

Modélisation hydraulique

Dans le cadre des études du projet de mise à grand gabarit de la liaison fluviale entre Bray-sur-Seine et Nogent-sur-Seine menées en préalable au débat public, un modèle hydraulique a été réalisé afin d'analyser les impacts potentiels des différents scénarios de projet sur une gamme de régimes hydrauliques allant de l'étiage à la crue la plus importante connue sur le secteur d'étude.

Ce modèle a été conçu par le bureau d'études SAFEGE sous le pilotage de VNF.

Pourquoi un modèle hydraulique ?

Le projet de mise à grand gabarit consiste à réaliser des aménagements sur un cours d'eau. Comme pour tout projet amenant une modification sur l'écoulement de l'eau (pont au-dessus d'une rivière, création de digues..), une modélisation hydraulique doit être réalisée afin de connaître les conséquences de l'ouvrage sur l'écoulement de l'eau notamment en période de crue. Cette vérification est faite afin de s'assurer que les conditions hydrauliques ne sont pas modifiées sur le secteur aménagé, mais également en amont et en aval. Dans le cadre du projet de mise à grand gabarit, l'enjeu était double : d'une part s'assurer que les conditions d'inondation (en crue) ou d'alimentation (à l'étiage et pour les régimes moyens) de la zone humide soient bien conservées et, d'autre part, que le projet n'entraîne pas une accélération et une augmentation des crues en aval.

Le modèle hydraulique a également servi à optimiser les aménagements envisagés. En effet, une première étape a consisté à analyser les impacts des tracés « bruts », puis à étudier une série de mesures permettant d'éviter et de réduire les impacts constatés. Une fois ces mesures prises en compte dans le projet, les tracés optimisés ont pu être déterminés et testés dans le modèle. Ce sont ces résultats qui sont présentés au cours du débat.

Comment a été déterminé le cahier des charges qui a permis la réalisation du modèle hydraulique par SAFEGE ?

Étant donné la sensibilité du secteur d'études du projet de mise à grand gabarit (vallée de la Seine avec de nombreux cours d'eau, enjeux écologiques de la plaine de la Bassée), VNF s'est dans un premier temps entouré d'un bureau d'études spécialisé dans les domaines hydrauliques et environnementaux (société EGIS EAU), afin de déterminer le cahier des charges précisant les futures caractéristiques du modèle hydraulique. Ce cahier des charges a également été travaillé avec les services de l'Etat compétents sur ces questions (Direction Régionale et Interdépartementale de l'industrie, de l'eau et de l'environnement d'Île-de-France ainsi que la Direction Régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement de Champagne-Ardenne, l'Agence de l'eau Seine-Normandie) et Seine Grands Lacs.

Comment a été choisi le bureau d'études qui a réalisé le modèle ?

Une fois le cahier des charges validé, VNF a passé un appel d'offres public de niveau européen auquel plusieurs candidats ont répondu. Le bureau d'études SAFEGE a été retenu comme le candidat le mieux-disant au vu des critères de sélection (70% valeur technique de l'offre – 30% prix).

L'étude s'est déroulée sur 12 mois et a nécessité une dizaine de réunions de travail

Quel type de modèle a été utilisé ?

Le modèle élaboré dans le cadre des études est réalisé à partir d'un logiciel (dénommé MIKE 11), développé par le Danish hydraulic Institute. Ce logiciel a été diffusé à plusieurs milliers d'exemplaires dans le monde entier. Il s'agit d'un modèle dit « unidimensionnel maillé » (d'autres types de modèles existent : ils sont bi-dimensionnel ou tri-dimensionnel), permettant une représentation détaillée du lit majeur et des principaux axes d'écoulement (espace occupé par la Seine lors de ses plus grandes crues) de la Seine. Le logiciel utilisé dans le cadre de ce projet a

déjà été mis en œuvre par SAFEGE pour de nombreuses études sur des cours d'eau français (études liées à des aménagements hydraulique ou des Plans de Prévention des Risques Inondations sur la Seine, l'Yonne, l'Oise, l'Aisne, la Moselle, la Vilaine, la Marne, le Serein...).

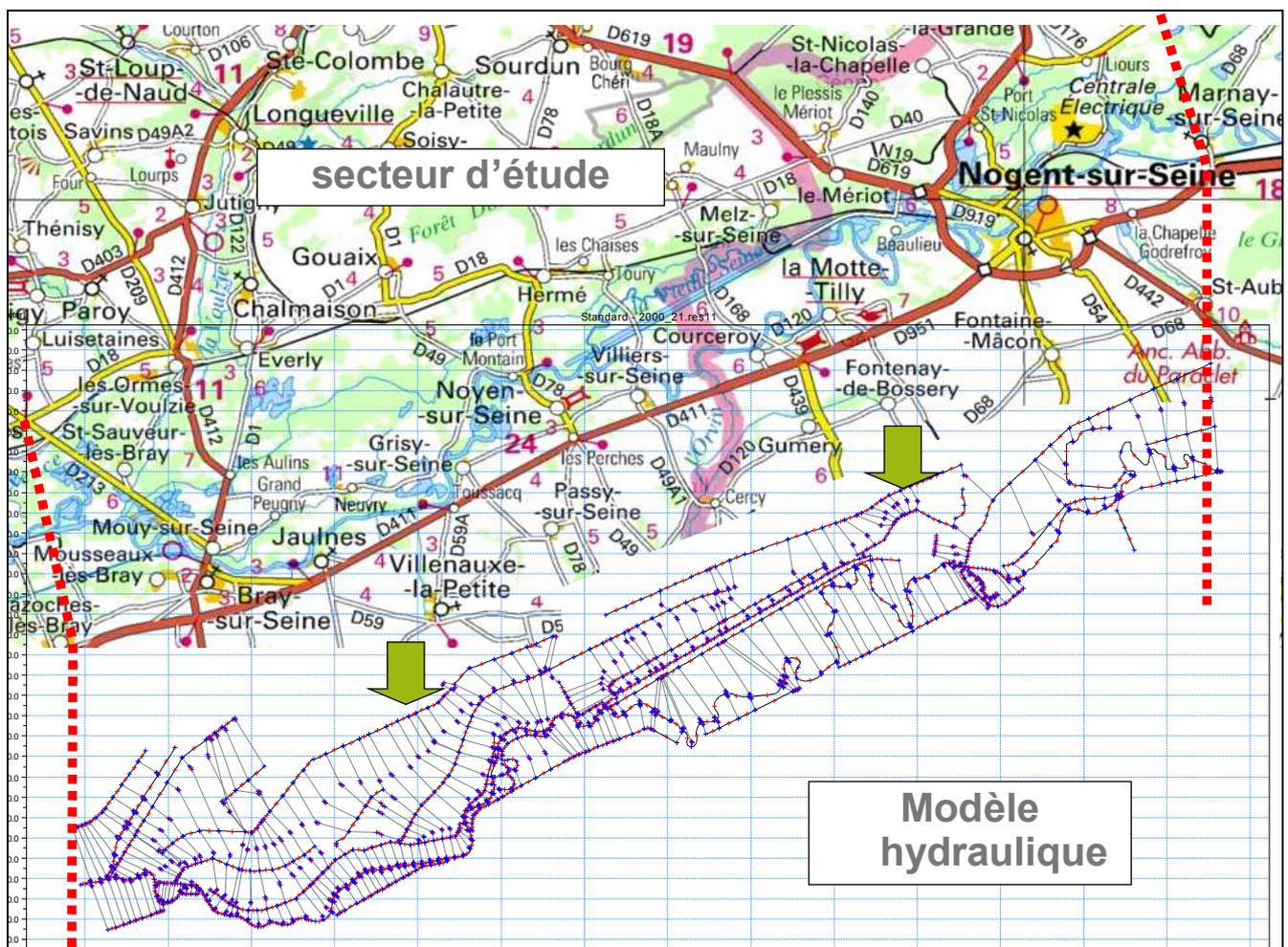
Quelle est la zone d'étude prise en compte ?

Le modèle doit permettre de représenter la vallée de la Seine depuis l'amont de Nogent-sur-Seine, jusqu'au barrage de la Grande Bosse. Il couvre donc l'ensemble du lit majeur de la Seine. Il prend en compte aussi bien la partie navigable de la Seine que celle non navigable et le canal de Beaulieu. Il intègre les principaux axes d'écoulement naturels (le Resson, la Marenne de Liours, la noue de Pigny, la noue des Nageoires, la Vieille Seine, la Grande Noue d'Hermé, la Grande Noue de Neuvry, la vidée du Rossignol, le ruisseau des Méances, la Voulzie) ou artificiels (canal de Courtavant, chenal de contournement de la centrale de Nogent) en lit majeur

Le modèle s'étend à l'amont depuis le pont de la RD 68 à Marnay-sur-Seine de façon à prendre en compte de façon réaliste le passage des crues dans la plaine entre Nogent-sur-Seine et Bray-sur-Seine. En effet, en cas de forte crue, les écoulements en lit majeur se divisent de part et d'autre de la centrale de Nogent-sur-Seine, qui est construite hors d'eau dans le lit majeur de la Seine. Les écoulements passant au nord de la centrale vont principalement continuer leur chemin au nord de la voie ferrée Paris-Troyes et du canal de Beaulieu, qui compartimentent le lit majeur, tandis que les écoulements passant au sud de la centrale vont majoritairement passer par Nogent-sur-Seine puis par la Petite Seine non navigable.

Le modèle s'étend à l'aval jusqu'au barrage de la Grande Bosse puisque celui-ci est un point de convergence de l'ensemble des écoulements.

La figure ci-dessous représente le réseau hydrographique sur le périmètre d'étude et sa transposition dans l'architecture du modèle hydraulique.



Comment a été construit le modèle hydraulique ?

Dans un premier temps, SAFEGE a réalisé un relevé précis de la topographie de l'ensemble de la zone d'étude. Cela concerne le terrain naturel mais également la Seine, les ouvrages existants sur la zone (ponts, barrages, digues, buses...).

Pour ce faire, VNF a collecté plusieurs types de données :

- un relevé de terrain précis sur l'ensemble de la zone grâce à des techniques de prise de vues aériennes ;
- des relevés terrain par des géomètres de l'ensemble des ponts, des barrages et des ouvrages hydrauliques existants sur le secteur. En tout, cela concerne une centaine d'ouvrages ;
- un relevé de profils de la Seine naviguée tous les 260 mètres en moyenne permettant de connaître la topographie du lit de la Seine ainsi que des berges. Des relevés ont également été réalisés tous les 500 m sur la Seine non-naviguée entre Villiers-sur-Seine et Beaulieu et sur la Vieille Seine.

Ces données ont ainsi permis de réaliser ce que l'on appelle le modèle numérique de terrain, représentation fidèle du secteur d'études.

Dans un second temps, des investigations de terrain ont été réalisées par le bureau d'études afin de recenser les repères présents sur le terrain indiquant les niveaux de crues historiques, notamment ceux de la crue de 1910. Un relevé de la ligne d'eau sur l'ensemble du linéaire de la Seine concerné par le projet a également été réalisé en juillet 2010. Ces données terrain ont été complétées par la collecte des données disponibles au niveau des différentes stations hydrologiques du secteur, par les données fournies par Seine Grands lacs et enfin par le biais d'un questionnaire auprès des communes situées dans la zone d'étude. Cela a ainsi permis de constituer la gamme de régimes hydrauliques pouvant être simulée dans le modèle. Au total une centaine de repères de niveaux ont été collectés et nivelés, couvrant les épisodes suivants : ligne d'eau d'étiage (juillet 2010), crue de janvier 1910, crue de janvier 1955 et crue de janvier 1982.

Enfin, les consignes des barrages de navigation ont également été fournies afin de les représenter dans le modèle.

Quelles ont été les étapes de construction du modèle ?

Le modèle est construit en trois temps :

- Conformément à ce qui est abordé précédemment, une première version du modèle a été constituée en intégrant l'ensemble des données liées au terrain et à l'hydrologie du territoire ;
- Des tests de calage¹ ont alors été réalisés en simulant plusieurs régimes hydrauliques connus et bien documentés. Il s'agit dans le cas présent (1) de la ligne d'eau d'étiage de juillet 2010, qui permet de s'assurer de la faculté du modèle à représenter les épisodes « non débordants », (2) de la ligne d'eau de la crue de janvier 1982, qui permet de vérifier que le modèle simule correctement un épisode « très débordant ».
- Enfin, des tests de validation ont été réalisés en simulant d'autres épisodes, la crue de mars 2001 et celle de janvier 1910, de façon à vérifier que le calage obtenu à l'étape précédente est valable quel que soit l'épisode considéré.

Quel est l'état de référence pris en compte dans le modèle hydraulique ?

Le modèle hydraulique a pris en compte l'ensemble des aménagements sur le cours de la rivière existant au début de l'année 2010. La présence des barrages-réservoirs en amont du bassin est également prise en compte.

¹ Un test de calage compare ce qui est calculé par le modèle (donc le théorique) avec ce qui a été constaté dans la réalité (le réel). Ce test permet d'améliorer la fiabilité du modèle.

L'état de référence est constitué par les données fournies par le modèle une fois calé et validé pour les différents régimes hydraulique retenus dans le cadre du projet.

Pour la situation actuelle – donc sans projet-, le modèle prend en compte l'ensemble des éléments suivants :

- la topographie du terrain naturel ;
- les profils en travers de la Seine avec notamment la bonne prise en compte des points hauts des berges ;
- prise en compte des noues et affluents principaux (canal de Courtavant, Resson, Ardusson, Marenne de Liours, noue de Pigny, noue des Nageoires, Vieille Seine, Grande Noue d'Hermé, Grande Noue de Neuvry, vidée du Rossignol, ruisseau des Méances, Voulzie...),
- prise en compte des boucles connectées (Vezoult, Nogent),
- les infrastructures présentes (routes, voie ferrée),
- les ponts, les barrages et les ouvrages hydrauliques en lit majeur.

-

Pour chacun des scénarios envisagés, le tracé précis des aménagements nécessaires a été intégré dans le modèle. Cela concerne à la fois le tracé du chenal de navigation envisagé dans le cadre du projet, mais également l'ensemble des mesures d'évitement et de réduction d'impact envisagées pour chacun des scénarios.

Quels sont les régimes hydrauliques modélisés ?

Trois grands types de régimes hydrauliques ont été modélisés :

- l'étiage correspondant à ce que l'on appelle le QMNA5² ;
- les moyennes eaux correspondant au niveau moyen du mois de mars 2010;
- les crues. Quatre crues historiques ont été utilisées : février 2000 – mars 2001 – janvier 1910 – janvier 1982.

Dans tous les cas, une simulation de chacune des crues sans projet puis avec chacun des scénarios projetés (bruts et révisés) a été réalisée. Cela correspond donc à 30 simulations en tout.

Le modèle a-t-il fait l'objet d'une validation ?

Le modèle, comme l'ensemble des études hydrauliques, a été validé par un comité de suivi réuni spécifiquement pour cette étude. Ce comité était composé de la Direction Régionale et Interdépartementale de l'industrie, de l'eau et de l'environnement d'Ile-de-France, la Direction Régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement de Champagne-Ardenne, l'Agence de l'eau Seine-Normandie et Seine Grands Lacs.

Ce comité de suivi s'est réuni à plusieurs reprises afin notamment de valider successivement le calage du modèle hydraulique, les simulations correspondant aux scénarios bruts puis les simulations correspondant aux scénarios révisés.

De plus, les études hydrauliques ont été soumises aux membres du comité technique piloté par Pierre Verdeaux et mis en place par le préfet de Bassin dans le cadre du comité de pilotage des projets d'aménagement situés dans la Bassée.

Quelle est la précision des résultats issus du modèle ?

² QMNA5 : débit mensuel minimal annuel de fréquence quinquennale sèche (ayant une probabilité 1/5 (chaque année) de ne pas être dépassé)

Le calage du modèle montre que les résultats obtenus sont convergents et qu'il permet donc de restituer fidèlement une large gamme de régimes hydrologiques aussi bien en lit mineur qu'en lit majeur.

L'ensemble des résultats pour les simulations des scénarios projetés correspond à l'écart entre la situation actuelle modélisée et la situation future modélisée. La précision du modèle pour la quantification des impacts est alors de l'ordre du centimètre.

Quel type de résultats le modèle fournit-il ?

Le modèle, tel qu'il a été construit, est constitué de 1500 « nœuds de calculs » répartis sur le réseau hydrographique et l'ensemble de la plaine inondable. Il existe deux types de nœuds de calcul :

- 700 profils en travers, dont 170 profils en lit mineur décrivant la Seine et 630 profils en lit majeur avec une densité pouvant aller à 1 profil tous les 250 m sur les secteurs proches du lit mineur et jusqu'à 1 profil tous les 500 m pour les secteurs les plus éloignés.
- 800 points d'échanges entre les différentes parties du lit (échanges lit mineur / lit majeur ou échanges lit majeur / lit majeur).

Pour chacune des 30 simulations réalisées et pour chaque nœud de calcul, le modèle hydraulique fournit les résultats bruts suivants :

- La cote et son évolution dans le temps (en particulier la cote maximale atteinte),
- Le débit et son évolution dans le temps (en particulier le débit maximal atteint),
- La vitesse et son évolution dans le temps (en particulier la vitesse maximale atteinte).

A partir de ces informations, les durées et fréquences de submersion des terrains peuvent être évaluées en tout point de calcul. Ces résultats sont utilisés notamment dans le cadre de l'évaluation des impacts environnementaux liés à la modification éventuelle des conditions d'inondation ou d'alimentation des milieux en présence.

Ainsi des données sont disponibles sur l'ensemble du secteur d'études. Afin de permettre une analyse des résultats, une vue synthétique des cotes et débits atteints est fournie pour chacune des simulations réalisées.

De plus, au vu des enjeux existants sur le territoire, des zooms ont été réalisés sur 31 sites particuliers qui concernent des zones à enjeux environnementaux, à enjeux inondation ou à des enjeux liés aux usages de l'eau. Un dernier site a fait l'objet d'une analyse précise correspondant au point d'échange de données entre le modèle de VNF et celui de Seine Grands Lacs. Ce point est localisé au barrage de la Grande Bosse.

Pour chacun des points d'analyse du modèle, qu'il s'agisse des profils, des secteurs synthétiques ainsi que des sites particuliers, les impacts sont calculés (1) par différence entre les scénarios bruts et la situation de référence – donc sans le projet, (2) par différence entre les scénarios révisés et la situation de référence, (3) par différence entre les scénarios révisés et les scénarios bruts, de façon à caractériser les effets des mesures de révision envisagées. En tout point considéré, les résultats suivants sont fournis par le modèle, quel que soit le type de régime hydraulique simulé :

- la différence de hauteur de la ligne d'eau entre deux états d'aménagement ;
- la différence de débit ;
- la différence de durée de submersion (si l'on se situe en lit majeur) ;
- la différence de vitesse de l'eau.

Est-ce que le modèle de VNF est compatible avec celui de Seine Grands Lacs ?

Grâce à la mise en place d'un point d'échange entre le modèle VNF et le modèle Seine Grands Lacs, les deux modèles sont compatibles et les résultats issus de l'un sont injectables dans le second.

La neutralité hydraulique du projet de VNF sur celui de Seine Grands Lacs a pu être vérifiée grâce à cet échange de résultats et par la reprise des éléments du modèle de VNF dans le modèle de Seine Grands Lacs.

Si les études devaient se poursuivre à l'issue du débat public, quelles devraient être les compléments à apporter à la modélisation hydraulique déjà réalisée ?

Tout d'abord, il apparaîtrait important, comme le suggère l'Autorité environnementale dans sa contribution au cadrage préalable du projet en date du 9 novembre 2011, de soumettre à expertise contradictoire les hypothèses prises et les résultats issus du modèle. La constitution d'un comité scientifique indépendant pourrait être une piste à envisager pour assurer cette expertise.

En fonction des conclusions de ce comité scientifique, le modèle pourrait être adapté et complété, pour les besoins spécifiques des études de projet. Ces compléments permettraient notamment de gagner en précision sur la représentation du territoire, par exemple :

- en prenant en compte les plans d'eau présents sur le secteur d'études ;
- en affinant la description des cours d'eau secondaires et des fossés,
- en détaillant la structure du modèle dans des secteurs particuliers pour répondre notamment à des questions relevant de la « micro-hydraulique » ou d'aménagements spécifiques à destination des milieux naturels.

De plus, il serait nécessaire de tester une gamme de crues encore plus conséquente.