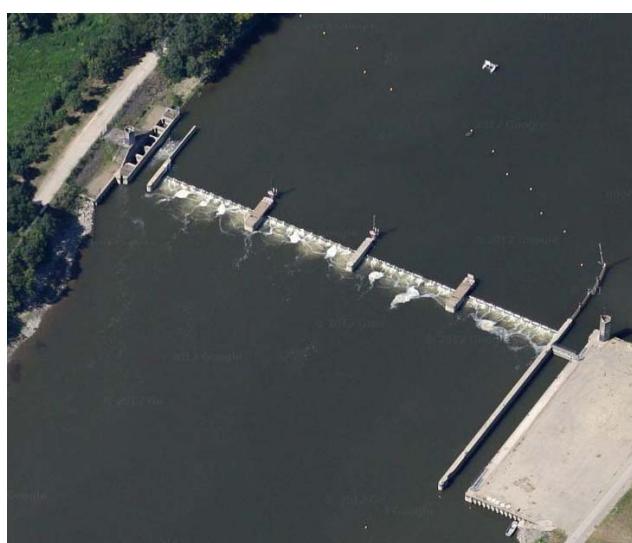


Figure 2 : Le seuil de Maine en aval de la traversée d'Angers (source : Google Map)

L'hydrologie de la Maine s'illustre par une forte hétérogénéité saisonnière, subissant de nombreuses crues de causes diverses ainsi que des étiages plutôt marqués.

- **Des crues fréquentes.**

La multi-dépendance du régime hydrologique de la Maine aux différents affluents et confluents a pour conséquences directes une forte périodicité ainsi qu'une forte hétérogénéité des crues à Angers.

Ces crues sont soit dues à des débits importants en provenance de l'un et/ou de l'autre des affluents (la Mayenne et la Sarthe), soit dues à des crues de Loire (remontée de la ligne d'eau d'aval en amont).

Des cartographies de l'aléa inondation (générées par la DDT du Maine-et-Loire) sont disponibles en annexe 2.

Les épisodes de crue sont donc assez fréquents sur la Maine, notamment dans sa traversée d'Angers. Cette fréquence des faibles inondations se traduit par des submersions, sur de faibles hauteurs, et pour des durées variant de quelques heures à quelques jours, des berges les plus basses.

Les deux phénomènes de crue, cités plus haut, peuvent aussi être concomitants, entraînant les plus gros épisodes de crue observés.

Ces crues importantes ont été observées à plusieurs reprises : elles se sont caractérisées par des hauteurs d'eau très importantes et des durées de submersions de plusieurs jours, perturbant significativement la vie des habitants d'Angers et des communes alentour (coupure des voies de communication, perturbation du fonctionnement des réseaux, etc.).

Quelques valeurs permettent d'illustrer l'importance des crues dans la traversée d'Angers.

En période estivale, le niveau d'eau de la Maine, en amont du seuil de Maine, s'établit à 13.66 mNGF (cote correspondant au « niveau 0 » de l'échelle limnimétrique de crue au Pont de Verdun).

Lors de la crue la plus importante observée à Angers, et pour laquelle des archives subsistent, la Maine a atteint la cote de 21.05 mNGF, soit un écart de **7.39 mètres** entre les deux niveaux d'eau.

La dernière « grande crue » connue, observée en 1995, a atteint le niveau **6.66 mètres** sur l'échelle limnimétrique de crue, soit 20.32 mNGF en aval du Pont de Verdun. La période de retour de cette crue a été évaluée entre 20 et 50 ans.

L'analyse du rôle joué par les différents ouvrages franchissant la Maine dans la traversée d'Angers est un point important. En effet, durant l'épisode de crue de 1995, il a été observé un niveau d'eau en amont du pont de Verdun de 20.70 mNGF. L'ouvrage a ainsi eu un rôle négatif concernant les inondations, en remontant la ligne d'eau d'environ 40 cm.

La perte de charge induite par l'ouvrage en question a généré une surverse des eaux de la Maine dans les trémies présentes le long de la voie départementale RD 323. Ces dernières constituent, tel que l'illustre la figure suivante, un bras de décharge en cas de forts épisodes de crue.

Cependant, il est à noter que les services de la ville, dans un contexte sécuritaire concernant l'état des murs latéraux, remplissent les trémies avant débordement. Le volume pouvant ainsi s'y déverser est relativement faible.



Figure 3 : Crue de la Maine dans la traversée d'Angers en 1995 (pont de Verdun quasi submergé)

En termes de valeurs de débit, on peut noter que le débit de crue cinquantennal journalier est de 1 800 m³/s. Cependant, il semble important de préciser que l'influence de la Loire est telle que certaines crues entraînent des inondations non négligeables alors que le débit est relativement faible.

- **La Maine en période d'étiage**

En période estivale, les débits de la Mayenne et de la Sarthe sont relativement faibles. Ces deux affluents de la Maine entraînant des étiages assez marqués sur la Maine. En effet, on observe, d'après la Banque Hydro, un débit d'étiage (QMNA5) de $21 \text{ m}^3/\text{s}$, soit environ 16% du module ($127 \text{ m}^3/\text{s}$).

Malgré ces faibles valeurs, les niveaux d'eau dans la Maine restent conséquents dans la traversée d'Angers, directement régulés par le seuil de Maine.

Ce seuil permet de garder un niveau d'eau minimal dans la rivière. Il ne semble pas constituer une rupture dans la continuité écologique (du moins piscicole) de la Maine, étant donné la présence d'une passe à poissons en rive droite.

Le rôle principal de cet ouvrage est de permettre le maintien d'usages tels que la pratique nautique et la pêche.

- **Conclusion**

En l'état actuel, la Maine est une rivière dont le niveau ainsi que les débits évoluent fortement (**mais sans corrélation directe**) en fonction des débits en amont et du niveau de la Loire en aval. Les crues génèrent des inondations dont l'importance et les conséquences ont motivé la mise en place de Plans de Prévention du Risque Inondation, PPRI dont le règlement prescrit des modes d'occupation du sol ainsi que des modalités de construction ou de reconstruction des bâtiments, des infrastructures, etc.

Parallèlement à ce phénomène, la Maine est très peu alimentée en période estivale et son niveau est artificiellement maintenu par la présence du seuil de Maine qui évite notamment aux angevins d'observer une rivière réduite à un filet d'eau pendant plusieurs semaines.

1.2. Etendue et objectifs de l'étude

La présente étude hydrodynamique s'appuie en premier lieu sur une modélisation du comportement de la Maine dans sa traversée d'Angers, depuis l'amont immédiat de la Vieille Maine jusqu'aux abords du seuil de Maine.

La vocation première de la modélisation à effectuer est d'aboutir à une analyse hydraulique précise. La modélisation aura, entre autres, pour objectifs :

- De caractériser le comportement de la Maine, en l'état actuel, pour plusieurs débits caractéristiques, en termes de :
 - Hauteur d'eau ;
 - Vitesse d'écoulement ;
 - Pertes de charges :
 - Régulières (le long du profil naturel) ;
 - Singulières (ponctuelles au droit des ouvrages, comme les ponts) ;
 - Durée de crue et de décrue.
- De caractériser le comportement de la Maine en l'état futur, c'est-à-dire en tenant compte des aménagements envisagés au droit des berges, pour les mêmes conditions que l'étude de l'état actuel (conditions initiales et aux imites inchangées). Les mêmes paramètres seront examinés.
- De comparer l'ensemble des valeurs précédemment décrites. Ceci permettra à la fois de comparer les états actuel et projeté dans leur globalité (comportement général de la Maine), ainsi que certaines valeurs locales (notamment au droit des futurs aménagements). Ceci permettra :
 - D'évaluer les impacts du projet sur les écoulements et sur les niveaux d'eau afin de ne pas aggraver l'aléa inondation (hauteur et vitesse lors des fortes crues) ;
 - D'évaluer un éventuel impact positif en termes de niveau d'eau qui pourrait être abaissé pour les fortes crues.
 - De vérifier leur compatibilité avec les documents réglementaires en vigueur (PPRI, SDAGE, etc.).

2. Etude hydrodynamique

2.1. Méthodologie

La présente étude, dont l'objet est l'étude hydrodynamique du comportement de la Maine dans la traversée d'Angers, couvre le territoire formé par la zone inondable associée aux débordements de la Maine, depuis l'amont immédiat du pont de Segré jusqu'au seuil de Maine et du parc Balzac. La figure suivante illustre la zone d'étude :

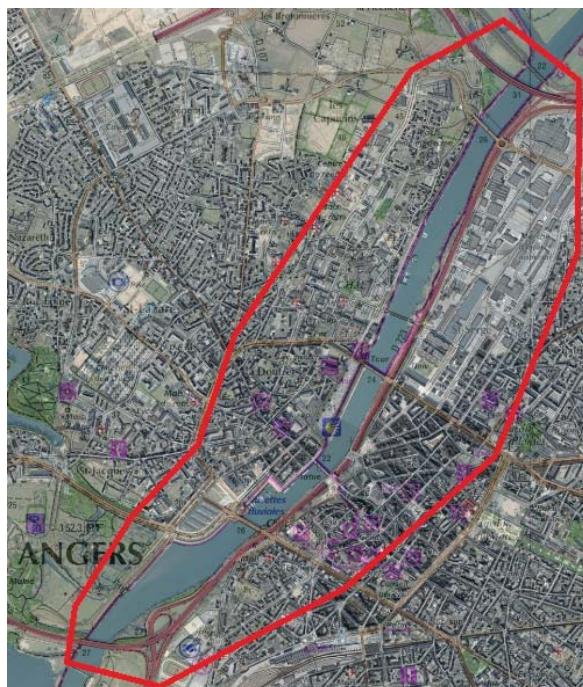


Figure 4 : Zone d'étude

Pour mener à bien l'étude hydrodynamique, un modèle numérique des écoulements, a été réalisé. Ce modèle est un modèle à deux dimensions, construit à l'aide du logiciel MIKE (DHI). Ce logiciel permettra, sur la base de la bathymétrie de la Maine, de la topographie des berges et des caractéristiques des ouvrages hydrauliques (ponts), de simuler le comportement de la rivière, tant en termes de hauteur d'eau que de vitesses bidimensionnelles.

La méthodologie mise en place pour cette étude hydraulique a largement consisté à utiliser les résultats d'une étude précédente. Il s'agit de l'étude de modélisation des phénomènes de crue au niveau des Basses Vallées Angevines (BVA), réalisée par BCEOM pour le compte de l'Etablissement Public Loire. Ce modèle, réalisé sous le logiciel STREAMPro, nous a été fourni.

En conséquence, les différentes étapes suivantes ont été réalisées :

- Recueil des données (données hydrologiques (Banque Hydro et services de l'Etat), données topographiques et bathymétriques, récupération du logiciel STREAMPro ainsi que du modèle « Crue BVA » pour extraction des conditions limites, ...);
- Définition des conditions hydrauliques permettant de mettre en place et de caler le modèle numérique (crues et débits courants) ;
- Calage du modèle à partir de différentes crues réelles et des résultats du précédent modèle (STREAMPro) définissant les débits de projet ;

- Modélisation des conditions d'écoulement en situation actuelles ;
- Modélisation des conditions futures et comparaison avec les conditions actuelles ;
- Analyse des impacts des futurs aménagements sur les conditions d'écoulement, tout particulièrement en condition de crue.

2.2. Modélisation numérique des écoulements en l'état actuel

2.2.1. Mise en place du modèle numérique

2.2.1.1. Principe – Logiciel utilisé

La modélisation numérique des processus hydrodynamiques est un moyen puissant largement utilisé et validé depuis de nombreuses années, pour l'étude d'un site et/ou des conséquences d'un projet sur les conditions naturelles. Cet outil permet, par la résolution des équations qui régissent les mouvements des masses d'eau (mécanique des fluides), de connaître sur une zone géographique donnée les fluctuations dans le temps et dans l'espace, des courants et des niveaux d'eau pour différentes conditions hydrologiques.

Les simulations ont été effectuées à l'aide du logiciel MIKE21 FM HD, mis au point par le Danish Hydraulic Institute (DHI). Ce code résout, par une méthode éléments finis sur des maillages triangulaires, les équations bidimensionnelles de l'hydrodynamique (avec l'hypothèse de pression hydrostatique et surface évolutive au cours du temps) pour les écoulements à surface libre de type fluvial ou maritime.

Le modèle calcule la vitesse et la hauteur d'eau en tout point du domaine et à chaque pas de temps. Le code de calcul est capable notamment de prendre en compte les phénomènes suivants :

- Frottement sur le fond,
- Sources et puits de fluide et de quantité de mouvement à l'intérieur du domaine,
- Modèles de turbulence simples ou complexes (e.g. K-Epsilon),
- Recouvrement et découvrement des mailles.

2.2.1.2. Domaine de calcul

Le domaine de calcul couvre un territoire plus vaste que la zone d'étude. En effet, il se compose de la Maine ainsi que de l'emprise de sa zone inondable dans sa traversée d'Angers depuis l'amont de l'île Saint-Aubin (amont immédiat des deux confluences de la Vieille Maine (Mayenne à l'ouest et Sarthe à l'Est), jusqu'au seuil de Maine en aval.

Le modèle est long d'environ 9 km, soit environ 4.7 km en amont et 4 km en aval de la zone de Saint-Serge. Les limites du modèle, en rives droite et gauche ont été définies selon le recouvrement des données LIDAR disponibles et l'analyse des zones inondables préalablement définies par des études antérieures (PPRI par exemple).

La limite amont du modèle, différente de celle de la zone d'étude, a été choisie afin de permettre un calage du modèle à partir des données disponibles issues du modèle de prévisions de crues au niveau des Basses Vallées Angevines (BVA). Ainsi la modélisation hydraulique assure des résultats fiables entre l'amont de la zone d'étude, à partir du pont de Segré, jusqu'au seuil de Maine.

La figure suivante illustre l'emprise du modèle :

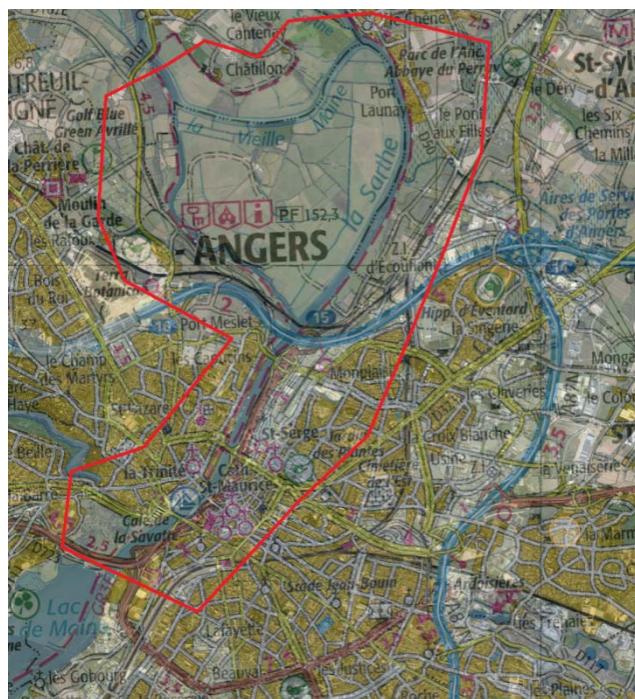


Figure 5 : Emprise de la modélisation

2.2.1.3. Maillage du modèle

Le maillage en éléments finis autorise une grande souplesse dans la représentation de zones complexes et dans la distorsion entre mailles, ce qui permet de raffiner localement la géométrie du modèle aussi précisément que voulu.

Les éléments définis ont ainsi une taille d'environ 12.50 mètres dans le lit mineur de la Maine et ont été raffinés jusqu'à des mailles de 2 m autour des piles de pont. Sur le reste du domaine, les mailles ont une taille de l'ordre de 70 mètres.

Au final, le modèle comporte près de 120 000 mailles et 60 000 noeuds. Le nombre de mailles et la taille des plus petites dans certaines zones du modèle influent grandement sur la durée des temps de calculs.

Les figures en page suivante illustrent le maillage effectué.

SPLA DE L'ANJOU
ETUDE HYDRAULIQUE DU COMPORTEMENT DE LA MAINE

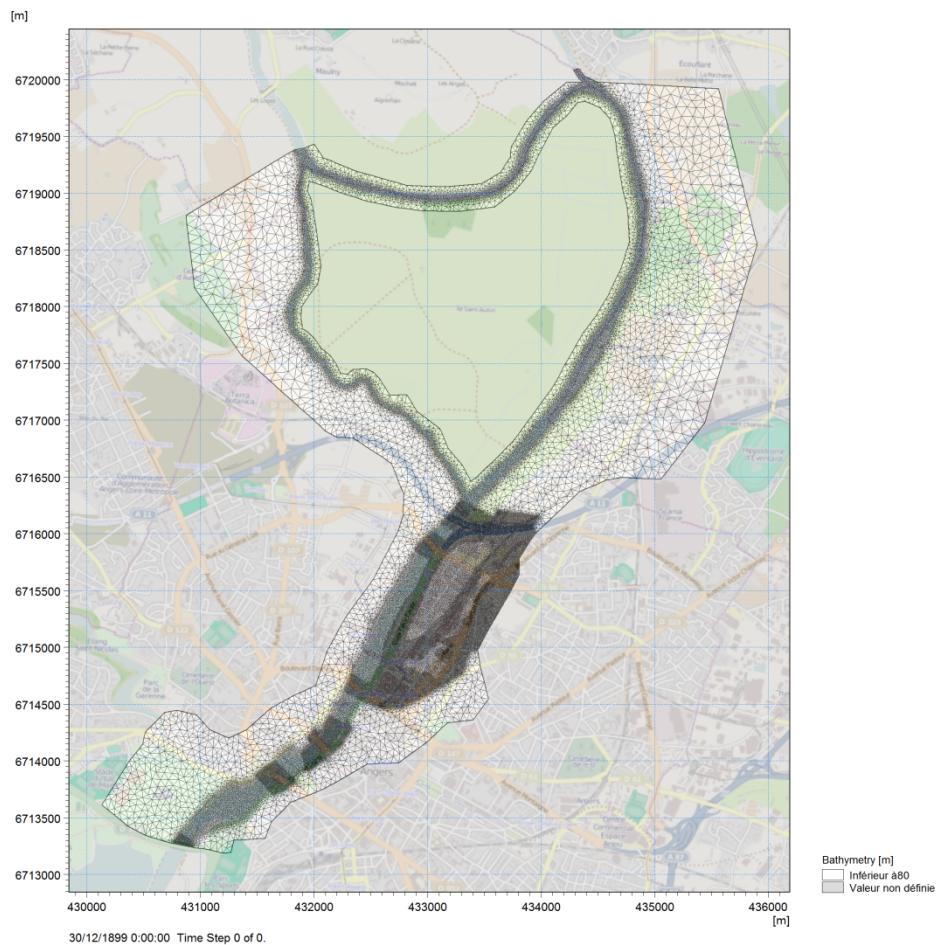


Figure 6 : Maillage de l'ensemble du modèle

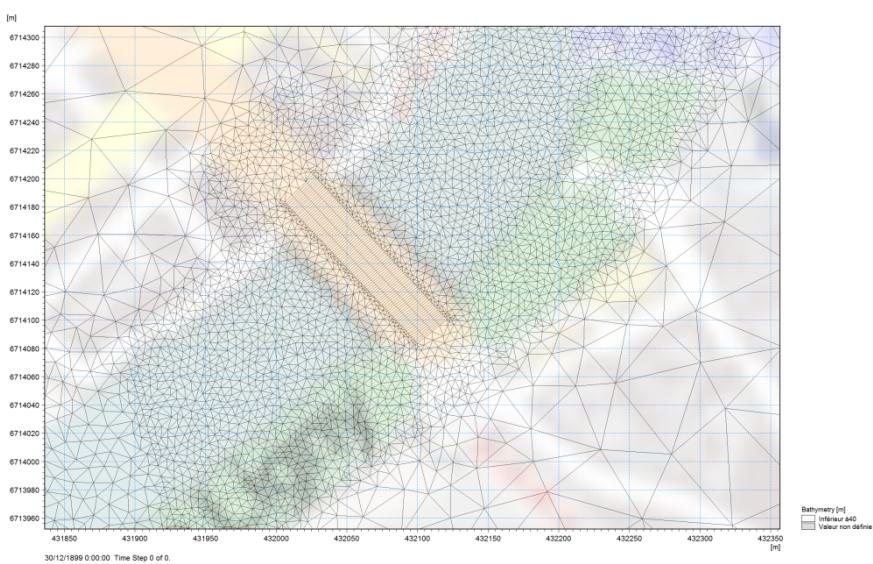


Figure 7 : Maillage du lit mineur

2.2.1.4. Données bathymétriques et topographiques

Afin de réaliser une représentation géométrique la plus précise possible du lit de la Maine et des berges, les données bathymétriques et topographiques suivantes ont été utilisées.

- Une bathymétrie du lit mineur de la Maine, réalisée au sondeur multifaisceaux ;
- Des données topographiques LIDAR (MNT à 1 mètre, fourni par la DREAL Centre) du lit majeur, couvrant l'amont de l'île Saint-Aubin jusqu'au seuil de Maine pour l'aval (environ 9 km de linéaire).

Un extrait de la représentation bathymétrique et topographique utilisée pour la réalisation du modèle est illustré en figure suivante, et permet de voir la qualité des données transmises, particulièrement pour la bathymétrie du lit mineur.

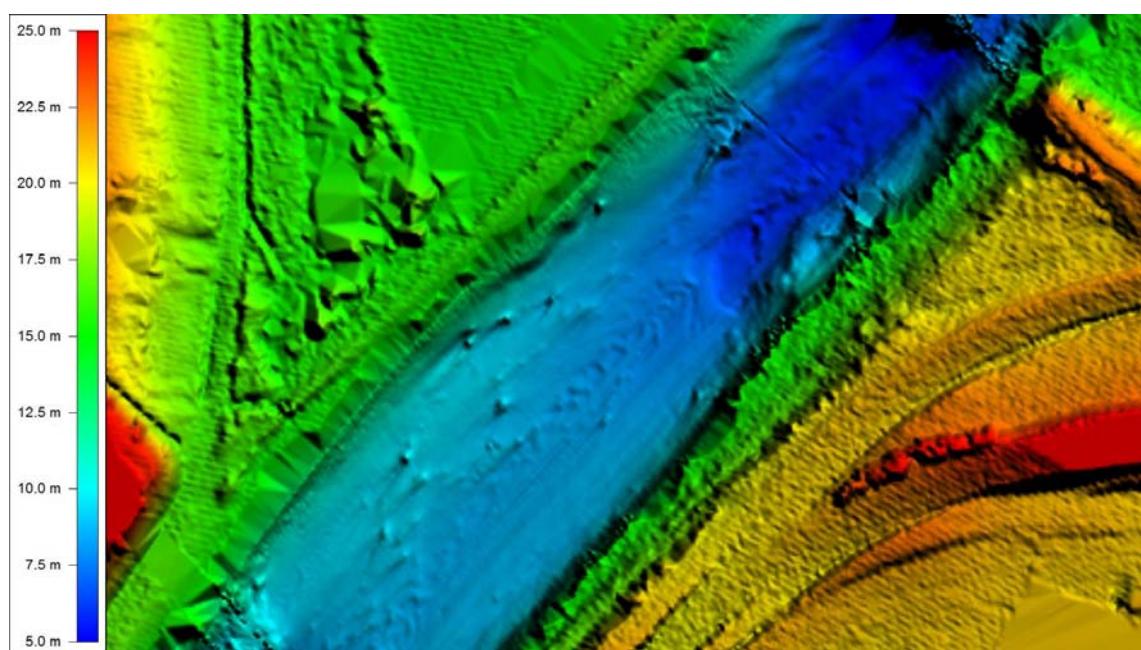


Figure 8 : Superposition de la bathymétrie et de la topographie disponible sur la zone d'étude

2.2.1.5. Conditions limites

Les conditions limites du modèle découlent directement des données récupérées via l'Etablissement Public Loire. En effet, les résultats du modèle « BVA » sur le logiciel STREAMPro ayant été validé, ils sont utilisés à l'échelle de l'étude (beaucoup plus locale) comme des éléments de référence.

Ainsi, les conditions sont directement issues des valeurs suivantes :

- Limnigrammes et hydrogrammes pour l'événement historique le plus fort connu de crue de la Maine (janvier 1995), en différents points du modèle (amont, aval et quelques points de contrôle).
- Dans un objectif de stabilité optimal du modèle, il est régulièrement conseillé d'imposer :
 - Un hydrogramme (condition de débit) en amont ;
 - Un limnigramme (condition de hauteur d'eau) en aval.

Dans le cas présent, ces conseils sont d'autant plus pertinents. En effet, l'amont du modèle représente l'influence de l'hydrologie de deux rivières, à savoir la Mayenne à l'ouest et la Sarthe à l'est, représenté par des débits caractéristiques.

A l'aval, le seuil de Maine impose un niveau d'eau (relation hauteur / débit) durant les périodes de régime courant, tandis que c'est l'influence de la Loire (via une remontée de la ligne d'eau, et non de débit) qui prédomine en période de crues.

Point concernant l'utilisation des données issues du modèle STREAMPro

L'Etude de modélisation des phénomènes de crue au niveau des Basses Vallées Angevines (BVA), réalisée par BCEOM en 2006 pour le compte de l'Etablissement Public Loire, a nécessité l'utilisation du logiciel STREAMPro. (Simulation en TRansitoire des Ecoulements A surface libre Multidirectionnels).

STREAM est un logiciel conçu par BCEOM. Son domaine d'application est l'étude de phénomènes hydrauliques complexes (échanges lit mineur - lit majeur, champs d'inondation hétérogènes, écoulements maillés, deltas, ...) et des processus de propagation de débits entre l'amont et l'aval d'un cours d'eau. La modélisation fine de ces phénomènes permet en particulier de comprendre et de réaliser la cartographie des risques d'inondation (cartes d'aléas hydrauliques avec hauteurs de submersion, durées de submersion, vitesses d'écoulement), de définir des aménagements de protection contre les crues et de prendre en compte les impacts d'éventuels aménagements nouveaux (seuils, projets routiers, mise hors d'eau d'infrastructures...). Le logiciel STREAM est également utilisable pour la prévision des crues en temps réel.

Dans le cas présent, le modèle récupéré dans le cadre de cette étude est un modèle à casier. La figure suivante illustre l'emprise ainsi que la définition des casiers du modèle utilisé en 2006.

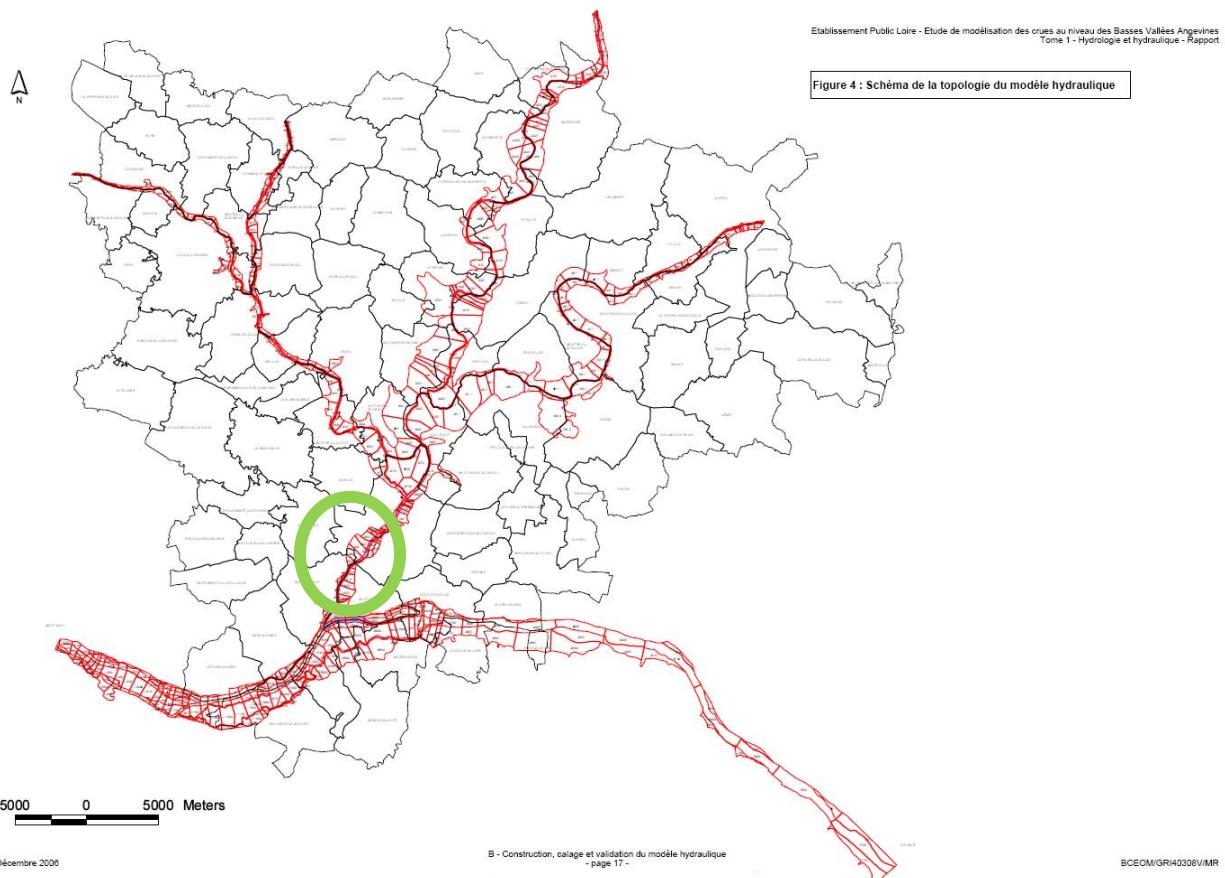


Figure 9 : Modèle STREAM des BVA, 2006

2.2.2. Calage et validation du modèle

2.2.2.1. Généralités

Le calage d'un tel modèle s'effectue en ajustant les différents paramètres hydrauliques, tels que la rugosité du lit (mineur et majeur) ou encore le raffinement du maillage en certains secteurs clefs pour prendre en compte la macro-rugosité.

En ce qui concerne le calage du modèle hydraulique en période de hautes eaux, il a été réalisé à partir des hydrogrammes et limnigrammes de la plus forte crue enregistrée à Angers, à savoir, la crue de janvier 1995, caractérisée par une faible crue de la Loire et une très forte crue des affluents.

Le tableau suivant résume les valeurs caractéristiques de cette crue :

| Crue | Niveau d'eau au pont de Verdun | | Somme des débits des affluents (m ³ /s) | Débit de pointe calculé à Angers (m ³ /s) |
|--------------|--------------------------------|-------|--|--|
| | Amont | Aval | | |
| Janvier 1995 | 20.70 | 20.32 | 1870 | 1743 |

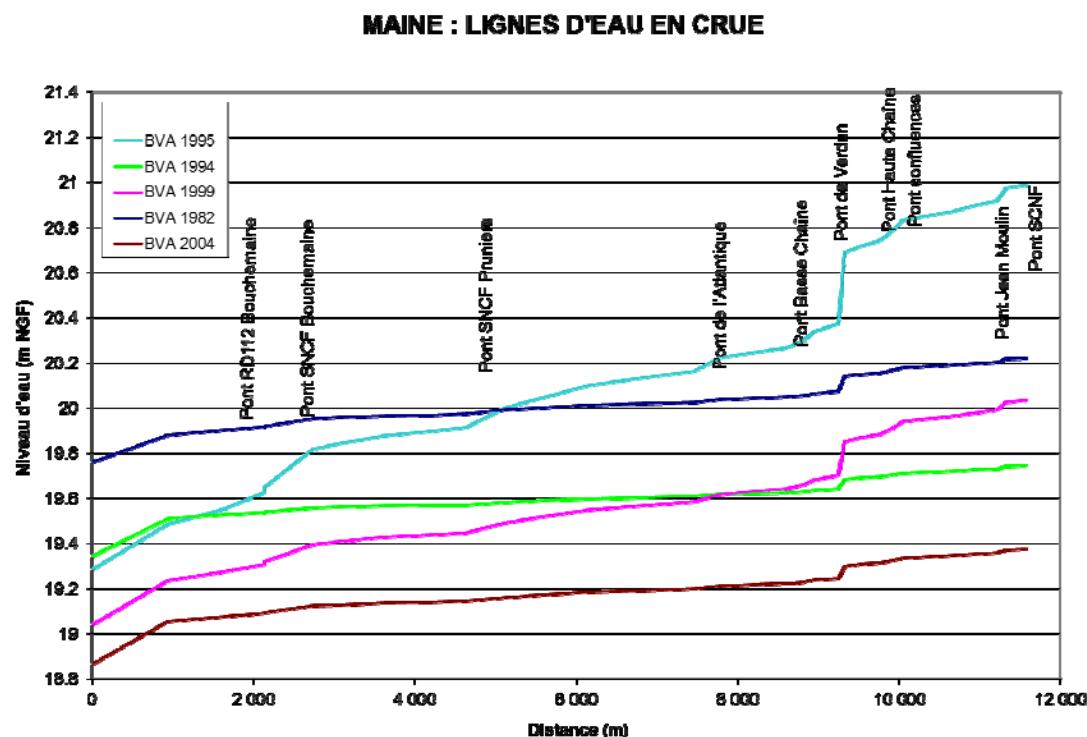


Figure 10 : Lignes d'eau de différentes crues de la Maine calculées avec le modèle « Crue BVA »

2.2.2.2. Utilisation du modèle « Crue BVA »

Le modèle utilisé par BCEOM lors de l'étude des phénomènes de crue au niveau des Basses Vallées Angevines (BVA) nous a été fourni afin de pouvoir réutiliser les limnigrammes et hydrogrammes des différents résultats de simulation.

En effet, la présente étude s'appuie sur le postulat suivant : le modèle « Crue BVA » réalisé avec le logiciel STREAMPro est calé et validé pour l'ensemble des simulations fournies.

Ainsi, à partir des fichiers résultats des simulations numériques du modèle STREAMPro, les valeurs au pic de crue ont été extraites pour les différents casiers puis reportés sous forme de profils en longs, comparables à ceux obtenus avec le modèle MIKE.

2.2.3. Analyse des résultats de calage

2.2.3.1. Introduction

Comme expliqué précédemment, le calage s'effectue sur la crue de 1995, crue de référence des PHEC (Plus Hautes Eaux Connues), pour laquelle nous possédons les résultats d'un modèle précédemment validé.

La méthodologie est de comparer les valeurs des résultats du modèle créé avec celles récupérées par le logiciel STREAM. Pour ce faire, un profil en long est établi pour chacun des deux modèles, permettant une comparaison globale.

Il est important de noter que les profils en long sont comparables à l'échelle du projet mais ne doivent pas faire l'objet d'une analyse minutieuse, étant donné que les modèles n'ont pas été créés avec le même détail.

Le calage se situe particulièrement sur l'analyse des niveaux d'eau aux différents points de contrôle.

Les pages suivantes permettent d'apprécier le calage effectué pour les différentes crues via les figures représentant les différentes valeurs comparées.

Il est à noter que le paramètre de calage principal est le coefficient de rugosité. Ce dernier, exprimé via le coefficient de Manning, est de $10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ pour le lit majeur et de $35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ pour le lit mineur.

2.2.3.2. Crue de Janvier 1995

L'analyse de ce graphique de la **Figure 11** montre un écart entre le résultat du modèle STREAMPro et le modèle mis en œuvre dans le cadre de cette étude de l'ordre de 1 à 2 centimètres en amont du pont de Verdun, et de 3 à 5 cm en aval. L'ensemble de la ligne d'eau, notamment la perte de charge importante (de l'ordre de 30 à 40 cm) au niveau du pont de Verdun est reproduite de manière satisfaisante.

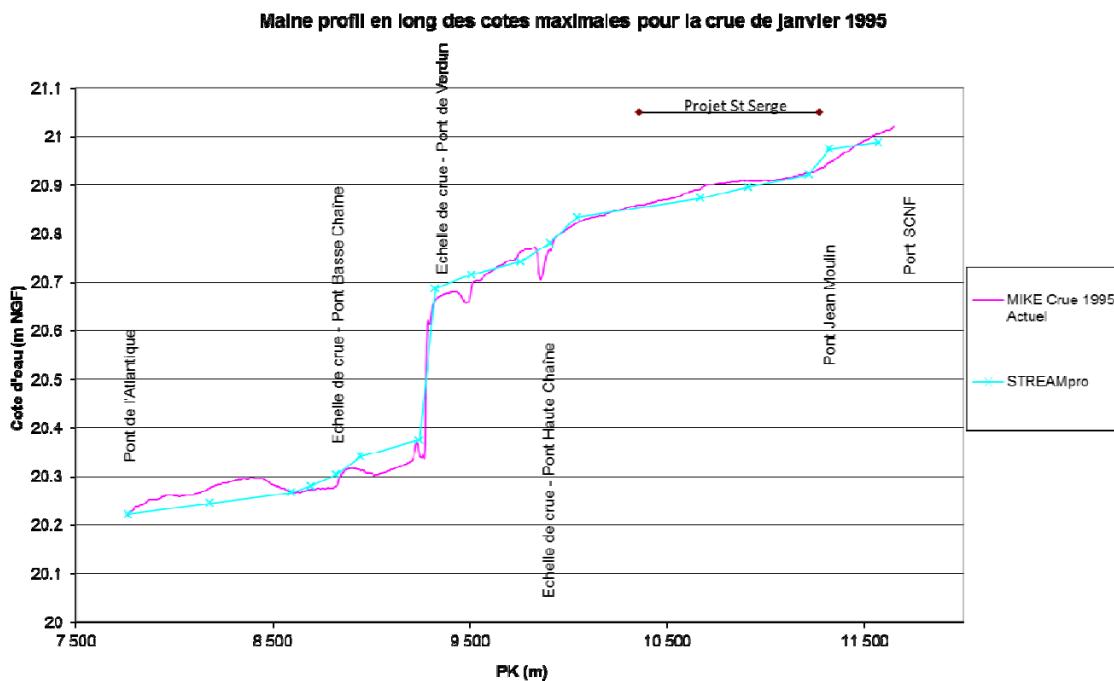


Figure 11 : Profils en long des différents modèles de la Maine pour la crue de 1995

2.2.4. Résultats en l'état actuel

Le calage effectué, l'ensemble des résultats apparaît satisfaisant. Il est par conséquent possible d'analyser les différentes valeurs, notamment via des cartographies en plan.

Pour la crue de projet (crue de janvier 1995, référence des PHEC) sont présentées sous forme de figures en plan les données suivantes :

- Niveaux d'eau ;
- Champs de vitesse bidimensionnels.

Le modèle étant d'ores et déjà calé, les résultats présentés sont considérés comme fiables. Ils serviront de base de comparaison avec les valeurs de la modélisation en l'état projeté.

2.2.4.1. Niveaux d'eau

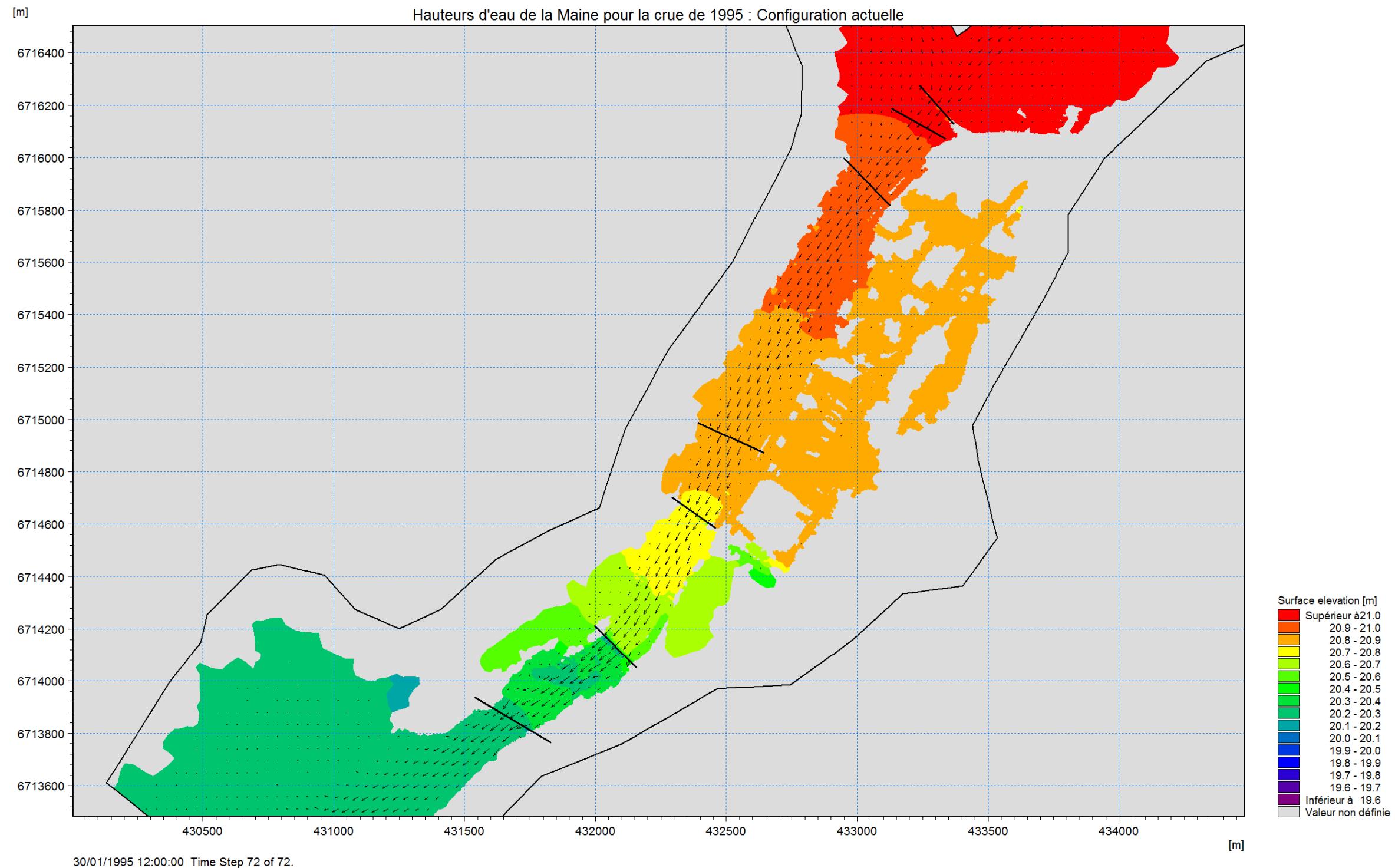


Figure 12 : Hauteurs d'eau de la Maine pour la crue de 1995

2.2.4.2. Champs de Vitesses

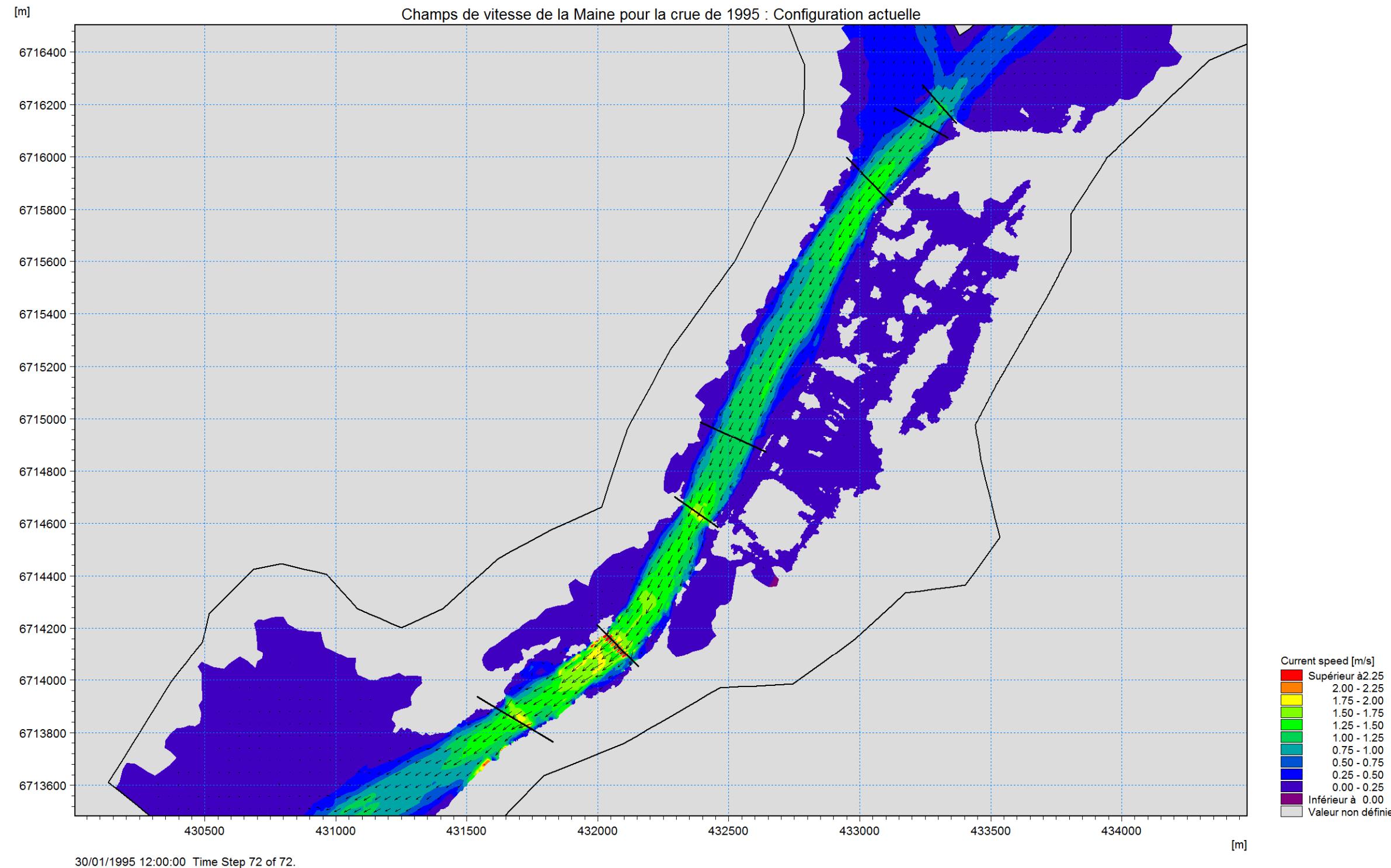


Figure 13 : Champs de vitesse de la Maine pour la crue de 1995

2.3. Modélisation numérique des écoulements en l'état projeté

2.3.1. Projet de réaménagement du quartier Saint-Serge

Le secteur de Saint-Serge est étendu sur 75 hectares environ et 1 200 mètres le long de la rivière, en connexion directe avec le centre-ville, depuis l'université jusqu'aux accès de l'autoroute A11 et devant les quartiers habités de Ney-Chalouère et Monplaisir.

Cette grande zone de logistique existante bénéficie d'une situation remarquable. Les installations de ses activités semblent vieillissantes, qu'il s'agisse des anciennes halles ferroviaires, du centre commercial, du Marché d'Intérêt National, des commerces automobiles, etc.

Le grand site de Saint-Serge constitue un exceptionnel potentiel de développement urbain, à la condition de prendre en considération son inondabilité et les contraintes réglementaires du PPRI.

Sans sous-estimer la valeur des activités présentes, c'est ici que peut être développée une nouvelle et importante extension du centre-ville, bénéficiant d'un maillage avec les quartiers centraux contigus.

Les objectifs sont ici de participer progressivement au renforcement du cœur de l'agglomération angevine, au rayonnement du pôle universitaire et tertiaire existant et au développement d'un quartier urbain aéré, agréable à vivre et innovant.

Le plan d'aménagement proposé ici tient compte du maintien de la voie des berges et des impératifs environnementaux, notamment d'un point de vue du risque d'inondation, afin de rester en accord avec les documents réglementaires (PPRI, SDAGE...).

D'un point de vue topographique, un remblayage de la zone est prévu à des cotes situées entre +21 m NGF et +21,3 m NGF autour d'une zone arborée pourvue d'un système de bassins communicants et inondables en cas de crues dépassant la cotes de + 20,3 m NGF.

La figure 14 permet d'illustrer de manière générale les aménagements prévus localement dans le quartier Saint-Serge.



Figure 14 : Plan de masse du nouveau projet sur le secteur Saint-Serge

2.3.2. Construction du modèle

La prise en compte des futurs aménagements du quartier Saint-Serge dans l'outil de modélisation numérique se fait via la modification des données topographiques et bathymétriques.

Les figures suivantes illustrent le relief de la zone d'étude en l'état projeté, en comparaison avec l'état actuel.

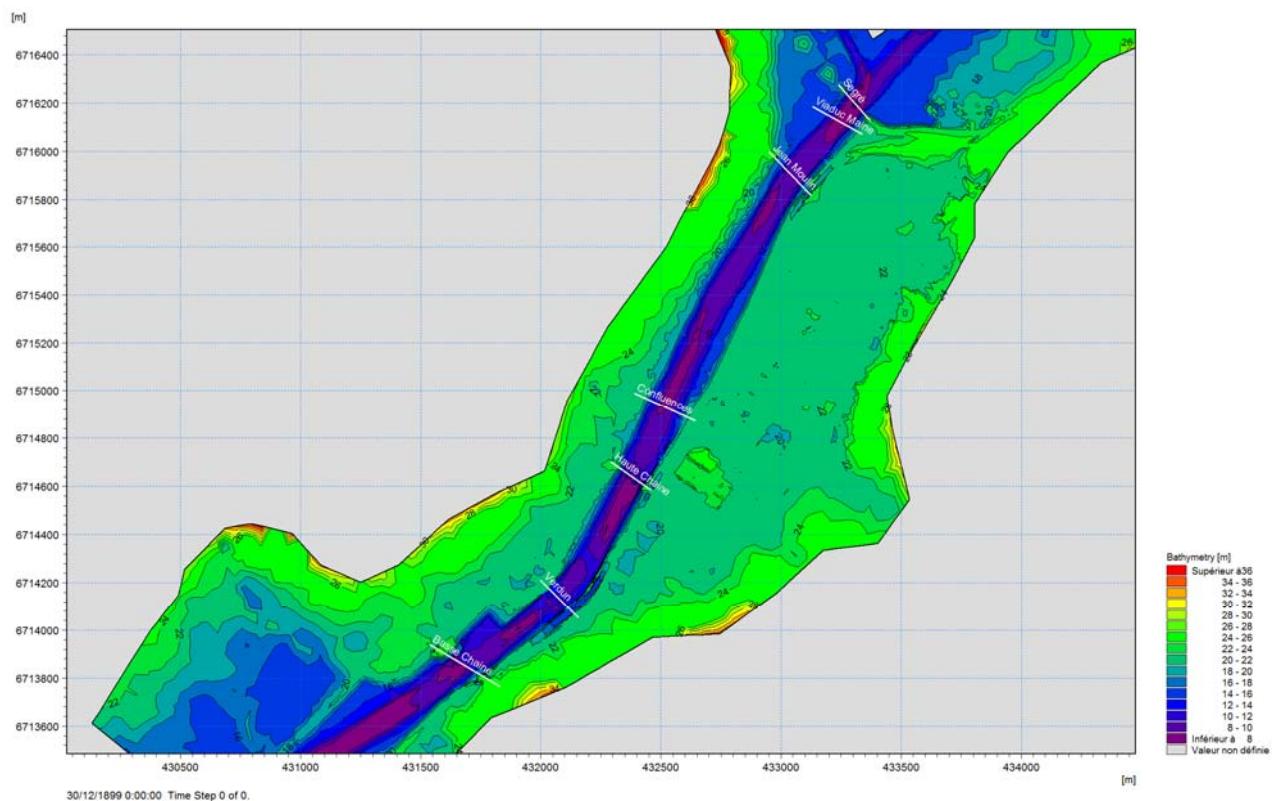


Figure 15 : Visualisation de la bathymétrie/topographie en l'état actuel

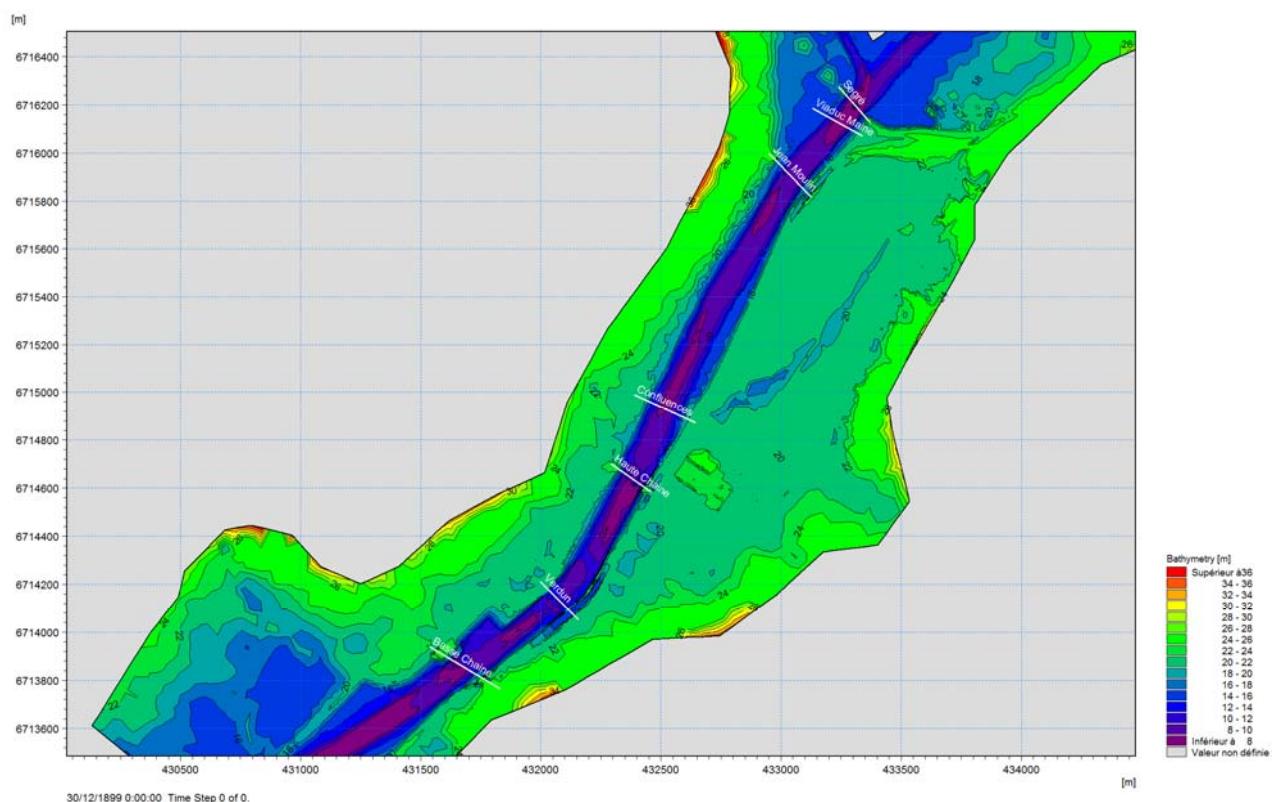


Figure 16 : Visualisation de la bathymétrie/topographie en l'état projeté

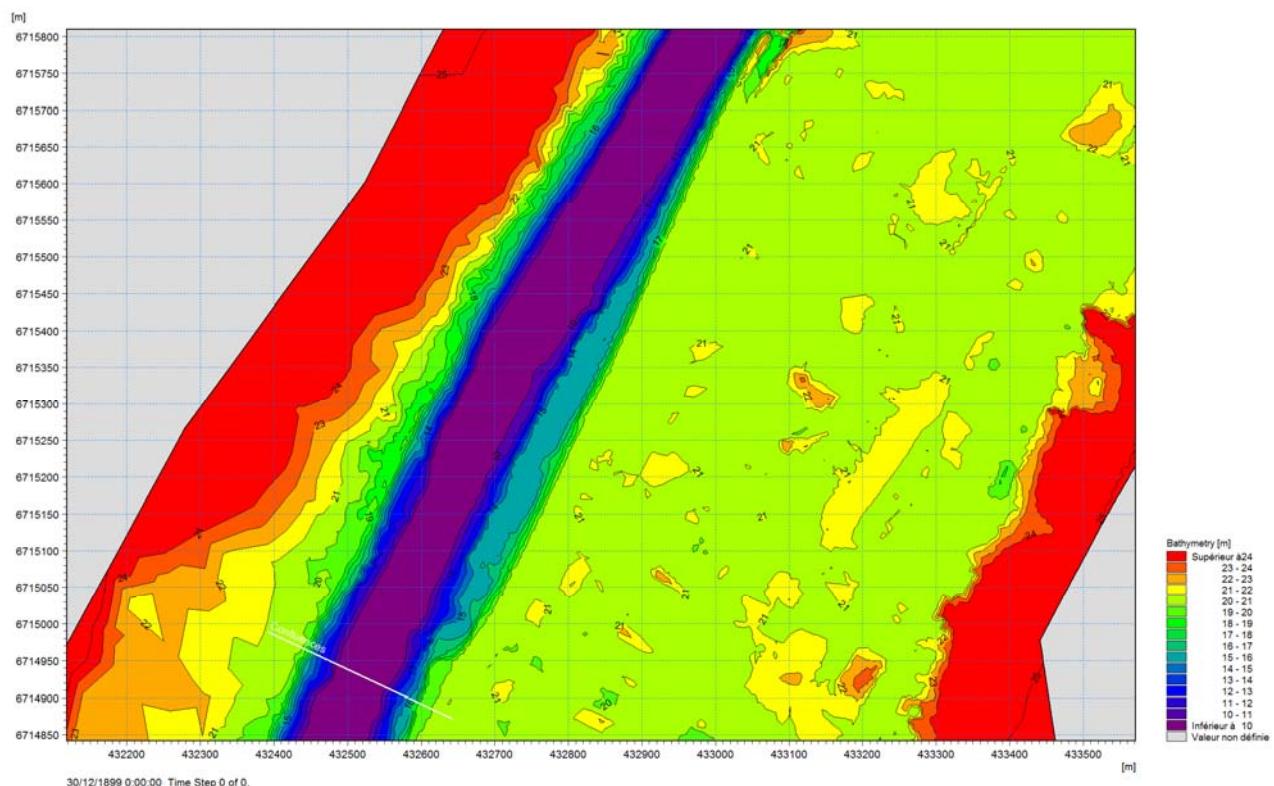


Figure 17 : Visualisation de la bathymétrie/topographie en l'état actuel – Zoom sur le quartier St Serge

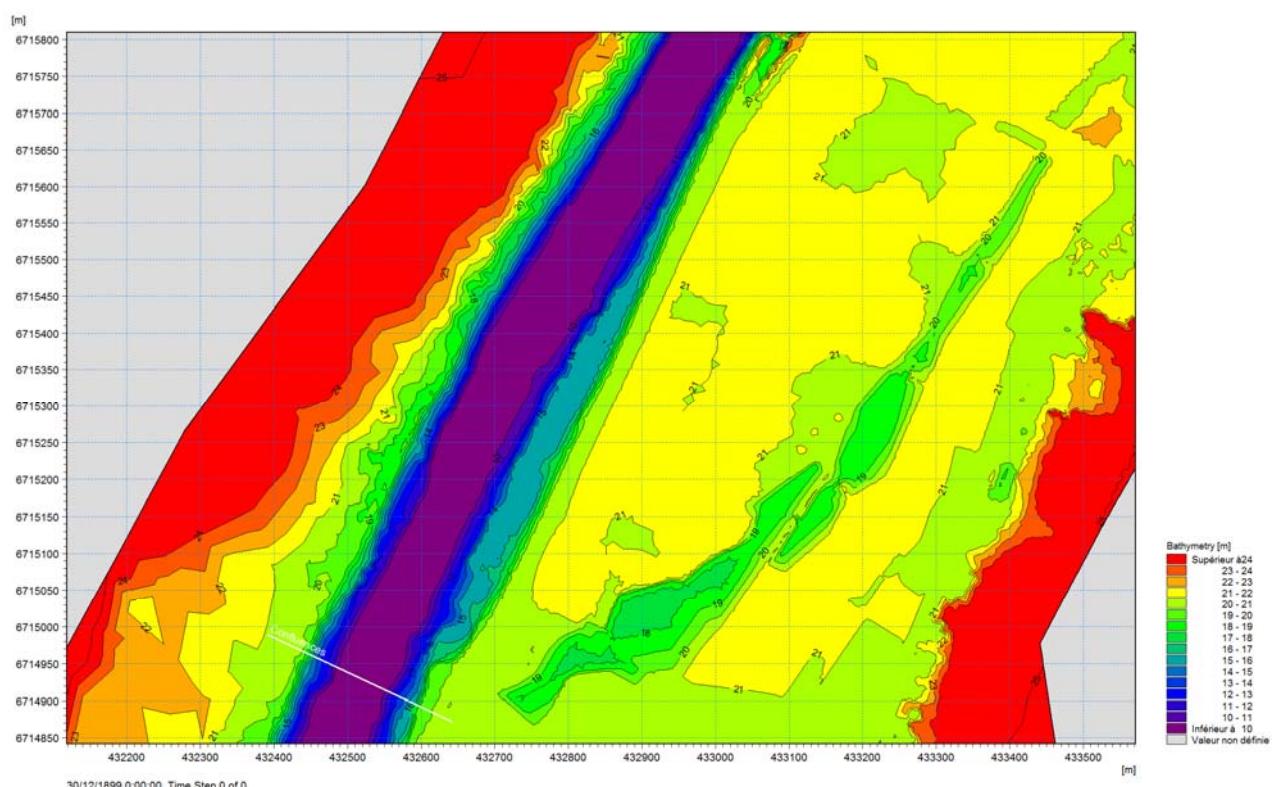


Figure 18 : Visualisation de la bathymétrie/topographie en l'état projeté – Zoom sur le quartier St Serge

2.3.3. Résultats

2.3.3.1. Préambule

De la même manière qu'en l'état actuel, les résultats sont représentés via des cartographies en plan.

Les résultats de la crue de 1995 (la plus importante) sont illustrés sous forme de figures en plan. Les données suivantes sont présentées :

- Niveaux d'eau ;
- Champs de vitesse bidimensionnels.

L'objectif principal de cette étude, conformément à la note technique établie, est d'analyser l'impact du projet sur les crues de la Maine.

Pour ce faire, il est nécessaire de montrer que les aménagements ne généreront :

- Aucune augmentation du niveau d'eau par rapport à la situation actuelle ;
- Aucune accélération des écoulements pour toute la partie située en aval du pont de Verdun ;
- Aucune augmentation significative des zones inondables déjà urbanisées.

Pour chaque figure présentée, il est rappelé l'état actuel avec lequel les valeurs peuvent être comparées afin de faciliter la lecture du rapport.

2.3.3.2. Crue de janvier 1995

Les résultats du modèle permettent d'apprécier les impacts des aménagements des berges de Maine sur les niveaux maximums atteints pour une crue similaire à celle de janvier 1995. Ces aménagements ont pour conséquence de relever très légèrement la ligne d'eau en amont du pont de Verdun (de l'ordre du millimètre) par rapport à la configuration actuelle (figure 18).

L'emprise inondable est cependant moins importante dans le quartier Saint-Serge que dans la configuration actuelle. En effet, le déblaiement/remblaiement de la zone au niveau du nouvel aménagement permet de limiter la surface submergée pour une crue de type janvier 1995.

Les conditions d'écoulement en aval du quartier Saint-Serge ne sont pas modifiées et les vitesses calculées sont du même ordre que dans la configuration actuelle.

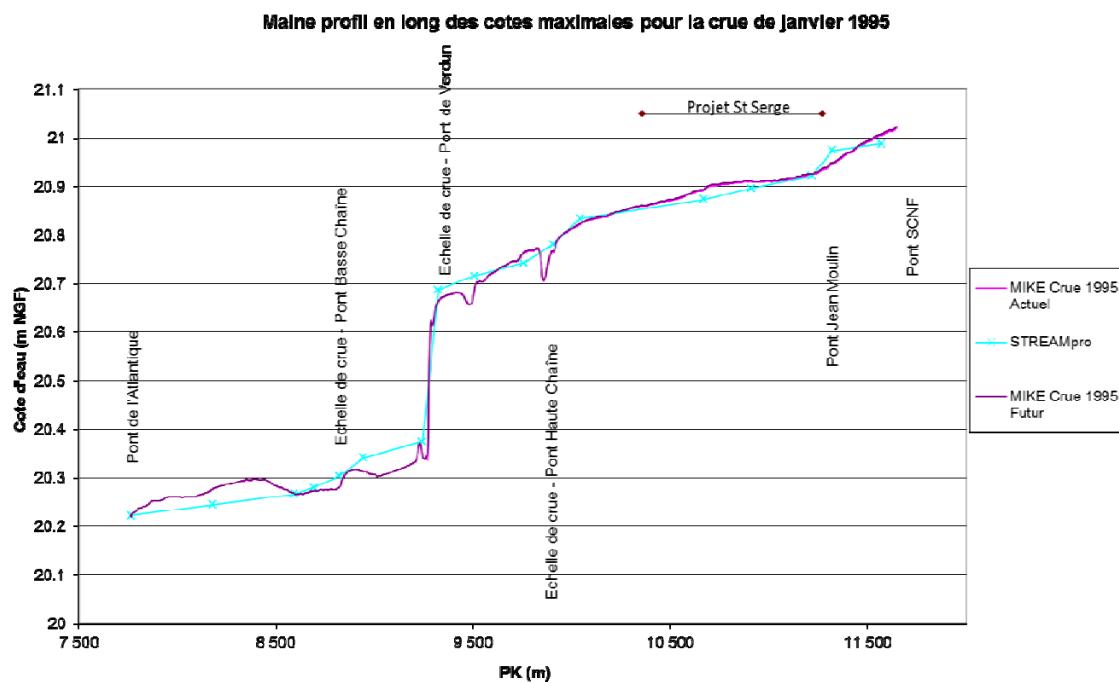


Figure 19 : Comparaison des profils en longs de la Maine de l'état actuel et de l'état aménagé pour la crue de janvier 1995

2.3.3.2.1. Niveaux d'eau

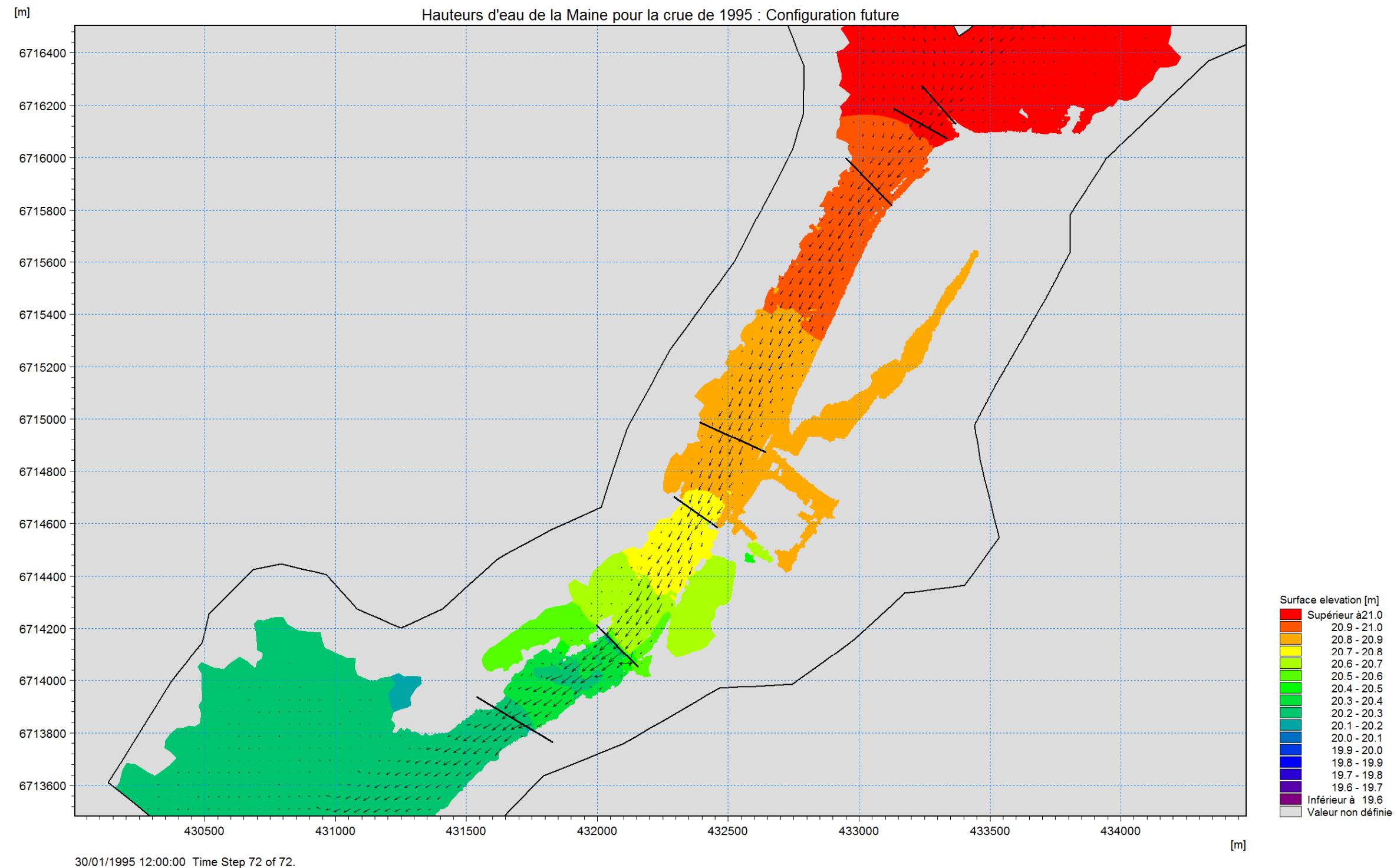


Figure 20 : Hauteurs d'eau de la Maine pour la crue de 1995

2.3.3.2.2. Champs de Vitesses

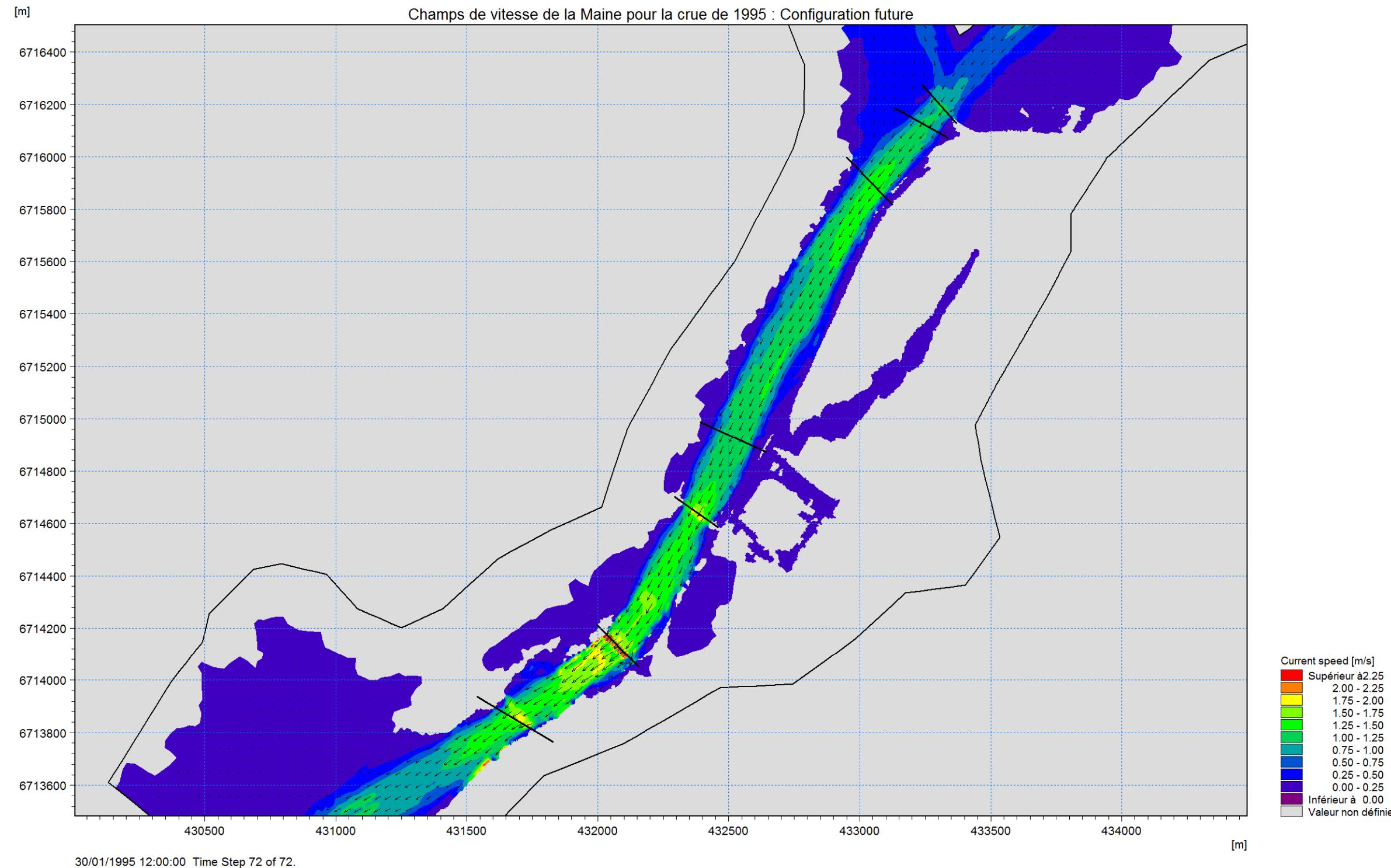


Figure 21 : Champs de vitesse de la Maine pour la crue de 1995

2.4. Conclusion sur les aspects hydrodynamiques

Le nouvel aménagement du quartier Saint-Serge a un impact relativement faible sur les conditions d'écoulement en conditions de crues de type janvier 1995. En effet, dans ces conditions les différences relevées et avec la configuration actuelle sont de l'ordre du millimètre.

L'emprise de la zone inondable du quartier Saint-Serge dans ces conditions est moins étendue en considérant le nouvel aménagement que dans la configuration actuelle. Ces mêmes aménagements ne modifient pas les conditions d'écoulement à l'aval du quartier Saint-Serge.

Les aménagements n'augmentent pas significativement les vitesses d'écoulement à l'aval de la zone d'étude.

Ce projet ne présente donc pas d'incompatibilité avec le PPRI actuel. En effet, les résultats des modélisations démontrent que les aménagements proposés respectent les contraintes réglementaires qui imposent une absence d'aggravation de l'aléa inondation sur le linéaire de la Maine impacté par le projet, ainsi que la non augmentation des vitesses et des hauteurs d'eau par rapport à la situation actuelle.^[1]

ANNEXES

Annexe 1 : Fiches de la station hydrométrique de la Maine à Angers (Source : Banque Hydro)



L'OUDON à SEGRE [ECLUSE DE MAINGUE]

Code station : M3851810 Bassin versant : 1310 km²

Producteur : DREAL Pays-de-Loire E-mail : hydrometrie.dreal-pays-de-la-loire@developpement-durable.gouv.fr

SYNTHESE : données hydrologiques de synthèse (1995 - 2013)
Calculées le 08/09/2013 - Intervalle de confiance : 95 %

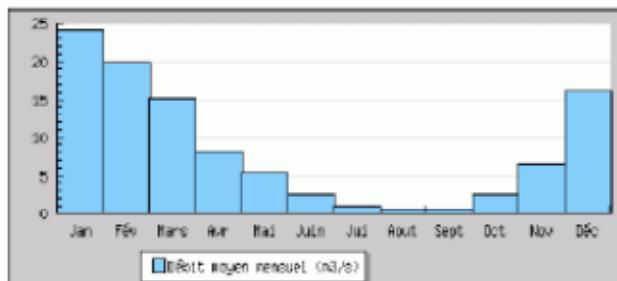
écoulements mensuels (naturels)

| | janv. | fév. | mars | avr. | mai | juin | juil. | août | sept. | oct. | nov. | déc. | Année |
|----------------------------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| Débits (m ³ /s) | 24.10 # | 19.80 # | 15.20 # | 8.120 | 5.350 | 2.530 | 0.996 # | 0.492 # | 0.565 # | 2.520 # | 6.540 # | 16.20 # | 8.500 |
| Qsp (l/s/km ²) | 18.4 # | 15.1 # | 11.6 # | 6.2 | 4.1 | 1.9 | 0.8 # | 0.4 # | 0.4 # | 1.9 # | 5.0 # | 12.4 # | 6.5 |
| Lame d'eau (mm) | 49 # | 37 # | 31 # | 16 | 10 | 5 | 2 # | 1 # | 1 # | 5 # | 12 # | 33 # | 205 |

Qsp : débits spécifiques

Codes de validité :

- (espace) : valeur bonne
- ! : valeur reconstituée par le gestionnaire et jugée bonne
- # : valeur estimée (mesurée ou reconstituée) que le gestionnaire juge incertaine



modules interannuels (loi de Gauss - septembre à août)

| module (moyenne) | fréquence | quinquennale sèche | médiane | quinquennale humide |
|-----------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 8.500 [6.640;10.40] | débits (m ³ /s) | 4.300 [1.800;6.100] | 8.500 [5.700;13.00] | 11.00 [9.600;14.00] |

basses eaux (loi de Galton - janvier à décembre)

données calculées sur 19 ans

| fréquence | VCN3 (m ³ /s) | VCN10 (m ³ /s) | QMNA (m ³ /s) |
|--------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| biennale | 0.059 [0.031;0.110] | 0.085 [0.046;0.160] | 0.140 [0.078;0.270] |
| quinquennale sèche | 0.018 [0.008;0.034] | 0.027 [0.012;0.049] | 0.043 [0.019;0.080] |

crues (loi de Gumbel - septembre à août)

données calculées sur 17 ans

| fréquence | QJ (m ³ /s) | QIX (m ³ /s) |
|-----------------|------------------------|-------------------------|
| biennale | 87.00 [70.00;110.0] | 94.00 [76.00;120.0] |
| quinquennale | 140.0 [120.0;180.0] | 150.0 [120.0;200.0] |
| décennale | 170.0 [140.0;230.0] | 180.0 [150.0;250.0] |
| vicennale | 200.0 [170.0;280.0] | 220.0 [180.0;300.0] |
| cinquantiennale | non calculé | [:] |
| centennale | non calculé | non calculé |

maximums connus (par la banque HYDRO)

| | | |
|--|---------|----------------------|
| hauteur maximale instantanée (cm) | 237 | 6 janvier 2001 04:52 |
| débit instantané maximal (m ³ /s) | 251.0 # | 6 janvier 2001 04:52 |
| débit journalier maximal (m ³ /s) | 234.0 # | 6 janvier 2001 |

débits classés

données calculées sur 6796 jours

| fréquence | 0.99 | 0.98 | 0.95 | 0.90 | 0.80 | 0.70 | 0.60 | 0.50 | 0.40 | 0.30 | 0.20 | 0.10 | 0.05 | 0.02 | 0.01 |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| débit (m ³ /s) | 78.20 | 58.20 | 36.50 | 22.50 | 11.60 | 6.670 | 3.880 | 2.410 | 1.550 | 0.958 | 0.442 | 0.092 | 0.051 | 0.029 | 0.016 |

eaufrance

18-09-2013 <http://hydro.eaufrance.fr/> - Page 1/1



LA MAYENNE à CHAMBELLAY

Code station : M3630910 Bassin versant : 4180 km²

Producteur : DREAL Pays-de-Loire E-mail : hydrometrie.dreal-pays-de-la-loire@developpement-durable.gouv.fr

SYNTHESE : données hydrologiques de synthèse (1965 - 2013)
Calculées le 08/09/2013 - Intervalle de confiance : 95 %

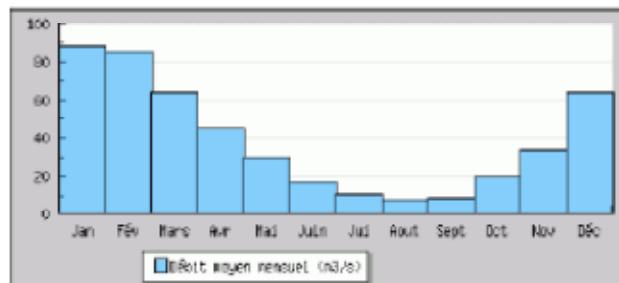
écoulements mensuels (naturels)

| | janv. | fév. | mars | avr. | mai | juin | juil. | août | sept. | oct. | nov. | déc. | Année |
|----------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|
| Débits (m ³ /s) | 88.30 # | 85.00 | 63.60 | 44.30 | 29.70 | 17.20 # | 10.70 # | 7.380 # | 7.910 # | 10.40 # | 33.10 # | 64.00 | 39.00 |
| Qsp (l/s/km ²) | 21.2 # | 20.4 | 15.3 | 10.6 | 7.1 | 4.1 # | 2.6 # | 1.8 # | 1.9 # | 4.7 # | 8.0 # | 15.4 | 9.4 |
| Lame d'eau (mm) | 56 # | 51 | 40 | 27 | 19 | 10 # | 6 # | 4 # | 4 # | 12 # | 20 # | 41 | 297 |

Qsp : débits spécifiques

Codes de validité :

- (espace) : valeur bonne
- ! : valeur reconstituée par le gestionnaire et jugée bonne
- # : valeur estimée (mesurée ou reconstituée) que le gestionnaire juge incertaine



modules interannuels (loi de Gauss - septembre à août)

| module (moyenne) | fréquence | quinquennale sèche | médiane | quinquennale humide |
|-----------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 39.00 [35.20;42.80] | débits (m ³ /s) | 25.00 [21.00;30.00] | 39.00 [33.00;47.00] | 51.00 [47.00;56.00] |

basses eaux (loi de Galton - janvier à décembre)

données calculées sur 49 ans

| fréquence | VCN3 (m ³ /s) | VCN10 (m ³ /s) | QMNA (m ³ /s) |
|--------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| biennale | 3.100 [2.800;3.600] | 3.800 [3.200;4.500] | 5.000 [4.400;5.800] |
| quinquennale sèche | 1.800 [1.400;2.100] | 2.300 [1.900;2.700] | 3.100 [2.600;3.600] |

crues (loi de Gumbel - septembre à août)

données calculées sur 47 ans

| fréquence | QJ (m ³ /s) | QIX (m ³ /s) |
|-----------------|------------------------|-------------------------|
| biennale | 310.0 [290.0;350.0] | 340.0 [310.0;370.0] |
| quinquennale | 450.0 [410.0;520.0] | 490.0 [450.0;550.0] |
| décennale | 550.0 [500.0;630.0] | 590.0 [530.0;680.0] |
| vicennale | 640.0 [570.0;740.0] | 680.0 [610.0;800.0] |
| cinquantiennale | 750.0 [670.0;890.0] | 810.0 [720.0;950.0] |
| centennale | non calculé | non calculé |

maximums connus (par la banque HYDRO)

| | | |
|--|-------|------------------------|
| hauteur maximale instantanée (cm) | 259 | 29 janvier 1995 10:23 |
| débit instantané maximal (m ³ /s) | 824.0 | 17 novembre 1974 00:00 |
| débit journalier maximal (m ³ /s) | 798.0 | 29 octobre 1966 |

débits classés

données calculées sur 17339 jours

| fréquence | 0.99 | 0.98 | 0.95 | 0.90 | 0.80 | 0.70 | 0.60 | 0.50 | 0.40 | 0.30 | 0.20 | 0.10 | 0.05 | 0.02 | 0.01 |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| débit (m ³ /s) | 250.0 | 208.0 | 147.0 | 98.50 | 58.50 | 38.50 | 26.90 | 19.00 | 13.80 | 9.800 | 7.050 | 4.840 | 3.500 | 2.190 | 1.540 |

18-09-2013 <http://hydro.eaufrance.fr/> - Page 1/1

SPLA DE L'ANJOU
ETUDE HYDRAULIQUE DU COMPORTEMENT DE LA MAINE



LA SARTHE à SAINT-DENIS-D'ANJOU [BEFFES]

Code station : M0680610 Bassin versant : 7380 km²

Producteur : DREAL Pays-de-Loire E-mail : hydrometrie.dreal-pays-de-la-loire@developpement-durable.gouv.fr

SYNTHESE : données hydrologiques de synthèse (1971 - 2013)
Calculées le 08/09/2013 - Intervalle de confiance : 95 %

écoulements mensuels (naturels)

| | janv. | fév. | mars | avr. | mai | juin | juil. | août | sept. | oct. | nov. | déc. | Année |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|
| Débits (m ³ /s) | 98.20 | 94.20 | 78.40 | 56.10 | 39.50 | 25.50 | 18.20 # | 13.60 # | 15.10 # | 25.10 # | 38.70 # | 69.30 | 47.30 |
| Qsp (l/s/km ²) | 13.0 | 12.8 | 10.6 | 7.6 | 5.4 | 3.5 | 2.5 # | 1.8 # | 2.0 # | 3.4 # | 5.2 # | 9.4 | 6.4 |
| Lame d'eau (mm) | 34 | 31 | 28 | 19 | 14 | 8 | 6 # | 4 # | 5 # | 9 # | 13 # | 25 | 203 |

Qsp : débits spécifiques

Codes de validité :

- (espace) : valeur bonne
- ! : valeur reconstituée par le gestionnaire et jugée bonne
- # : valeur estimée (mesurée ou reconstituée) que le gestionnaire juge incertaine



modules interannuels (loi de Gauss - septembre à août)

| module (moyenne) | fréquence | quinquennale sèche | médiane | quinquennale humide |
|-----------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 47.30 [42.50;52.10] | débits (m ³ /s) | 31.00 [25.00;36.00] | 47.00 [41.00;56.00] | 62.00 [57.00;68.00] |

basses eaux (loi de Galton - janvier à décembre)

données calculées sur 43 ans

| fréquence | VCN10 (m ³ /s) | VCN10 (m ³ /s) | QMN10 (m ³ /s) |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| biennale | 7.900 [7.100;8.900] | 8.800 [7.800;9.800] | 11.00 [10.00;13.00] |
| quinquennale sèche | 5.500 [4.800;6.200] | 6.100 [5.300;6.900] | 8.200 [7.200;9.200] |

crues (loi de Gumbel - septembre à août)

données calculées sur 41 ans

| fréquence | QJ (m ³ /s) | QIX (m ³ /s) |
|-----------------|------------------------|-------------------------|
| biennale | 300.0 [270.0;330.0] | 310.0 [280.0;340.0] |
| quinquennale | 420.0 [380.0;470.0] | 430.0 [400.0;490.0] |
| décennale | 500.0 [450.0;580.0] | 520.0 [470.0;590.0] |
| vicennale | 580.0 [520.0;670.0] | 590.0 [540.0;690.0] |
| cinquantiennale | 680.0 [600.0;800.0] | 700.0 [620.0;830.0] |
| centennale | non calculé | non calculé |

maximums connus (par la banque HYDRO)

| | | |
|--|-------|-----------------------|
| hauteur maximale instantanée (cm) | 219 | 27 janvier 1995 00:37 |
| débit instantané maximal (m ³ /s) | 685.0 | 27 janvier 1995 00:37 |
| débit journalier maximal (m ³ /s) | 666.0 | 27 janvier 1995 |

débits classés

données calculées sur 15589 jours

| fréquence | 0.99 | 0.98 | 0.95 | 0.90 | 0.80 | 0.70 | 0.60 | 0.50 | 0.40 | 0.30 | 0.20 | 0.10 | 0.05 | 0.02 | 0.01 |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| débit (m ³ /s) | 301.0 | 241.0 | 163.0 | 109.0 | 63.90 | 44.90 | 33.40 | 26.70 | 21.70 | 17.70 | 14.20 | 10.70 | 8.510 | 6.790 | 5.500 |

eaufrance

18-09-2013 <http://hydro.eaufrance.fr/> - Page 1/1



LA MAINE à ANGERS [ECHELLE]

Code station : M4101910 Bassin versant : 22020 km²

Producteur : DREAL Pays-de-Loire E-mail : hydrometrie.dreal-pays-de-la-loire@developpement-durable.gouv.fr

SYNTHESE : données hydrologiques de synthèse (1969 - 2011)
Calculées le 08/09/2013 - Intervalle de confiance : 95 %

écoulements mensuels (naturels)

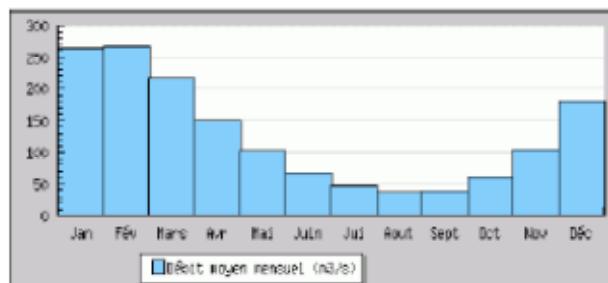
données calculées sur 43 ans

| | janv. | fév. | mars | avr. | mai | juin | juil. | août | sept. | oct. | nov. | déc. | Année |
|----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| Débits (m ³ /s) | 264.0 # | 267.0 # | 216.0 # | 150.0 # | 103.0 # | 65.80 # | 46.00 # | 35.20 # | 38.10 # | 60.00 # | 105.0 # | 181.0 # | 127.0 |
| Qsp (l/s/km ²) | 12.0 # | 12.1 # | 9.8 # | 6.8 # | 4.7 # | 3.0 # | 2.1 # | 1.6 # | 1.7 # | 2.7 # | 4.8 # | 8.2 # | 5.8 |
| Lame d'eau (mm) | 32 # | 30 # | 26 # | 17 # | 12 # | 7 # | 5 # | 4 # | 4 # | 7 # | 12 # | 21 # | 182 |

Qsp : débits spécifiques

Codes de validité :

- : valeur bonne
- ! : valeur reconstituée par le gestionnaire et jugée bonne
- # : valeur estimée (mesurée ou reconstituée) que le gestionnaire juge incertaine



modules interannuels (loi de Gauss - septembre à août)

données calculées sur 43 ans

| module (moyenne) | fréquence | quinquennale sèche | médiane | quinquennale humide |
|-----------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 127.0 [114.0;139.0] | débits (m ³ /s) | 86.00 [70.00;99.00] | 130.0 [110.0;150.0] | 170.0 [150.0;180.0] |

basses eaux (loi de Galton - janvier à décembre)

données calculées sur 43 ans

| fréquence | VCN3 (m ³ /s) | VCN10 (m ³ /s) | QMNA (m ³ /s) |
|--------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| biennale | 23.00 [20.00;25.00] | 24.00 [22.00;27.00] | 29.00 [27.00;33.00] |
| quinquennale sèche | 16.00 [14.00;18.00] | 17.00 [15.00;19.00] | 21.00 [19.00;24.00] |

crues (loi de Gumbel - septembre à août)

données calculées sur 42 ans

| fréquence | QJ (m ³ /s) | QIX (m ³ /s) |
|-----------------|------------------------|-------------------------|
| biennale | 790.0 [720.0;870.0] | |
| quinquennale | 1100. [1000.;1300.] | |
| décennale | 1300. [1200.;1600.] | |
| vicennale | 1600. [1400.;1800.] | |
| cinquantiennale | 1800. [1600.;2200.] | |
| centennale | non calculé | non calculé |

maximums connus (par la banque HYDRO)

| hauteur maximale instantanée (cm) | | |
|--|---------|-----------------|
| débit instantané maximal (m ³ /s) | | |
| débit journalier maximal (m ³ /s) | 1890. # | 29 janvier 1995 |

débits classés

données calculées sur 15705 jours

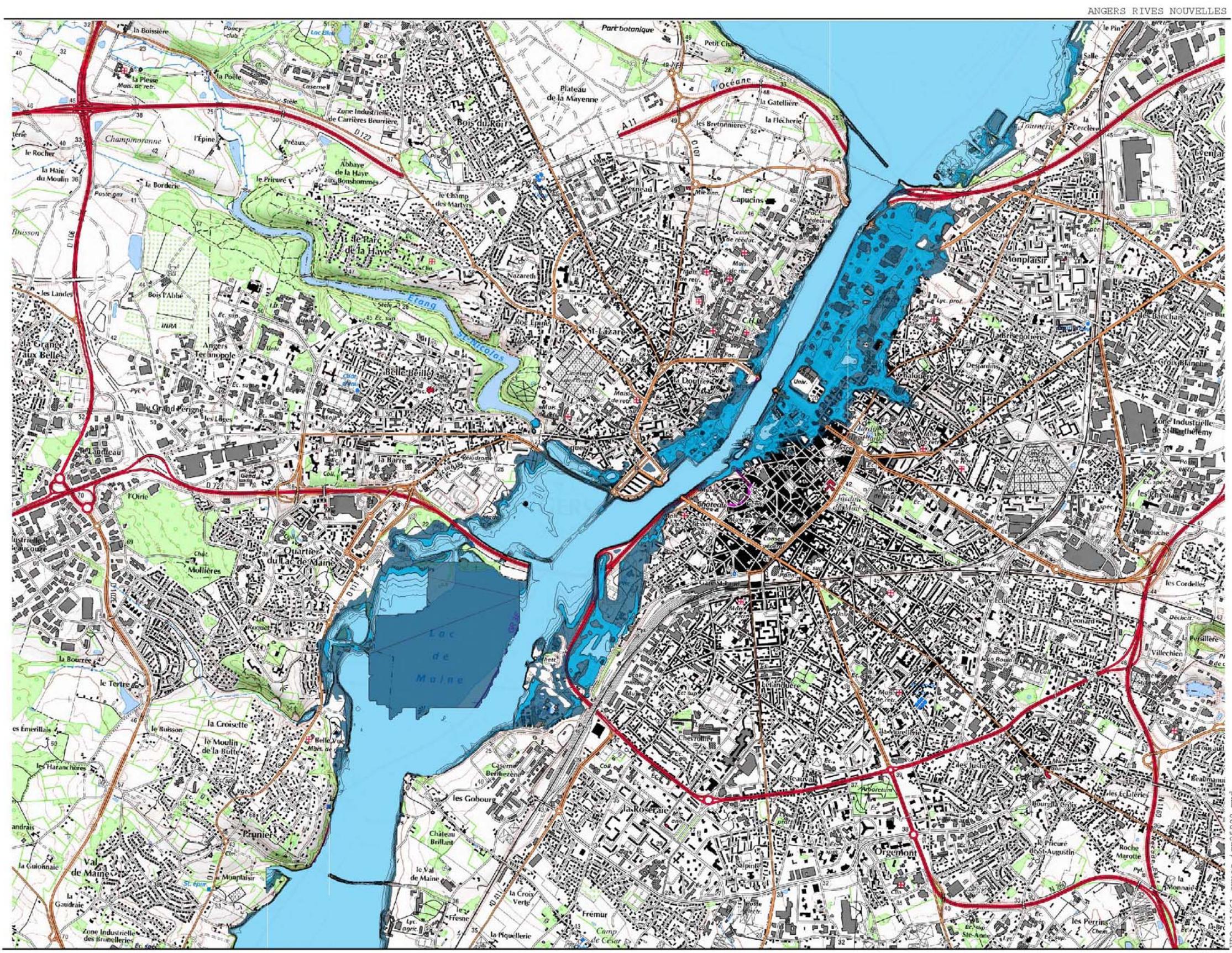
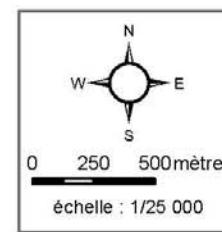
| fréquence | 0.99 | 0.98 | 0.95 | 0.90 | 0.80 | 0.70 | 0.60 | 0.50 | 0.40 | 0.30 | 0.20 | 0.10 | 0.05 | 0.02 | 0.01 |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| débit (m ³ /s) | 772.0 | 625.0 | 435.0 | 300.0 | 173.0 | 122.0 | 91.60 | 72.00 | 57.10 | 45.60 | 36.40 | 28.00 | 22.10 | 17.60 | 15.40 |

18-09-2013 <http://hydro.eaufrance.fr/> - Page 1/1

**Annexe 2 : Cartographie de l'aléa inondation (Source :
DDT Maine et Loire)**

Cartographie de l'aléa inondation

- Crue fréquente
- Crue moyenne
- Crue extrême







www.sce.fr
GROUPE KERAN