

LES GRANDS LACS DE SEINE



Etude pour l'optimisation de l'ouvrage de la Bassée

Phase 2.1 - Construction et calage du modèle hydraulique

Rapport

Sommaire

1	INTRODUCTION	3
2	L'ARCHITECTURE DE MODELISATION HYDRAULIQUE	4
2.1	LOGICIEL DE SIMULATION	4
2.2	DECOUPAGE DU PERIMETRE D'ETUDE EN SOUS SYSTEMES.....	5
2.3	PRINCIPE DE CONSTRUCTION D'UN MODELE	7
2.3.1	<i>Les schémas de modélisation</i>	7
2.3.2	<i>Les étapes de construction</i>	9
3	DESCRIPTION DES SOUS MODELES	9
3.1	SOUS MODELE « PSE ».....	9
3.1.1	<i>Emprise géographique et structure du modèle</i>	9
3.1.2	<i>Recueil et exploitation des données</i>	11
3.1.3	<i>Architecture du modèle du modèle</i>	12
3.1.4	<i>Les singularités des branches filaires</i>	14
3.1.5	<i>Ouvrages de franchissements dans le lit majeur de la Bassée amont.....</i>	15
3.1.6	<i>Les points d'apports hydrologiques.....</i>	15
3.1.7	<i>Modélisation du fonctionnement des lacs réservoirs</i>	16
3.1.8	<i>Les conditions aval</i>	17
3.2	SOUS MODELE « YON ».....	18
3.2.1	<i>Emprise géographique et structure du modèle</i>	18
3.2.2	<i>Recueil et exploitation des données</i>	19
3.2.3	<i>Description du modèle.....</i>	20
3.2.4	<i>Modélisation du fonctionnement des barrages</i>	21
3.2.5	<i>Condition limite aval.....</i>	21
3.3	SOUS MODELE « SM1».....	21
3.3.1	<i>Emprise géographique et structure du modèle</i>	21
3.3.2	<i>Recueil et exploitation des données</i>	23
3.3.3	<i>Description du modèle :.....</i>	24
3.3.4	<i>Modélisation des ouvrages hydrauliques.....</i>	25
3.3.5	<i>Modélisation spécifique des organes de gestion de l'aménagement Bassée.....</i>	27
3.3.6	<i>Points d'apport hydrologiques</i>	27
	<i>Condition à la limite aval.....</i>	27
3.4	SOUS MODELE « SM2» ET « MN3 ».....	29
3.4.1	<i>Emprise géographique et structure des modèles</i>	29
3.4.2	<i>Ouvrages singuliers</i>	29
3.4.3	<i>Apports hydrologiques</i>	29
3.4.4	<i>Condition limite aval.....</i>	29
3.5	MODELES DE LA SEINE AVAL	32
3.6	MODELES DE LA VALLEE DE LA MARNE	35
3.7	PROCEDURE D'EXPLOITATION DE LA CHAINE DE MODELISATION	37
4	CALAGE DES MODELES.....	39
4.1	OBJECTIFS DU CALAGE	39
4.2	SELECTION DES CRUES DE CALAGE	39
4.3	CALAGE DU SOUS MODELE « YON ».....	40
4.3.1	<i>Événements et données de calage</i>	40
4.3.2	<i>Procédure de calage.....</i>	40
4.3.3	<i>Résultats obtenus.....</i>	40

4.4	CALAGE DU SOUS MODELE PSE + SM1 AMONT	40
4.4.1	<i>Événements et données de calage</i>	40
4.4.2	<i>Procédure de calage</i>	41
4.4.3	<i>Fonctionnement des lacs réservoirs</i>	41
4.4.4	<i>Fonctionnement hydraulique du système Bassée entre Marnay et Montereau</i>	41
4.4.5	<i>Niveaux d'eau maxima atteints entre le Vézoult et Montereau</i>	44
4.5	CALAGE DES SOUS MODELES SM1 (AVAL MONTEREAU), SM2 ET MN3	45
5	CONCLUSIONS	47

Annexe : résultats détaillés par crue (documents séparé) :

1. Crues M99, D99, M01 (vallée de l'Yonne)
2. Crue J95
3. Crue J82
4. Crue J55
5. Crue D93
6. Crue F70

1 INTRODUCTION

Le présent rapport regroupe la méthode et les résultats de la phase 2.2 de l'étude complémentaire pour l'optimisation de la gestion de l'ouvrage de la Bassée, consacrée à la construction et au calage du modèle hydraulique.

Le modèle hydraulique a deux fonctions:

1. Il est exploité en priorité pour tester les incidences des différentes stratégies de gestion de l'aménagement Bassée ;
2. Il sert également à contrôler la cohérence hydrologique d'ensemble des crues historiques reconstituées, afin de disposer d'une base hydrologique cohérente à l'échelle du bassin de la Seine.

Le chapitre 2 présente l'outil de simulation mis en œuvre ainsi que l'architecture de modélisation mise en œuvre,

Le chapitre 3 décrit les caractéristiques de chaque sous modèle,

Le chapitre 4 traite de la procédure de calage hydraulique et de validation des différents sous modèles.

2 L'ARCHITECTURE DE MODELISATION HYDRAULIQUE

2.1 LOGICIEL DE SIMULATION

Le logiciel sélectionné est HYDRARIV, pour deux raisons :

1. ce logiciel réunit toutes les fonctionnalités nécessaires à la mise en œuvre du modèle hydraulique requis pour la présente étude,
2. le modèle élaboré dans la présente étude s'appuie en partie sur le modèle MRIF, élaboré en 1998 à l'aide du logiciel HYDRA. Or ce logiciel constitue le moteur de calcul d'HYDRARIV. On bénéficie donc de ce fait d'une base de modélisation existante et déjà calée sur les secteurs des vallées franciliennes.

HYDRARIV est un progiciel de modélisation hydrologique, hydraulique et de la qualité des cours d'eau et des espaces fluviaux. Il est conçu pour intégrer dans un même modèle des schémas de représentation contrastés, tels que la schématisation filaire, les casiers et les maillages bi dimensionnels. Cette souplesse permet d'adapter au mieux la modélisation à la spécificité des configurations rencontrées dans le domaine fluvial et aux objectifs de modélisation poursuivis.

HYDRARIV est une application totalement autonome, gérant tout à la fois la génération et l'édition des modèles via une interface graphique dédiée, le pilotage des calculs et l'exploitation des résultats. Elle est organisée autour d'un module de pilotage développé en VB6 et d'une base de données spécifique, interne à l'application : aucune licence externe n'est requise.

Le noyau de calcul est constitué par le logiciel HYDRA, développé et exploité par Hydratec depuis plus de 20 ans. Ce noyau englobe des algorithmes généraux intéressant les écoulements superficiels ; il est utilisé dans plusieurs domaines d'intervention, dont l'hydraulique fluviale. La chaîne de simulation HYDRA est totalement transparente à l'utilisateur car elle est pilotée par l'interface d'HYDRARIV.

Les concepts de modélisation manipulés par HYDRARIV présentent un haut niveau d'intégration avec pour avantages :

- L'ergonomie : la description d'un domaine fluvial est basée sur des schémas de modélisation diversifiés accordant une grande latitude de choix au modélisateur selon sa compréhension du fonctionnement hydraulique du système modélisé. Par ailleurs HYDRARIV est conçu pour fonctionner dans un environnement WINDOWS. Il respecte les « guides de style Windows », ainsi que les règles d'ergonomie des environnements Windows.
- La fiabilité et la robustesse : la génération d'un modèle hydraulique subit de nombreux contrôles de cohérence des données et active automatiquement les options de calcul les plus appropriées aux caractéristiques du modèle défini par l'utilisateur,
- La performance : l'organisation interne des entités de modélisation est entièrement prise en charge par des programmes de génération spécifiques. Ceux-ci sont conçus pour optimiser la taille des systèmes matriciels et donc minimiser les temps de calcul.

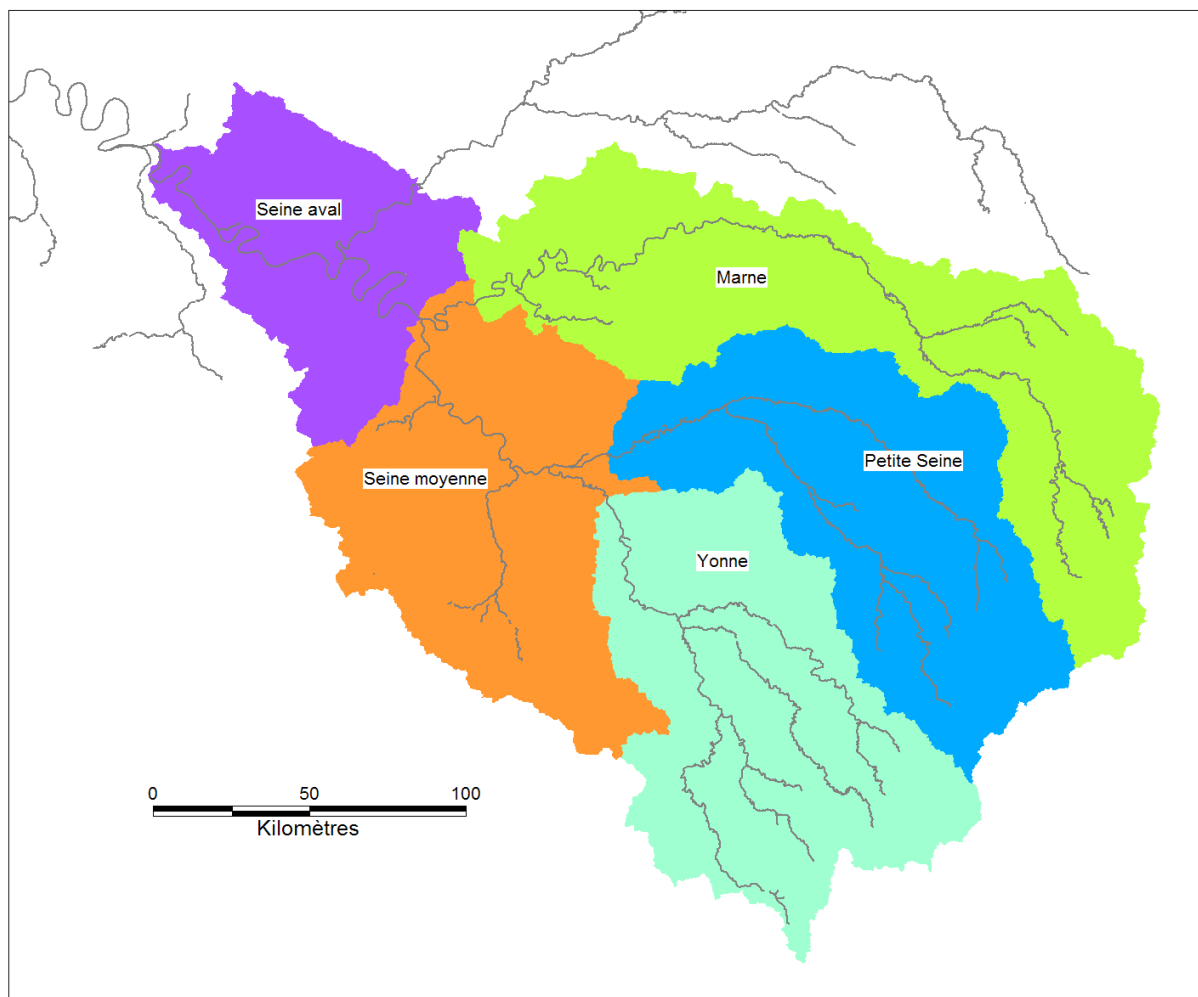
HYDRARIV ne dispose pas de fonctions SIG proprement dite, ces fonctions sont assurées par un logiciel d'accompagnement : HYDRAMAP, pour toutes les tâches mettant en œuvre un Modèle Numérique de Terrain. HYDRAMAP est un module applicatif de MAP INFO et fonctionne donc dans l'environnement de ce dernier. Il agit comme pré processeur d'HYDRARIV pour générer en lot certaines entités de modélisation comme le maillage et les liaisons internes d'un sous domaine bi dimensionnel et donc faciliter le renseignement de ces objets. De même il assure le traitement cartographique de certains résultats produits par HYDRARIV. Le lien entre ces deux applicatifs est assuré par des procédures d'importations et d'exportations gérées par HYDRARIV.

Cette distinction entre HYDRAMAP et HYDRARIV est voulue : elle assure une optimisation des traitements en valorisant au mieux les fonctionnalités de chaque environnement de travail selon l'étape de modélisation.

2.2 DECOUPAGE DU PERIMETRE D'ETUDE EN SOUS SYSTEMES

Le périmètre géographique de l'étude est délimité ci-dessous :

Figure 2-1 : carte de découpage de la zone d'étude en sous systèmes



Il se décompose en cinq sous systèmes :

- le bassin de l'Yonne en amont de la station de Courlon,
- le bassin de la petite Seine en amont de Bray,
- le bassin de la Marne en amont de Chalifert,
- la vallée de la Seine moyenne et ses affluents, délimitée à l'amont par les stations de Bray, Courlon, Chalifert et à l'aval par l'échelle de Paris Austerlitz,
- la vallée de la Seine aval jusqu'à Poses, qui intègre la vallée de l'Oise en aval de Créteil.

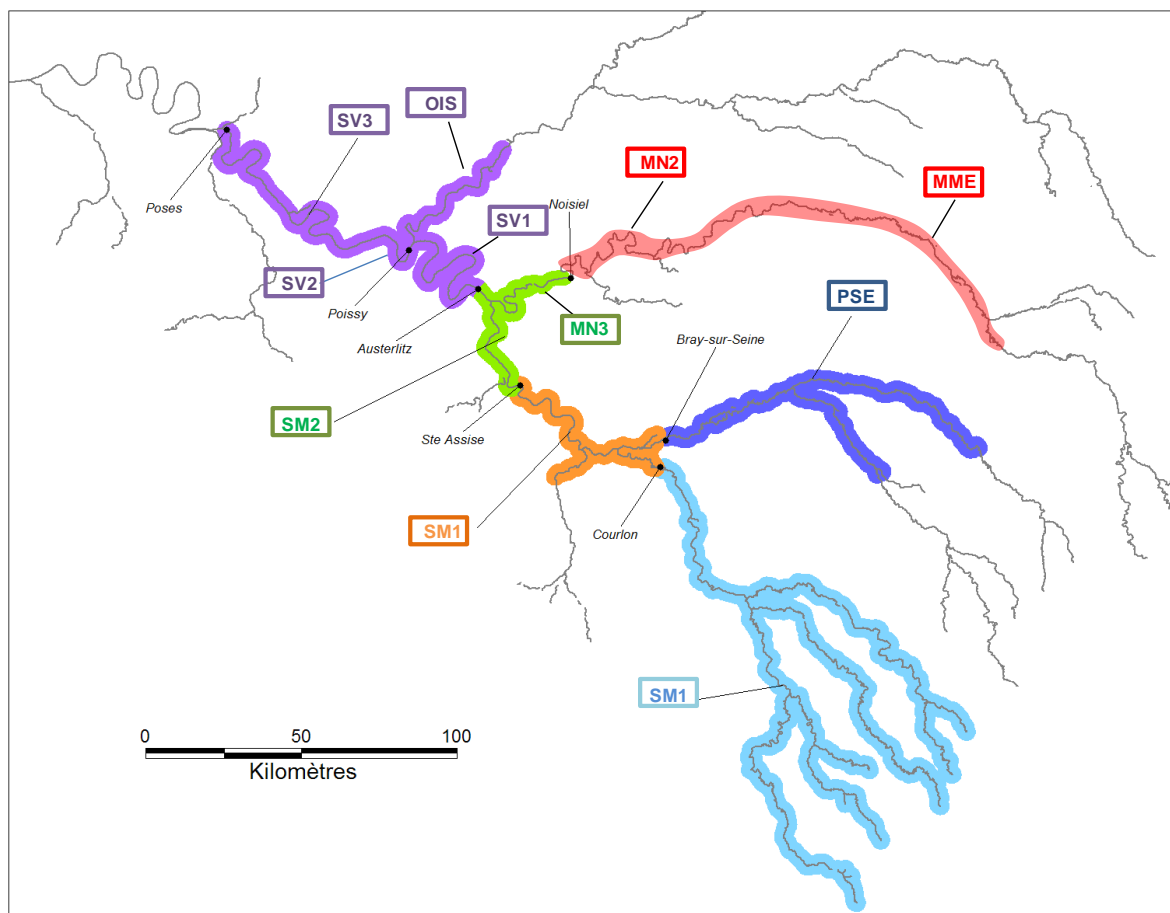
- Les sous systèmes « Yonne », « Petite Seine » et « Seine moyenne » constituent le noyau géographique de l'étude : les tests de simulation de gestion seront centrés en priorité sur ces trois sous systèmes.
- Le sous système Marne sert à propager l'influence du lac Marne en entrée du sous système « Seine moyenne »,
- Le sous système « Seine aval » permet d'analyser l'extension en aval de Paris de l'impact de l'aménagement Bassée.

Un sous système se compose :

- d'un découpage en bassins versants d'apports,
- d'un ou plusieurs sous modèles hydrauliques alimentés par les hydrogrammes générés aux exutoires des bassins versants.

La carte ci-dessous précise l'emprise géographique des sous modèles hydrauliques élaborés et/ou exploités pour les besoins de l'étude.

Figure 2-2 : linéaires de vallées couverts par les modèles hydrauliques



On dispose au total d'un ensemble de 11 sous modèles hydrauliques interconnectés pour les besoins de l'étude. Le tableau ci-dessous regroupe les sous modèles composant chaque sous système :

Sous système	Sous modèles
Petite Seine	PSE
Yonne	YON
Seine moyenne	SM1 SM2 MN3
Marne	MME MN2
Seine aval	SV1 SV2 SV3 OIS

Remarque importante :

Les sous modèles composant le système « Seine » sont strictement jointifs : il n'y a pas de zone de recouvrement entre modèles adjacents. Les connections hydrauliques entre deux sous modèles adjacents sont réalisées via des éléments « RACC » qui jouent un rôle central dans la gestion des simulations. La procédure de pilotage des sous modèles est assurée par HYDRARIV ; elle est décrite au chapitre 4.

2.3 PRINCIPE DE CONSTRUCTION D'UN MODELE

2.3.1 Les schémas de modélisation

Suivant le contexte d'une application, un modèle peut ne comporter qu'un seul type de représentation ou plusieurs types différents coexistant ensemble. Dans les modèles décrits ci après trois schémas sont utilisés :

□ *Le domaine filaire*

Le domaine filaire modélisé par HYDRARIV se présente comme une juxtaposition de sous-réseaux arborescents.

Un sous-réseau consiste en un assemblage de branches de calcul connectées les unes aux autres par des confluences. A chaque branche est associé un système de repérage curviligne kilométrique qui lui est propre, avec des PK croissants de l'amont vers l'aval de la branche.

Une branche est jalonnée d'une succession ordonnée de nœuds. Chaque nœud est défini par son PK le long de la branche. Un nœud peut recevoir deux types de singularités, à raison d'une singularité au maximum par type :

Le profil en travers qui sert à définir le type de tronçon connecté au nœud et ses caractéristiques géométriques et hydrauliques.

La singularité hydraulique, généralement un ouvrage hydraulique particulier, tel que :

- un point d'apport hydrologique,
- un franchissement créant une perte de charge,
- un seuil frontal ou un orifice,
- un ouvrage de dérivation.
- Une condition limite aval au nœud aval d'un sous réseau (une absence de condition aval équivaut à une condition de débit nul).

□ Le domaine casier

Le domaine casier est divisé en sous domaines ; chaque sous domaine est repéré par son identificateur et regroupe une collection de casiers. Un casier est délimité par un polygone et défini par une courbe de remplissage $S(z)$. Le casier peut contenir plusieurs nœuds intérieurs qui servent de points d'accroche à des liaisons latérales bi nodales ou des liaisons uni nodales. Les liaisons bi nodales ne peuvent pas joindre deux nœuds d'un même casier.

□ Le domaine bidimensionnel (ou 2D)

Le domaine bidimensionnel est constitué de mailles à 3 ou 4 sommets. Chaque maille est définie par une cote moyenne de fond et les coordonnées de ses sommets. Elle est connectée aux autres entités par l'intermédiaire de liaisons de deux types :

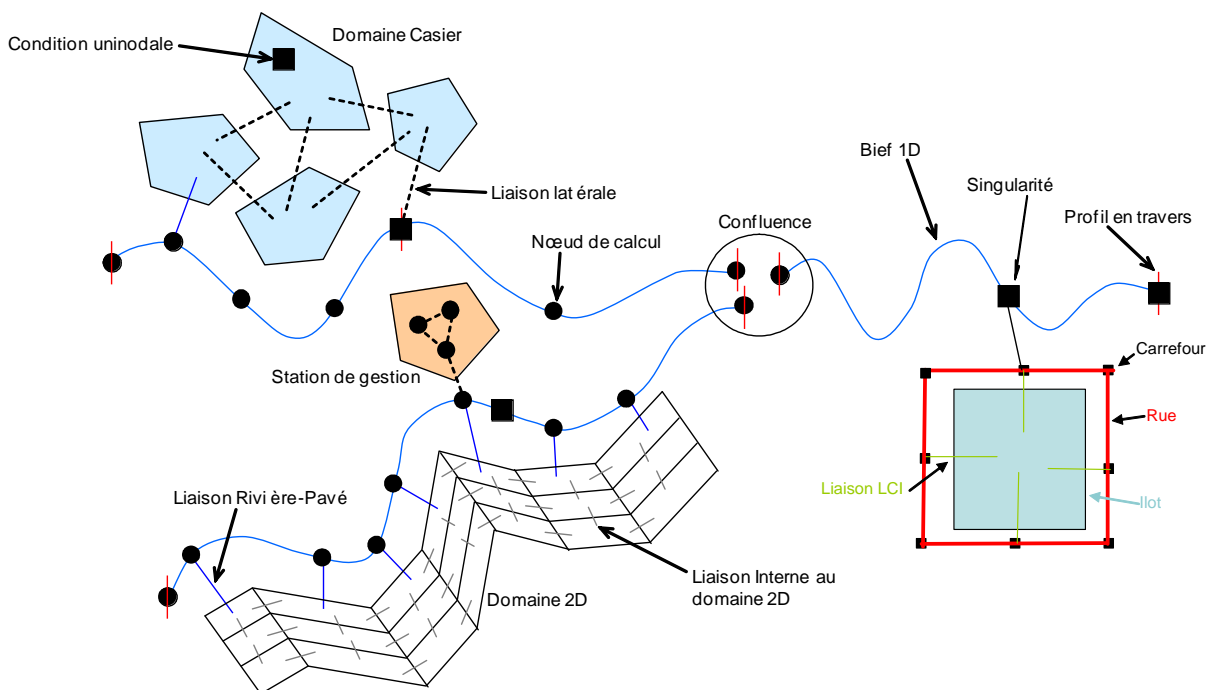
- la liaison de type « LPAV » joint uniquement les centroïdes de pavés adjacents : le couple maille-liaison « LPAV » sert à résoudre les équations complètes de Barré de Saint Venant en deux dimensions,
- les autres liaisons sont accrochées à une maille par l'intermédiaire de nœuds intérieurs comme pour les casiers. A noter qu'en l'absence de liaisons de type « LPAV » le domaine bidimensionnel est assimilable à un domaine « casier » découpé en surfaces élémentaires de petites dimensions.

□ Les liaisons latérales

Les liaisons latérales (autres que « LPAV ») symbolisent des relations de transfert de débit entre des nœuds de calcul attachés à un domaine filaire ou une entité surfacique. Les liaisons latérales offrent un large éventail de fonctionnalités et introduisent une grande flexibilité dans HYDRARIV.

La figure suivante illustre les différents modes de schématisation associés aux entités surfaciques. Trois remarques :

Figure 0-1 : agencement des différentes entités au sein d'un même modèle



2.3.2 Les étapes de construction

La première étape consiste à définir l'architecture du modèle puis à créer les maillages et autres entités structurantes de modélisation à l'aide du pré processeur HYDRAMAP fonctionnant sous MAP INFO. HYDRAMAP crée au préalable un MNT triangulé à partir du semis de points. Les tables ainsi créées sont importées dans HYDRARIV

Les profils topographiques attachées aux domaines filaires sont également importés et convertis par HYDRARIV en sections géométriques à lits composés : lit majeur rive gauche, lit mineur, et lit majeur rive droite.

Le modèle hydraulique est ensuite complété et paramétré à l'aide des outils disponibles dans HYDRARIV.

3 DESCRIPTION DES SOUS MODELES

3.1 SOUS MODELE « PSE »

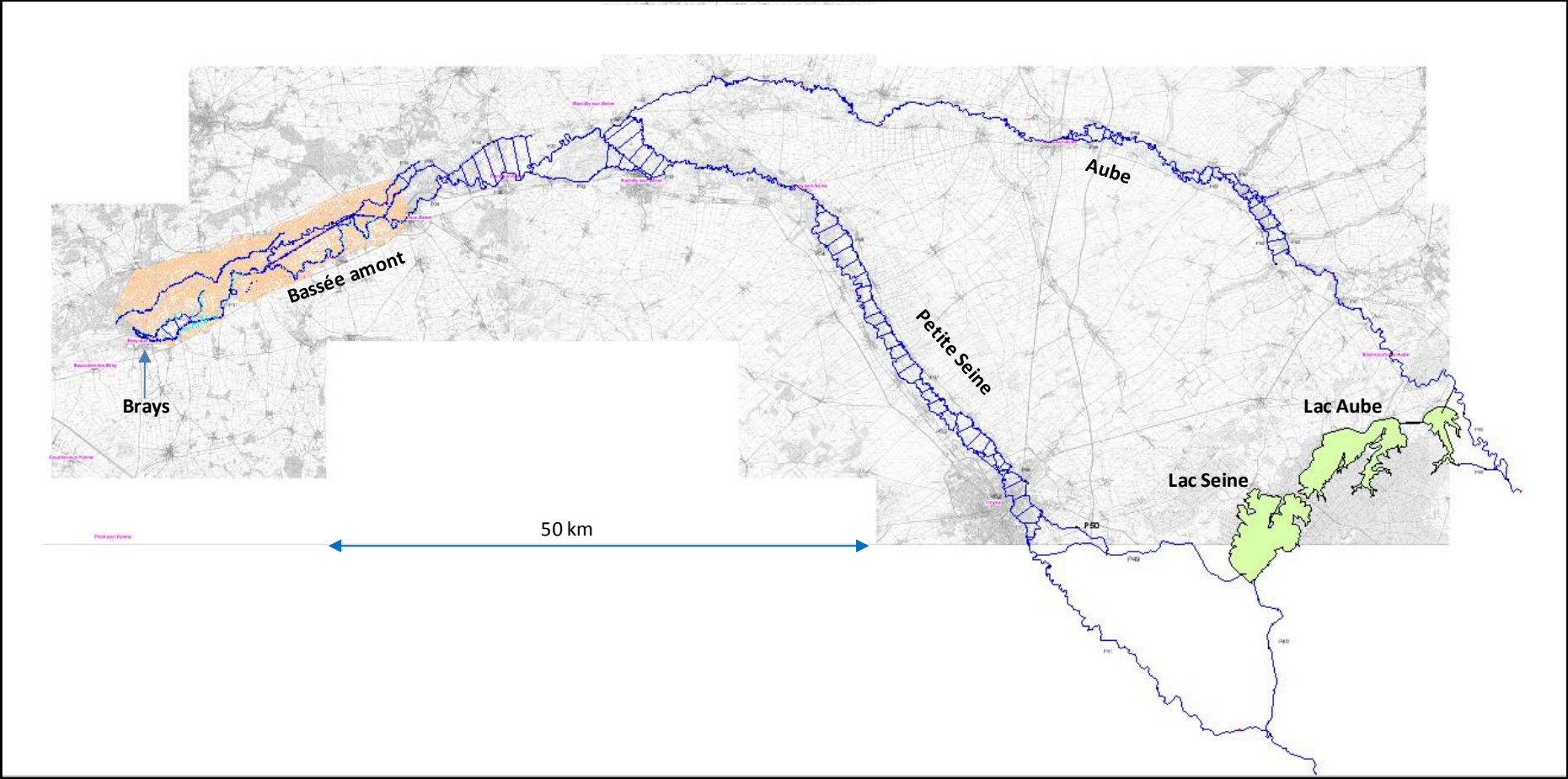
3.1.1 Emprise géographique et structure du modèle

Le modèle PSE débute à l'amont des lacs réservoirs « Seine » et « Aube », il est limité à l'aval au niveau du point de dérivation de la Tombe, à Bray. Ce modèle est composé de 4 grands secteurs :

- La zone des lacs réservoirs, limitée à l'amont par les stations de Bar s/Seine et Trannes. Le modèle intègre les canaux de dérivation et de restitution et simule les règles de gestion selon le règlement d'eau de chaque ouvrage.
- Le secteur de la petite Seine et de l'Aube entre les lacs et la confluence Seine-Aube. Ce secteur est modélisé par un schéma hydraulique multi filaire,
- Le secteur de la Seine compris entre la zone de confluence et Nogent, également décrit par une schématisation multi filaire.
- Enfin le secteur de la Bassée amont entre Nogent et Bray, décrit par une schématisation mixte : filaire pour le lit mineur de la Seine et des noues principales, 2D pour le lit majeur.

Le modèle PSE a pour objet principal de propager le plus fidèlement possible les ondes de crues depuis l'amont des lacs jusqu'à Bray et non de faire des études locales : l'architecture retenue pour le modèle reflète cet objectif, mais elle tient compte également des données topographiques disponibles sur la zone modélisée.

Figure 3-1 : emprise géographique du sous modèle PSE



3.1.2 Recueil et exploitation des données

Les données exploitées pour construire le modèle sont :

- Les semis de points topographiques du lit majeur relevés par photogrammétrie sur le secteur de la Bassée amont entre Nogent et Bray. Ces données ont été fournies par le SNS.
- Les profils bathymétriques de la Seine relevés par SNS entre Nogent et Bray,
- Les profils bathymétriques et topographiques issus d'études plus anciennes sur les vallées de la Seine et de l'aube en amont de l'Aube. Ces données respectent les gabarits des cours d'eau et reproduisent la morphologie des vallées, mais ils présentent une précision médiocre, interdisant de réaliser des calages précis du modèle en cotes dans ces secteurs.
- Les relevés topographiques des ouvrages navigation et des ponts sur le Seine entre Nogent et Bray.

Par ailleurs le rapport de l'étude Safège de novembre 2003, réalisé pour le compte de l'IIBRBS, a été exploité : il présente un inventaire exhaustif des ouvrages de franchissement du système de noues sillonnant la zone de la Bassée, ainsi que de leur état. On ne dispose toutefois d'aucune donnée sur la bathymétrie des noues ; des gabarits ont été définis pour les cours d'eau modélisés à partir d'éléments de visites réalisées dans le cadre d'études antérieures.

Ce recensement souligne un certain nombre de lacunes qui empêchent de réaliser une modélisation hydraulique fine du secteur. Les données disponibles s'avèrent toutefois suffisantes pour modéliser avec la précision recherchée les phénomènes de propagation prenant en compte la dynamique des écoulements de crue à travers la plaine alluviale de la Bassée.

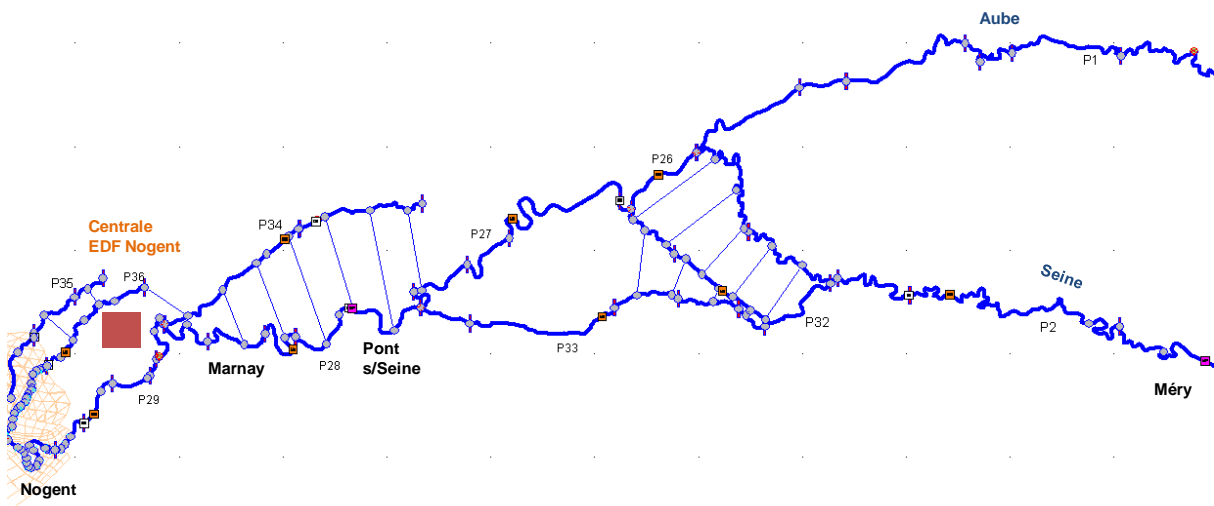
3.1.3 Architecture du modèle du modèle

3.1.3.1 Système filaire en amont de Nogent

Les branches de calcul filaires sont composées des axes d'écoulement de la Seine, de l'Aube et des bras secondaires principaux.

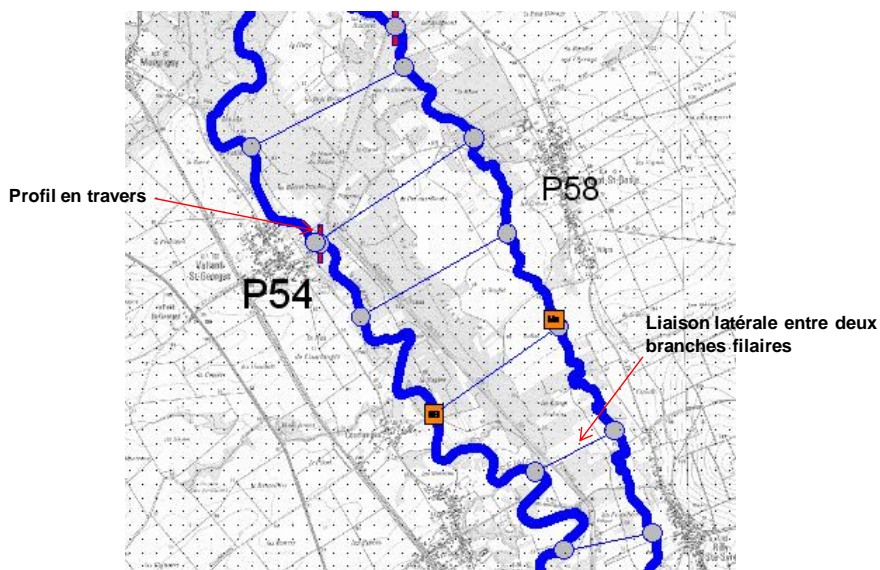
La carte ci-dessous précise les axes d'écoulement modélisés par des branches filaires entre Méry et Nogent :

Figure 3-2 : schématisation de la vallée de la Seine entre Méry et Nogent



Dans les secteurs en amont de Nogent les profils en travers intègrent le lit majeur. Les branches de calcul sont connectées entre elles par des liaisons latérales qui modélisent les échanges de débit entre branches après débordement :

Figure 3-3 : modélisations des vallées amont



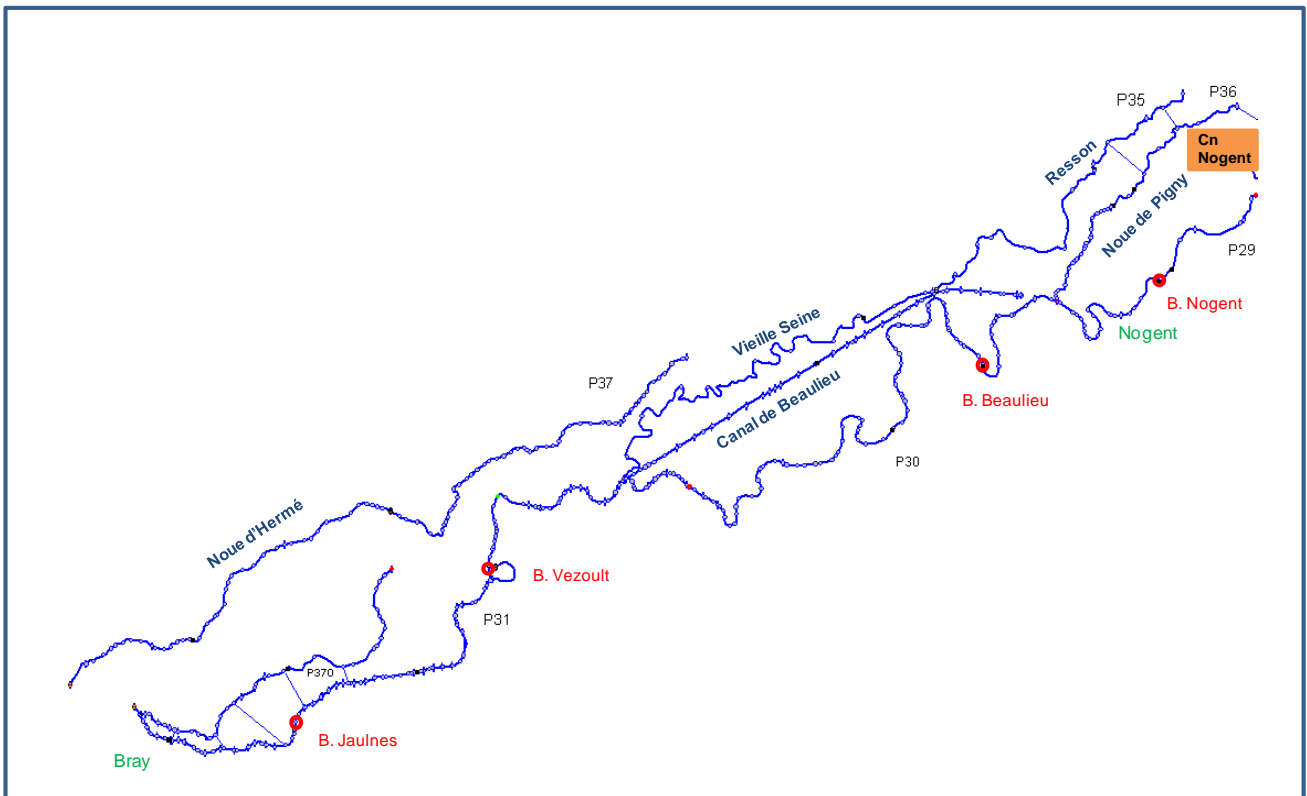
3.1.3.2 Système mixte entre Nogent et Bray

Les écoulements sont modélisés par un système mixte de branches filaires décrivant le lit mineur de la Seine et les axes d'écoulement secondaires du chevelu hydrographique du lit majeur et par le maillage 2D du lit majeur.

Lit mineur :

Le système filaire des lits mineurs est structuré comme suit :

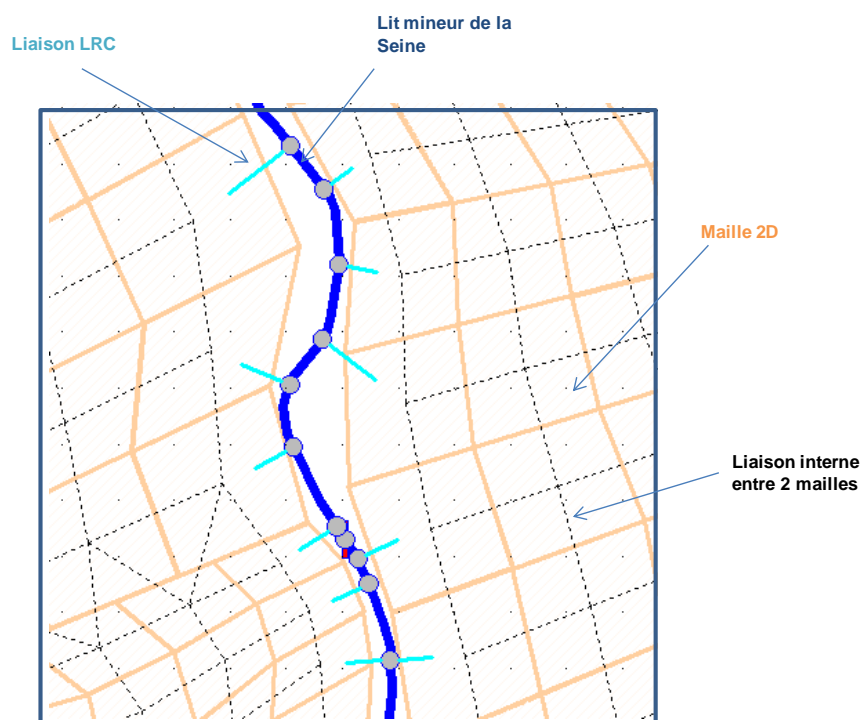
Figure 3-4 : vecteurs d'écoulements modélisés dans le secteur de la Bassée amont



Lit majeur :

Le lit majeur est modélisé par un maillage bi dimensionnel. Pour la Seine le maillage s'appuie sur les contours de chaque rive, alors que les bras secondaires serpentent au milieu des mailles. Les connections entre une branche filaire de cours d'eau et le maillage de lit majeur sont assurées par des liaisons spécifiques de type « LRC » :

Figure 3-5 : modélisation du secteur de la Bassée



Les mailles sont reliées entre elles par des liaisons hydrauliques de type « frottement », le débit entre deux mailles adjacentes étant fonction de la distance entre les centres des pavés, de la largeur de contact des pavés, et du coefficient de rugosité qui est ajusté en phase de calage du modèle.

Lorsque des remblais ou des obstacles barrent le lit majeur et jouent un rôle dans le cheminement des écoulements, des liaisons spécifiques sont mises en place :

- Liaisons « déversement » par-dessus un obstacle transversal (loi de seuil)
- Liaisons « orifice » pour les ouvrages de décharge.

Les liaisons de type LRC jouent un rôle analogue : elles assurent une continuité hydraulique des écoulements entre les lits mineur et majeur via des lois combinant le frottement sur le fond et le déversement latéral au dessus de la berge du lit mineur.

Ainsi, dès que le niveau d'eau dans le lit mineur dépasse la cote de berge, les pavés adjacents, sont alimentés et l'eau peut ensuite se propager vers les pavés adjacents selon les lois classiques de l'hydraulique.

Cette représentation mixte présente l'avantage de bien reproduire les phénomènes d'étalement des écoulements à travers la plaine alluviale de la Bassée après débordement, mais aussi de canalisation de ces écoulements le long des bras secondaires les plus actifs dans le lit majeur : Vieille Seine, Noue d'Hermé, noue de Pigny et des Nageoires etc ...

3.1.4 Les singularités des branches filaires

Les ouvrages pris en compte sont :

- Les barrages de navigation le long de la Seine : Conflans, Nogent, Beaulieu, Vezoult et Jaulnes. Ces ouvrages sont régulés dans le modèle à niveau constant, égal à la cote de la RN ou droit de l'ouvrage.

- Les seuils déversants, provoquant une chute du niveau d'eau : barrages au fil de l'eau, seuils latéraux alimentant un bras secondaire,

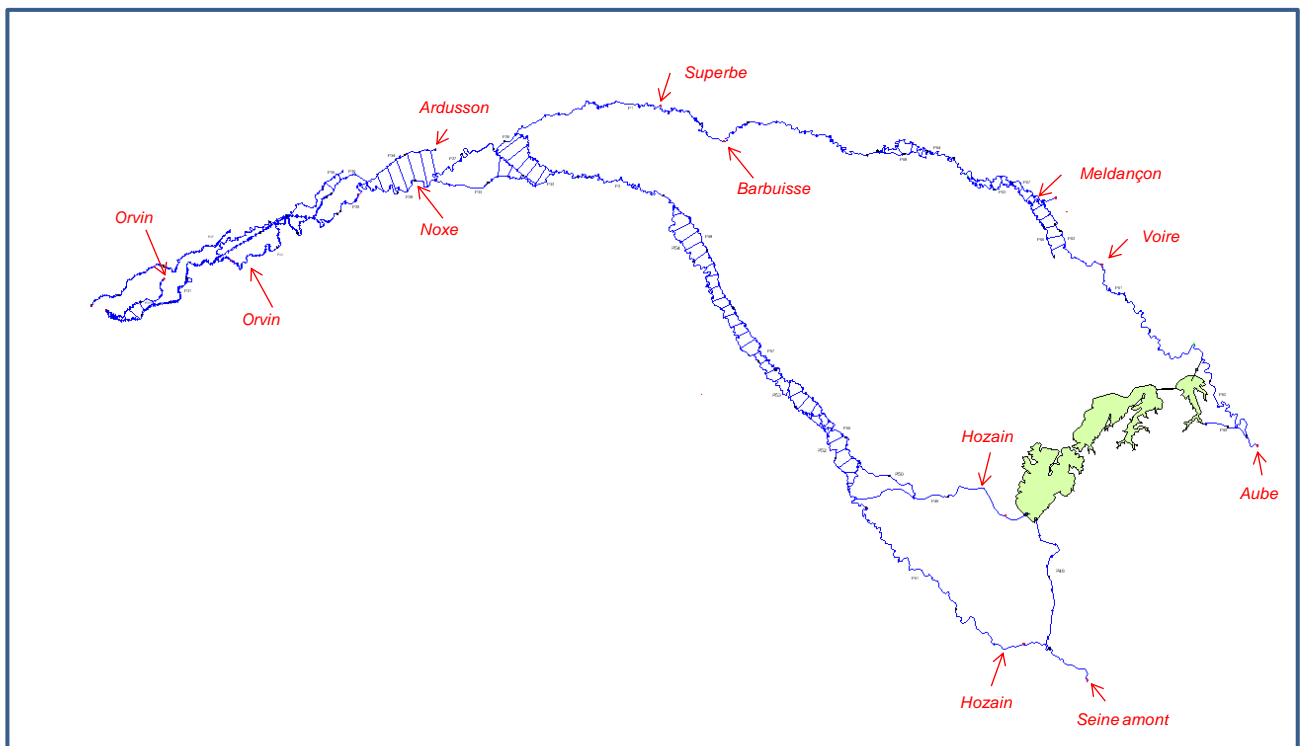
3.1.5 Ouvrages de franchissements dans le lit majeur de la Bassée amont.

La plaine alluviale de la Bassée est jalonnée de très nombreux ouvrages de franchissement des thalwegs le long des axes routiers transversaux. Néanmoins l'état d'encombrement de ces ouvrages est très variable selon le cours d'eau et nécessiterait une étude exhaustive pour caractériser chacun d'eux. Compte tenu des objectifs de la modélisation et surtout de l'insuffisance de données de calage disponibles, on a retenu le parti de n'en modéliser aucun et d'ajuster les coefficients de rugosité moyen des axes d'écoulement modélisés et des pavés du lit majeur pour restituer le plus correctement possible les répartition des débits et temps de propagation de l'onde de crue dans la plaine alluviale de la Bassée.

3.1.6 Les points d'apports hydrologiques

La carte ci après regroupe les points d'injection d'hydrogrammes alimentant le sous modèle PSE. L'hydrologie de chaque apport fait l'objet du rapport d'accompagnement 2.2 :

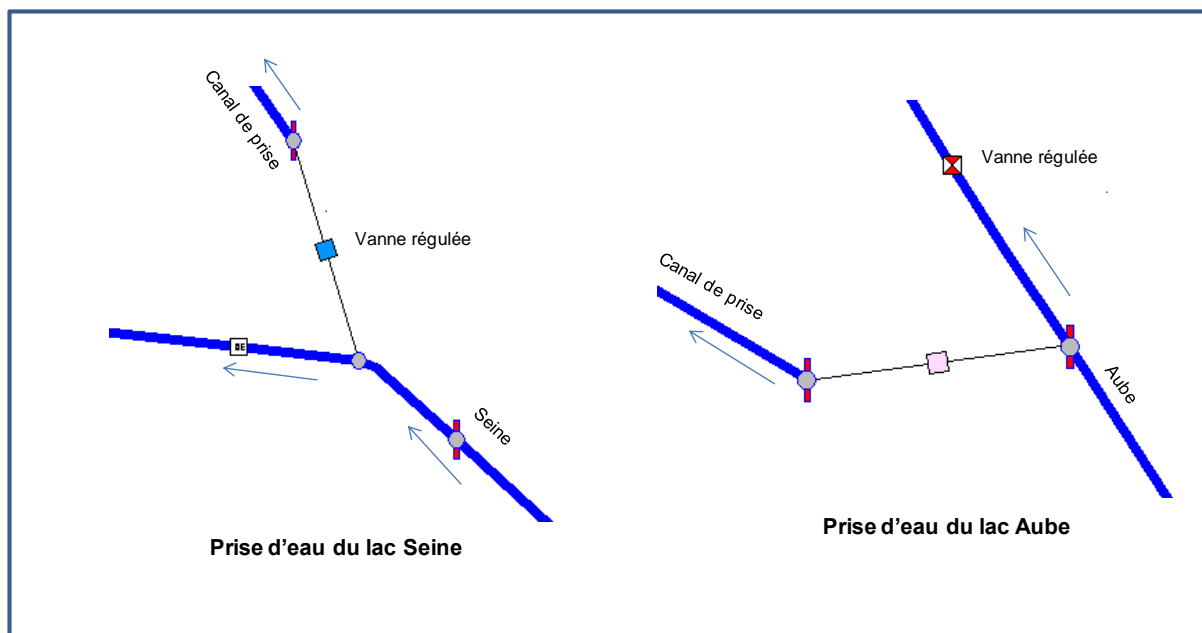
Figure 3-6 : localisation des points d'apports



3.1.7 Modélisation du fonctionnement des lacs réservoirs

Les cuvettes des deux lacs Seine et Aube sont modélisées par des courbes tabulées $S(z)$. Chaque lac est connecté aux cours d'eau par l'intermédiaire de canaux de dérivation et de restitution. L'alimentation et la vidange des lacs sont contrôlés par des vannes pilotées en débit :

Figure 3-7 : ouvrages de prise les lacs Seine et Aube



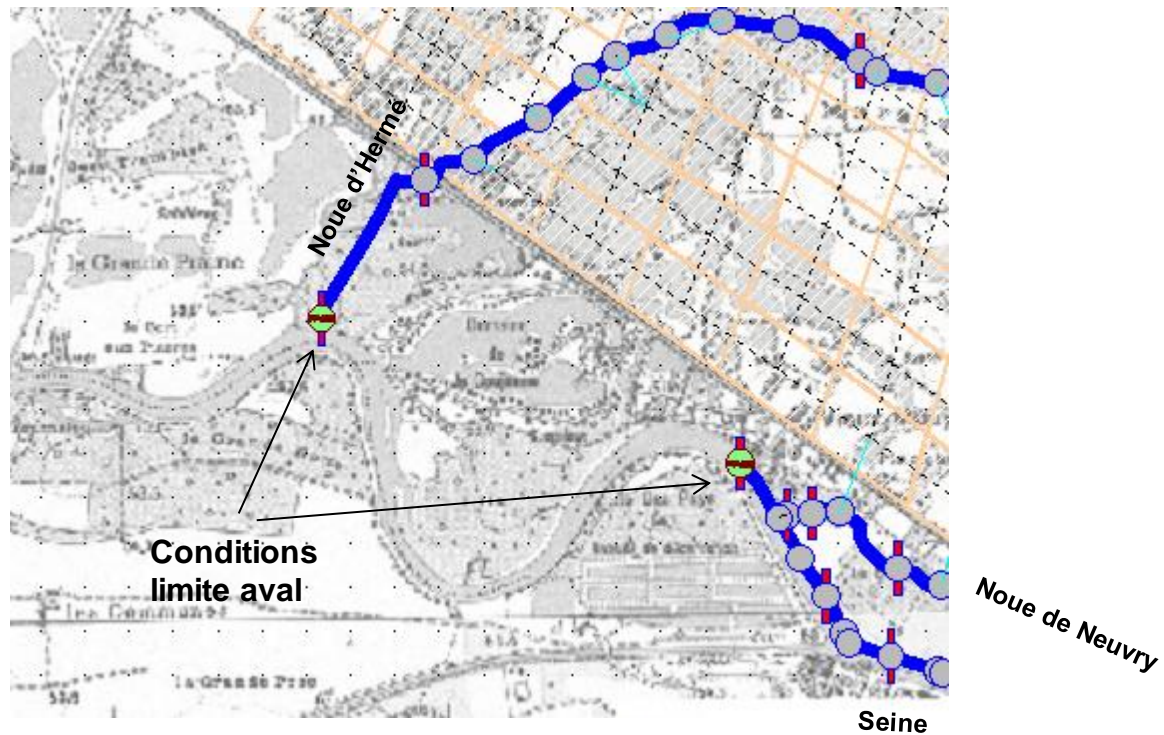
Les règles de pilotage appliquées pour ces vannes sont précisément celles du règlement d'eau. Un algorithme de contrôle spécifique a été élaboré pour chaque ouvrage dans le langage de programmation reconnu par HYDRARIV.

A noter pour le lac Aube que la règle simulée intègre le débit de la Voire pour le calcul du débit de référence. Cette règle n'est pas à ce jour appliquée en pratique car le débit de la Voire n'est pas télé transmis. Les résultats de simulation fournis par le modèle sont donc différents pour l'Aube des hydrogrammes observée à Blaincourt, la simulation écrête davantage les apports de l'Aube.

3.1.8 Les conditions aval

Le modèle est contrôlé en aval par deux éléments « RACC », l'un à l'aval de la Noüe d'Hermé, l'autre sur la Seine légèrement en aval de l'entrée du canal de la Tombe :

Figure 3-8 : conditions aval du modèle PSE



Chaque condition aval est définie par une courbe tabulée $Q(z)$. Lorsque le modèle PSE est simulé en mode réseau la cote d'eau en aval de chaque branche est contrôlée par cette condition. Si par contre le modèle PSE est piloté en mode « Complexe », c'est-à-dire avec le réseau aval SM1, les deux réseaux sont hydrauliquement liés et chaque élément « RACC » est transformé automatiquement en liaison non résistive connectant deux à deux les nœuds où sont positionnés les objets « RACC » portant le même nom.

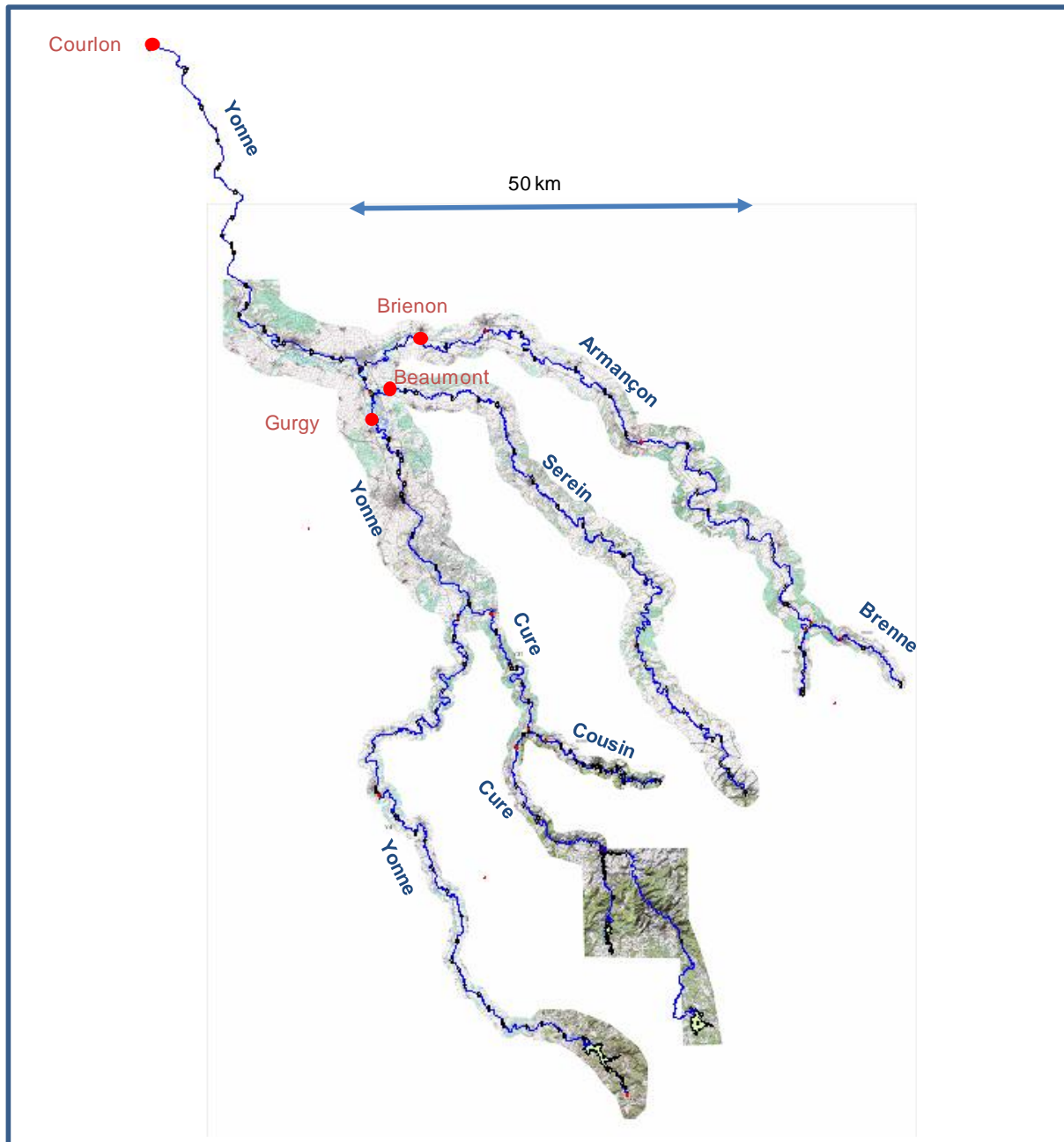
Cette disposition permet de simuler précisément les impacts de l'aménagement Bassée sur le secteur amont occupée par le sous modèle PSE.

3.2 SOUS MODELE « YON »

3.2.1 Emprise géographique et structure du modèle

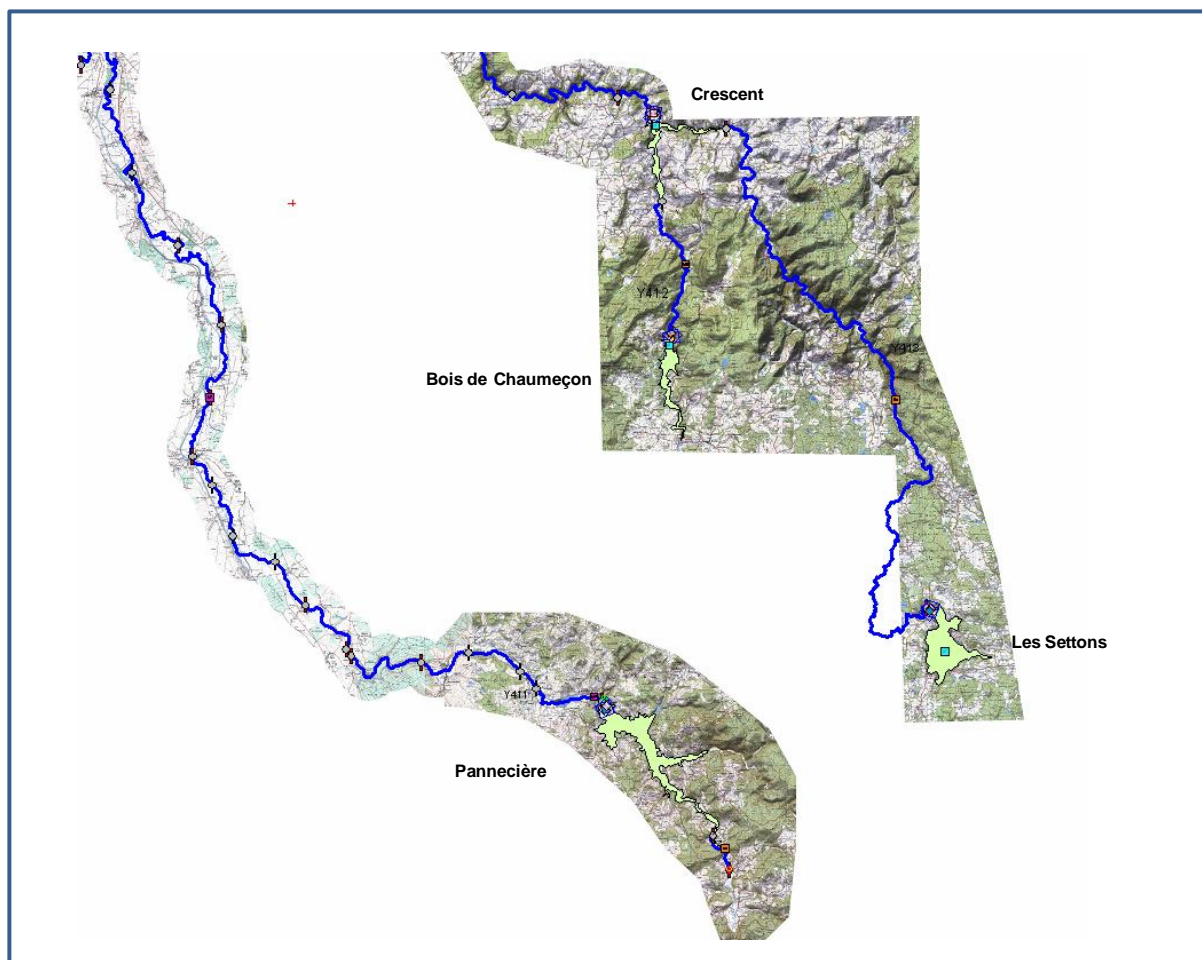
Le modèle YON modélise la propagation des écoulements de crue le long des principales vallées du bassin versant de l'Yonne. Sa zone d'emprise est délimitée ci-dessous :

Figure 3-9 : zone d'emprise du modèle YON.



Le modèle intègre les barrages de Pannecièrre sur l'Yonne et les barrages des Settons, Chaumeçon et Crescent sur le bassin de la Cure amont et modélise les règles de gestion associées :

Figure 3-10 : barrages modélisés avec le modèle YON



Le modèle YON a pour objet principal de propager le plus fidèlement possible les ondes de crues depuis l'amont des lacs jusqu'à Courlon et non de faire des études locales : l'architecture retenue pour le modèle reflète cet objectif, elle tient compte également des données topographiques disponibles sur la zone modélisée.

3.2.2 Recueil et exploitation des données

Les données bathymétriques du lit mineur ont servi à renseigner 180 profils en travers. Elles proviennent de levés assez anciens du SNS et de la DDE de la Nièvre. La précision de ces données est assez approximative, elle est néanmoins suffisante pour reproduire correctement les phénomènes de propagation.

Les données des ouvrages singuliers tels que les barrages navigation proviennent du SNS.

3.2.3 Description du modèle

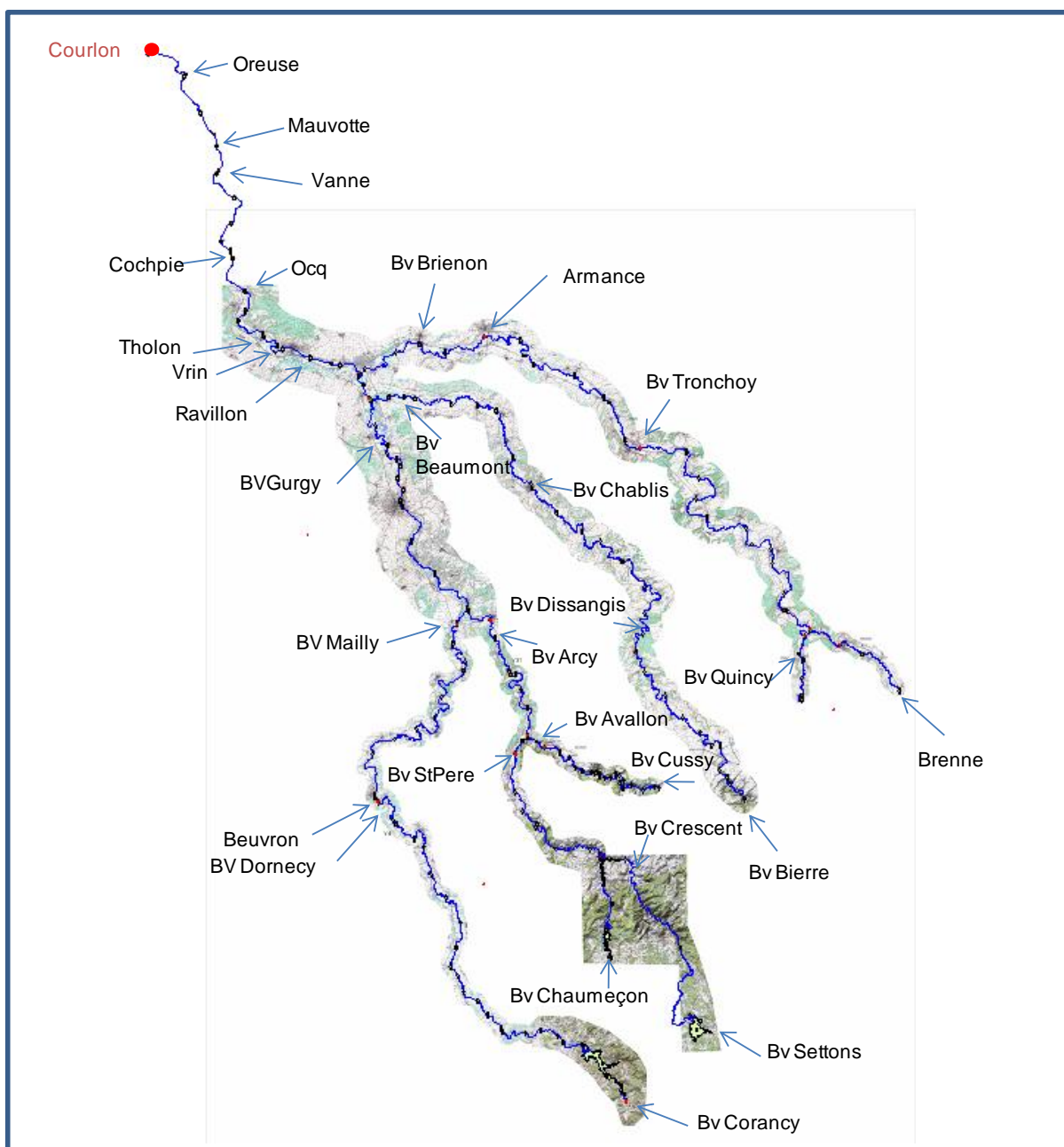
3.2.3.1 Schéma hydraulique et ouvrages

Chacune des vallées est modélisée selon un schéma filaire à lits composés. De nombreux seuils influencent les niveaux d'eau des lits mineurs. Le modèle néglige ces ouvrages en amont de Gurgy sur l'Yonne et de Chablis et Briénon sur le Serein et l'Armançon, mais les prend en compte dans la partie aval. 23 Barrages navigation sont définis au total dans le modèle.

3.2.3.2 Points d'apport hydrologiques

La carte ci après regroupe les points d'injection d'hydrogrammes alimentant le sous modèle YON. L'hydrologie de chaque apport fait l'objet du rapport d'accompagnement 2.2

Figure 3-11 : localisation des points d'apports



3.2.4 Modélisation du fonctionnement des barrages

Les quatre barrages modélisés sont des ouvrages aménagés au fil de l'eau : la gestion du débit de fuite est contrôlée par une vanne de régulation de débit, selon un règlement d'eau modélisé par HYDRARIV. Ce règlement est parfaitement défini pour le barrage de Pannecièrre, il est par contre beaucoup plus imprécis pour les autres ouvrages sur la Cure. Avec la gestion actuelle qui favorise la production hydro électrique on a considéré dans les simulations des crues historiques que les barrages sur la Cure sont transparents vis-à-vis de l'onde de crue.

3.2.5 Condition limite aval

La condition aval à Courlon est définie par une loi $Q(z)$ calée sur la courbe de tarage expérimentale à Courlon.

3.3 SOUS MODELE « SM1 »

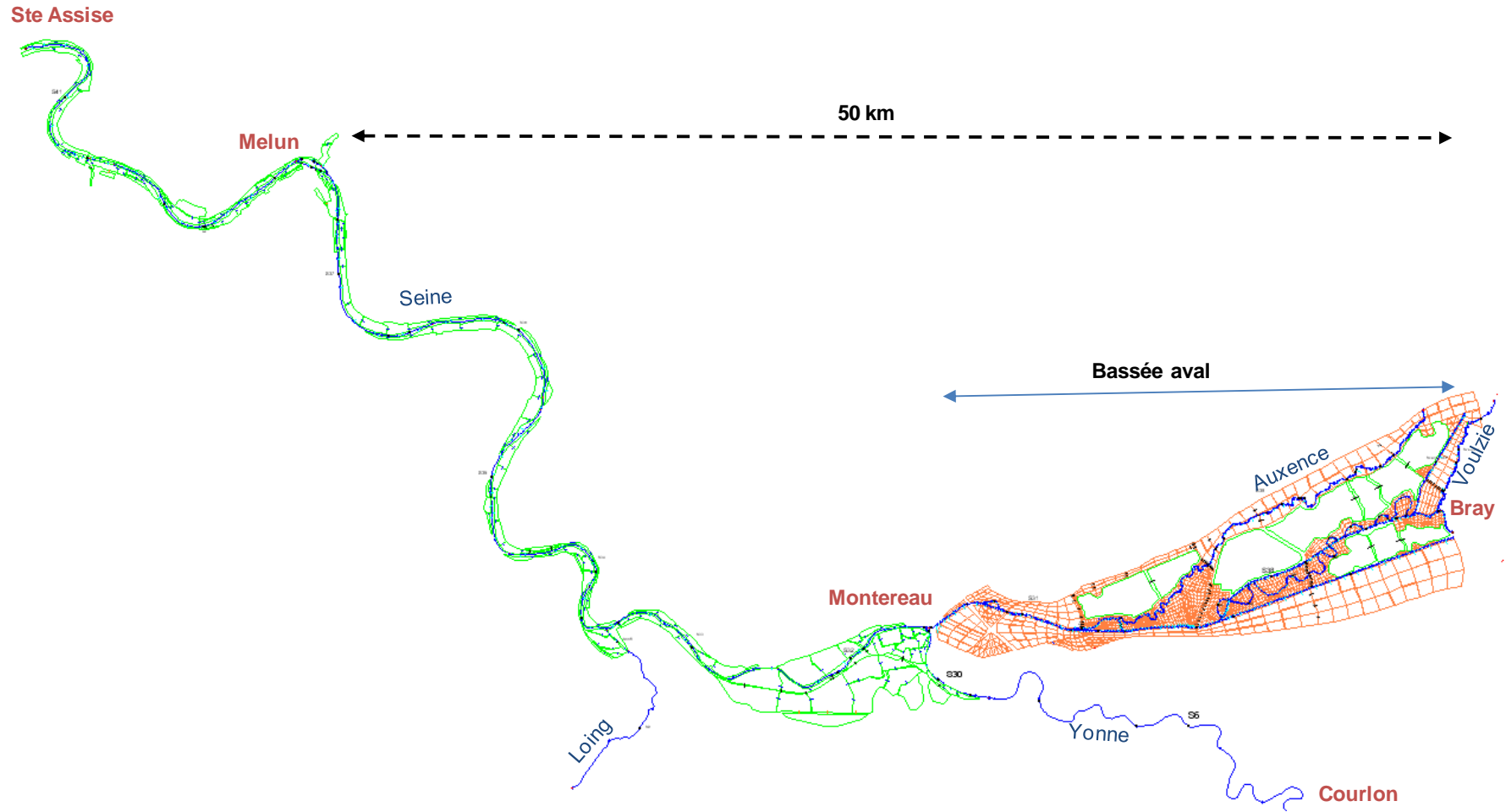
3.3.1 Emprise géographique et structure du modèle

Le modèle SM1 modélise le fonctionnement hydraulique de la Bassée aval, avec et sans l'aménagement projeté, ainsi que la propagation de l'onde de crue de la Seine amont jusqu'à Ste Assise. L'emprise géographique du modèle est délimitée figure 3.11. Ce modèle est composé de 2 grands secteurs :

- Le secteur de la Bassée aval, entre Bray et Montereau, occupé par l'aménagement projeté. Ce secteur est modélisé par une schématisation filaire pour le lit mineur de la Seine, les annexes hydrauliques, l'Auxence et la Voulzie, une schématisation 2D pour les zones du lit majeur non occupées par les casiers hydrauliques du projet, et une schématisation « casiers » pour les zones de stockage. Une version affinée du modèle comporte également une schématisation, 2D à l'intérieur des casiers de stockage, pour les simulations nécessitant de restituer précisément la dynamique de l'inondation dans chaque casier de stockage.
- Le secteur aval de l'Yonne et du Loing, et la Seine moyenne entre Montereau et Ste Assise. Les écoulements sont décrits par une schématisation filaire pour le lit mineur de la Seine et une schématisation « Casier » pour le lit majeur.

Le modèle SM1 dans le secteur de la Bassée aval a pour objet de restituer le plus fidèlement possible le fonctionnement hydraulique de ce secteur, et notamment les impacts locaux en cote associés aux différents scénarios de gestion de l'aménagement Bassée. C'est donc un modèle dont le calage en cote est important.

Figure 3-12 : emprise du modèle SM1



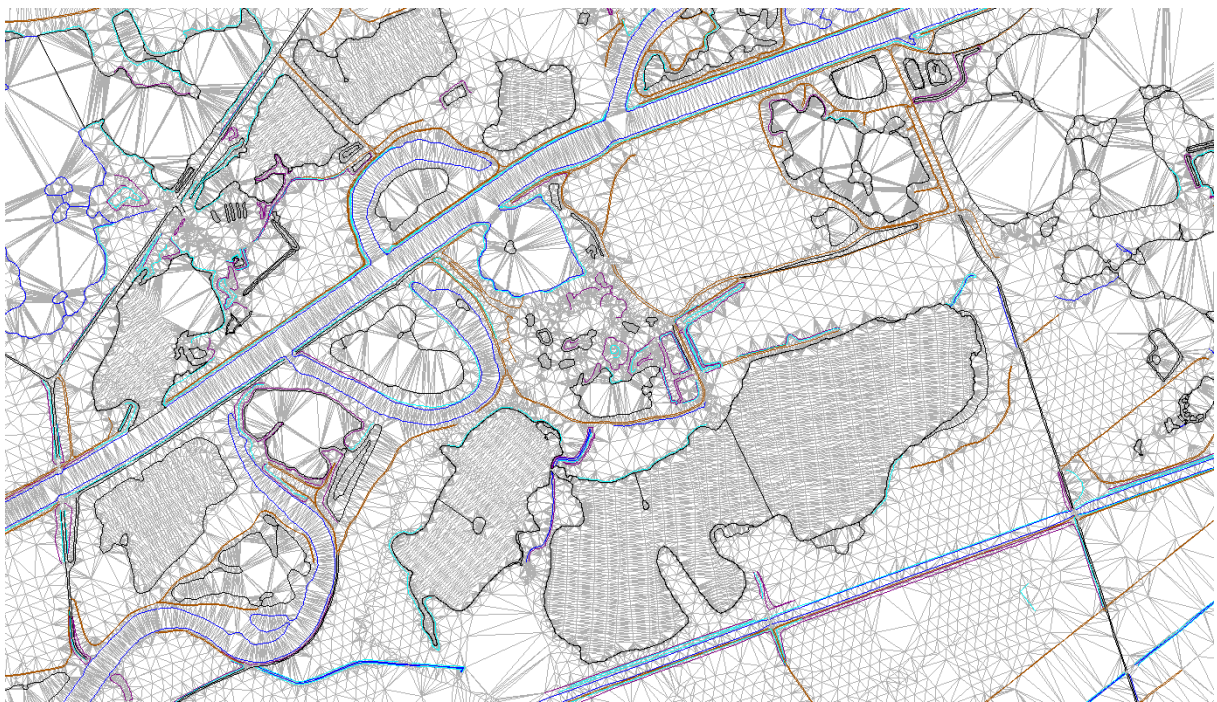
3.3.2 Recueil et exploitation des données

Les données exploitées pour construire le modèle sont :

- les semis de points topographiques du lit majeur relevés par photogrammétrie sur le secteur de la Bassée amont entre Nogent et Bray. Ces données ont été fournies par l'IIBRBS,
- les profils bathymétriques de la Seine relevés par VNF entre Montereau et Bray,
- les profils bathymétriques et topographiques issus d'études plus anciennes sur les vallées de la Seine Moyenne, de l'Yonne et du Loing aval. Ces données proviennent du modèle MRIF élaboré en 1998.

Les données topographiques de la Bassée aval ont fait l'objet d'une modélisation de terrain précise à l'aide de l'outil HYDRAMAP. La carte ci-dessous illustre la triangulation obtenue sur un secteur témoin cette zone à partir du semis de points fourni :

Figure 3-13 : triangulation du semis de points



La triangulation s'appuie sur un certain nombre de lignes de contraintes fourni par le géomètre en même temps que le semis de points. Ces lignes marquent des frontières sur lesquelles les triangles viennent s'appuyer sans les franchir, ce qui permet de restituer précisément la topographie du secteur avec les multiples obstacles linéaires qui le composent.

Une difficulté est apparue en exploitant les données topo fournies par l'IIBRBS : les cotes TN fournies au droit de certaines gravières représentant en effet les cotes de fond des gravières et non la cote du plan d'eau de la gravière. Cette particularité doit être prise en compte pour les calculs de volumes de stockage utiles afin d'éviter de surestimer les volumes de sur stockage offerts par l'aménagement Bassée.

3.3.3 Description du modèle :

3.3.3.1 Secteur de la Bassée

Les entités de modélisation sont les mêmes que pour la Bassée amont : les trois sous domaines : filaire, 2D et casiers sont connectées par des liaisons latérales de nature différente selon les éléments connectés et la géométrie des obstacles. La carte ci-dessus illustre les différentes natures de schématisation :

Figure 3-14 : détail de schématisation sur le secteur de la Bassée aval.



On repère distinctement sur cette figure les branches filaires, les maillages 2D, les casiers, ainsi que les liaisons latérales assurant la connexion hydraulique de tous ces domaines.

Les casiers hydrauliques dans cette version du modèle sont définies par des lois $S(z)$ schématisées par des cuvettes. Chaque casier est entouré de digues réputées non submersibles. Il communique hydrauliques avec les autres entités via des liaisons latérales ponctuelles schématisant des stations de pompage et des vannes de liaisons. Ces organes sont positionnés conformément aux dispositions techniques du projet 2004.

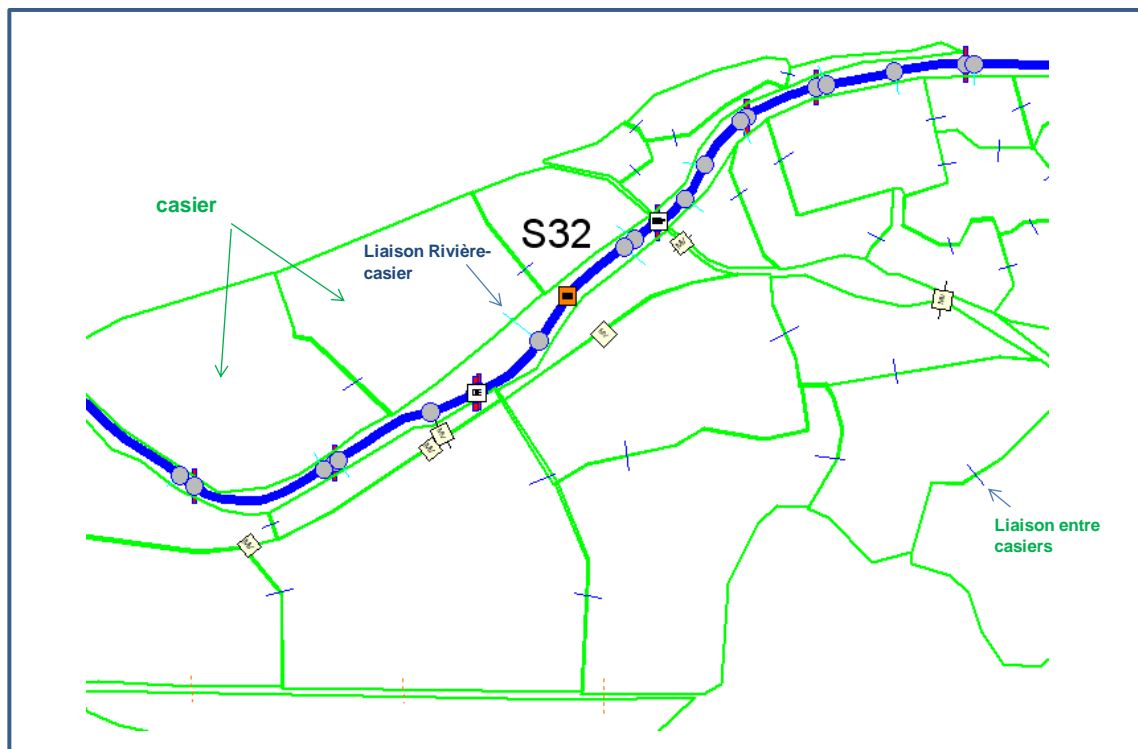
Dans l'état actuel de fonctionnement ces casiers n'existent pas : dans les simulations des crues historiques débordantes ils sont équipés de liaisons gravitaires assurant le transit des écoulements à travers ces zones de stockage.

3.3.3.2 Secteur de la Seine moyenne

La modélisation faite dans MRIF a été transposée sous HYDRARIV. Le lit majeur de la Seine est occupé par des casiers, chaque casier est défini par une courbe de remplissage $S(z)$ fonction de la

topographie, des liaisons latérales de type « frottement » assurent les transferts hydrauliques le long du lit majeur après débordement :

Figure 3-15 : schématisation sur le secteur Seine moyenne.



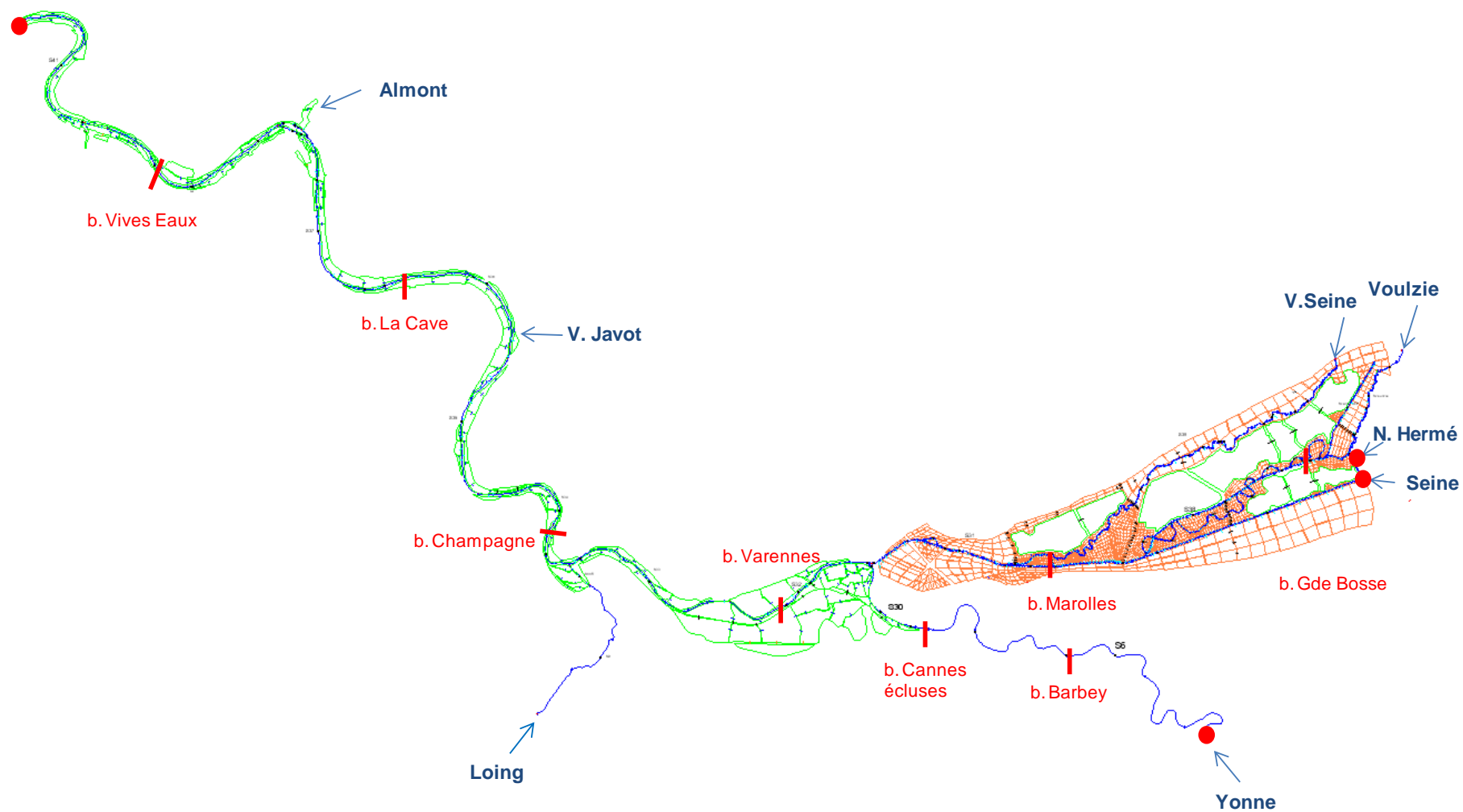
3.3.4 Modélisation des ouvrages hydrauliques

Outre les obstacles du lit majeur conditionnant les transferts entre casiers ou mailles 2D les ouvrages du lit mineur présentant un obstacle à l'écoulement sont les barrages navigation et les ponts.

Les ouvrages navigation modélisés sont repérés sur la carte 3.16 page suivante. Dans la modélisation actuelle les barrages sont régulés pour maintenir le niveau de la RN au droit de l'ouvrage jusqu'à son effacement total. En pratique l'exploitant anticipe l'abaissement du barrage, afin d'éviter de dépasser un niveau d'eau de référence à un point de basculement localisé dans le bief à l'amont du barrage : le niveau d'eau au droit du barrage peut donc être inférieur à la cote de la RN en phase de montée de la crue et influencer sur les niveaux d'eau le long du bief tant que les ouvrages ne sont pas totalement effacés. Cet aspect est important pour le projet de la Bassée en raison de l'interférence possible de trois barrages sur la gestion des ouvrages de stockage : la Grande Bosse, Marolles et Varennes. Des règles de gestion plus fines des barrages seront au besoin établies en concertation avec VNF dans la phase de l'étude consacrée au simulation de gestion.

Les pertes de charge dus au pont sont également modélisées. Elles néanmoins généralement faibles en raison de la géométrie des ouvrages d'art.

Figure 3-16 : localisation des barrages navigation et des points d'apports hydrologiques



3.3.5 Modélisation spécifique des organes de gestion de l'aménagement Bassée

La carte de la figure 3.17 localise l'ensemble des organes hydrauliques projetés pour gérer le remplissage et la vidange des casiers hydrauliques de la Bassée. Ils comprennent :

- 7 stations de pompage pour l'alimentation des casiers,
- des vannes de communication entre les casiers et avec la Seine pour contrôler le remplissage des casiers et leur vidange.

Les caractéristiques géométriques et hydrauliques de ces organes ainsi que les règles de gestion appliquées sont détaillées dans le rapport 2.3 consacré à l'établissement d'une gestion de référence.

3.3.6 Points d'apport hydrologiques

La figure 3.16 regroupe les points d'injection d'hydrogrammes alimentant le sous modèle SM1.

Le modèle SM1 est alimenté par trois hydrogrammes influencés par les modèles amont :

- L'Yonne à Courlon, généré par le modèle YON,
- La Seine à Bray et l'apport de la Noue d'Hermé générés par le sous modèle PSE.

Selon le mode d'assemblage des sous modèles dans une simulation sous HYDRARIV, ces hydrogrammes peuvent être considérés comme externes (ils sont calculés dans une simulation antérieure) ou générés à l'issue de l'exécution si la simulation met en œuvre les trois sous modèles YON, PSE et SM1 simultanément.

Condition à la limite aval

La condition aval à Ste Assise est définie par une loi $Q(z)$ calée sur la courbe de tarage fournie par le modèle global.

Figure 3-17 : positionnement des organes de pilotage de l'aménagement Bassée.



3.4 SOUS MODELE « SM2 » ET « MN3 »

3.4.1 Emprise géographique et structure des modèles

Ces modèles résultent d'une transposition sous HYDRARIV des sous modèles sectoriels du même nom définis dans MRIF. Les cartes ci après montrent l'emprise de chaque sous modèle :

Ils sont tous les deux bâtis sur le même principe de schématisation :

- Schématisation filaire du lit mineur,
- Découpage du lit majeur en casiers.

Les détails de la schématisation sont décrits dans le rapport de présentation du modèle MRIF. On rappelle ci après les informations utiles pour la présente étude :

3.4.2 Ouvrages singuliers

Les niveaux d'eau le long de la Seine et de la Marne sont contrôlés par les barrages navigation repérés sur les cartes ci après. Le tunnel de Joinville est supposé opérationnel, il joue un rôle de délestage important de la boucle de St Maur en cas de crue majeure.

Par ailleurs les berges longeant les secteurs urbanisés de la petite couronne sont rehaussées de murettes de niveau variable, conçues à l'origine pour contenir la ligne d'eau de la crue de janvier 24. En réalité les niveaux de protection sont assez hétérogènes selon les secteurs. Les cotes des seuils contrôlant les débordements sont décrites précisément dans chaque modèle.

3.4.3 Apports hydrologiques

Ils sont repérés sur les cartes pages suivantes. Les apports des BV urbains sont totalement conditionnés par la structure de l'assainissement de la région parisienne, ils englobent l'ensemble des cours d'eau de la région parisienne, tels que la Bièvre et le Morbras.

Les apports de la Marne et de la Seine proviennent des modèles amont : le point d'injection est un élément RACC : selon le mode de couplage cet élément est considéré comme un point d'apport externe ou comme une liaison raccordé au réseau amont.

3.4.4 Condition limite aval

L'exutoire aval du sous modèle SM1 est la station de Paris Austerlitz : il est défini par un élément « RACC » qui est équipé d'une loi $Z(Q)$.

L'exutoire aval du sous modèle MN3 correspond au débouché de la Marne dans la Seine. Compte tenu des effets de remous très importants de la ligne d'eau de la Seine aval sur la Marne et vice versa les deux sous modèles fonctionnent simultanément dans une simulation hydraulique.

Figure 3-18 : emprise du modèle SM2

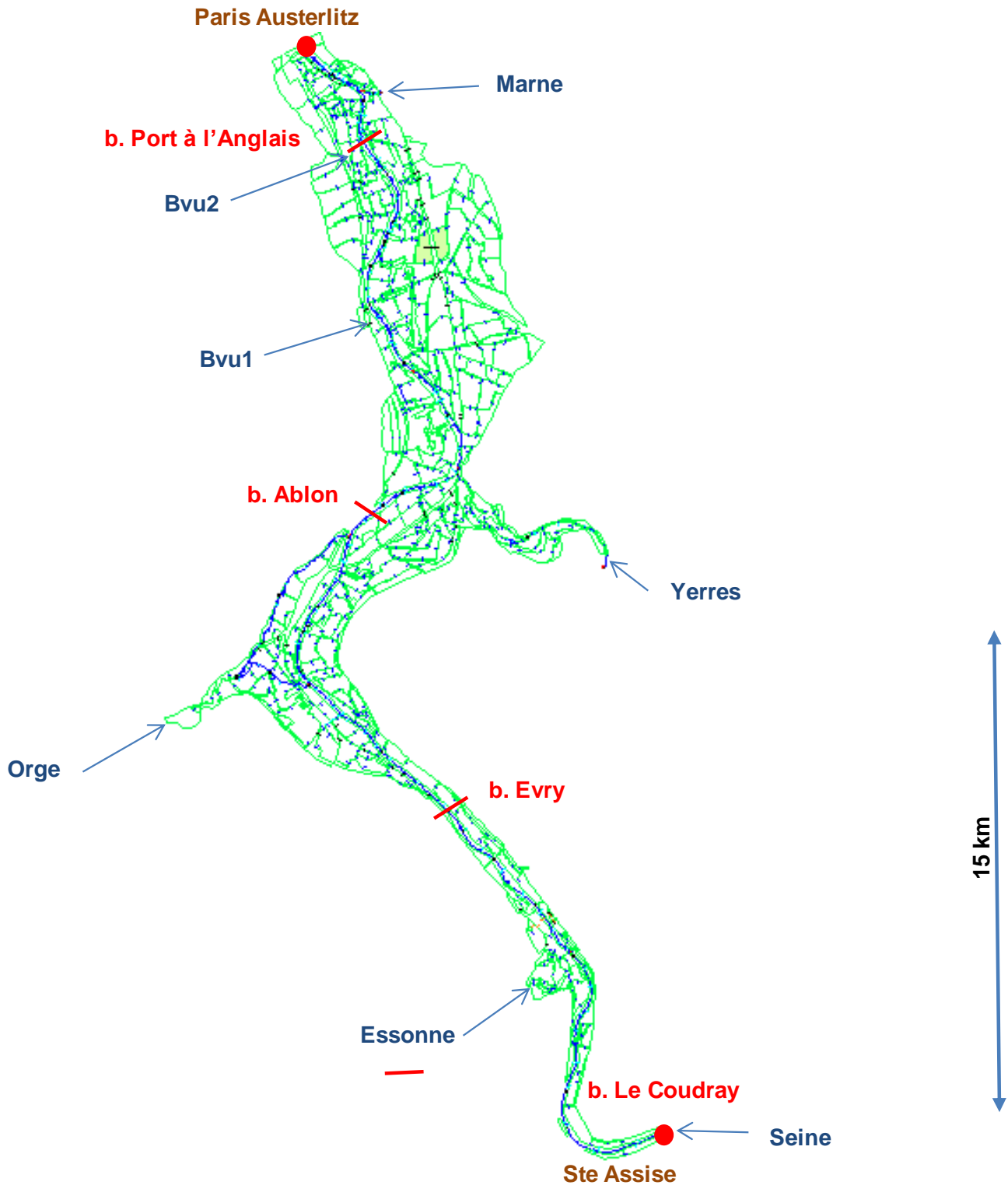
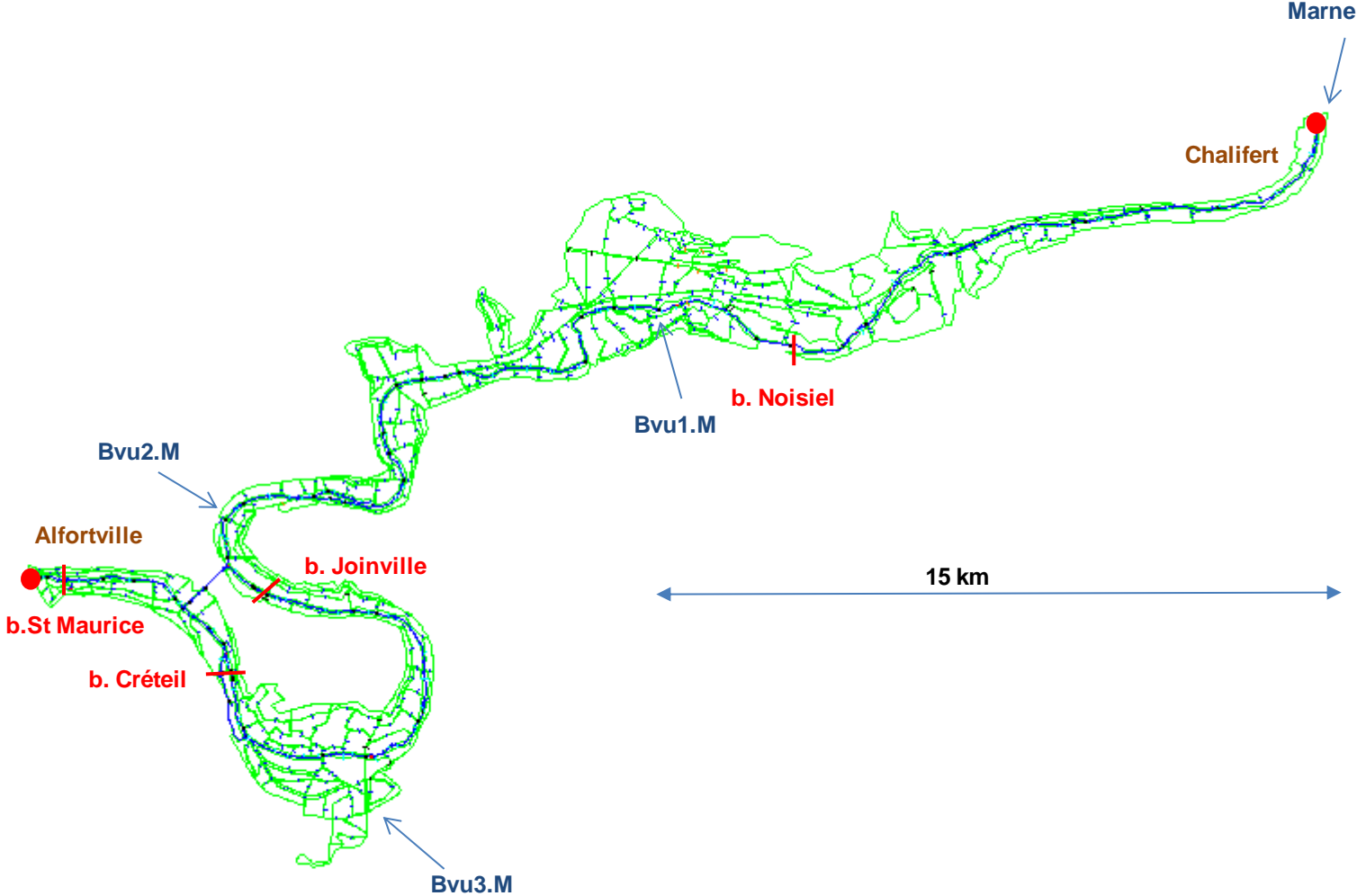


Figure 3-19 : emprise du modèle MN3



3.5 MODELES DE LA SEINE AVAL

Les sous modèles de la Seine sont tous issus des modèles MRIF (sauf le sous modèle OIS) retranscrits au format d'HYDRARIV. Il s'agit :

- du sous modèle SVI qui intègre maintenant le sous modèle « PAR » : il est limité à l'amont par la station du pont d'Austerlitz et à l'aval par le pont de Bezons,
- du sous modèle SV2 entre le pont de Bezons et la commune des Mureaux,
- du sous modèle SV3 entre les Mureaux et Poses,
- du sous modèle Oise, qui est issu du modèle de prévision des crues exploité par le SNS Oise.

Tous ces modèles sont calés et opérationnels.

Les influences aval réciproques nécessitent de faire fonctionner simultanément les sous modèle SV2 et OIS.

Ces sous modèles seront exploités dans la présente étude si l'on souhaite analyser l'extension spatiale de l'influence de l'aménagement Bassée en aval de Paris.

Figure 3-20 : emprise des sous modèles SV1 et SV2

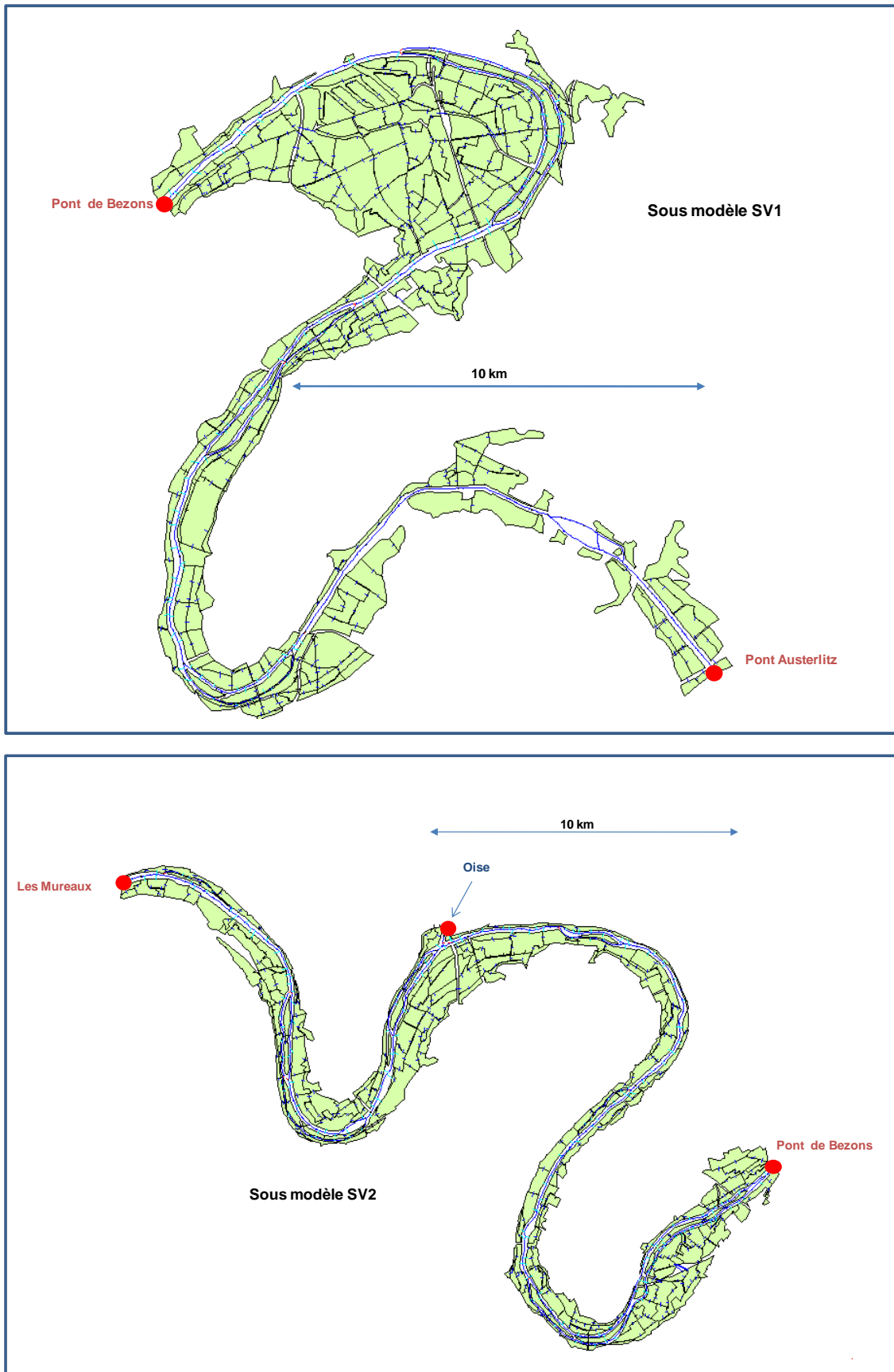
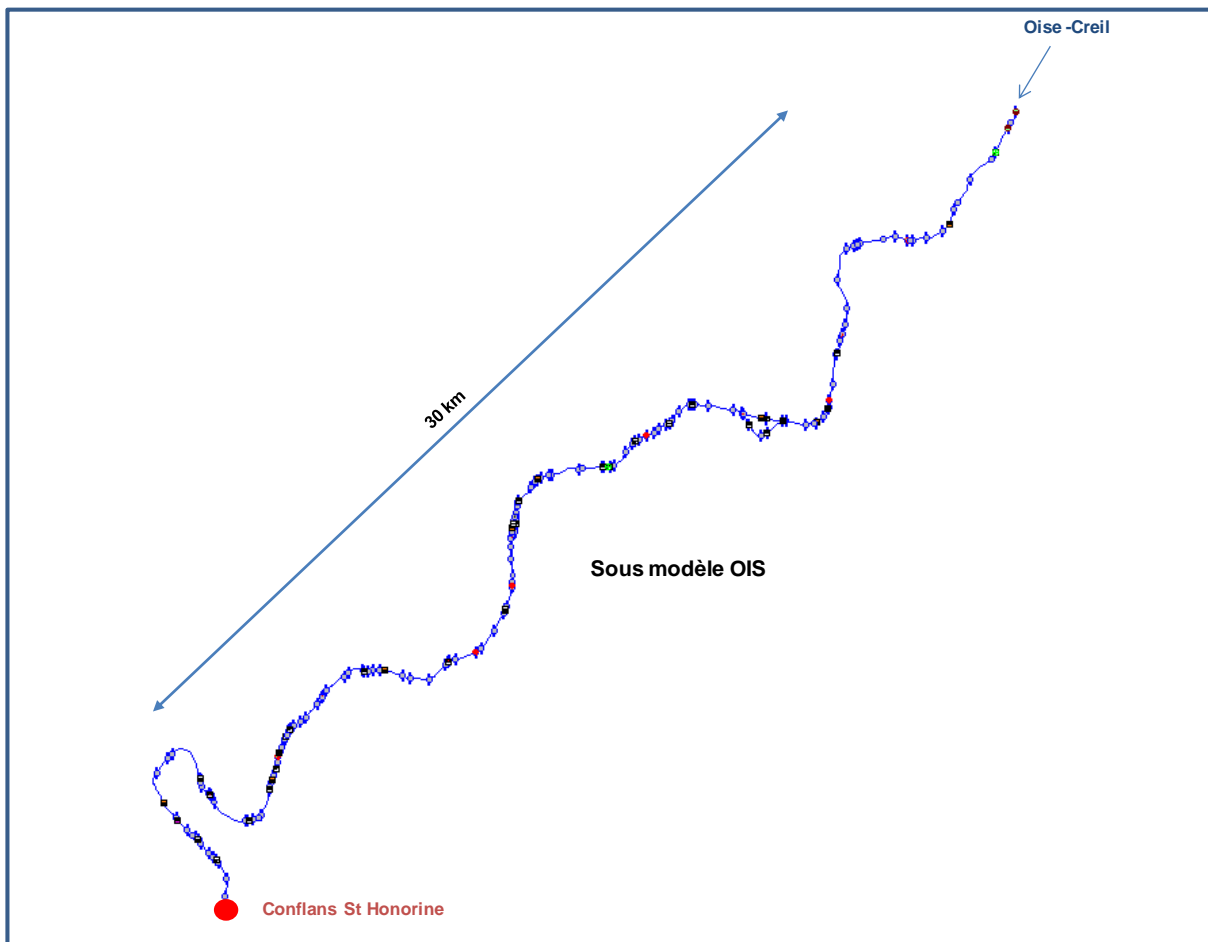
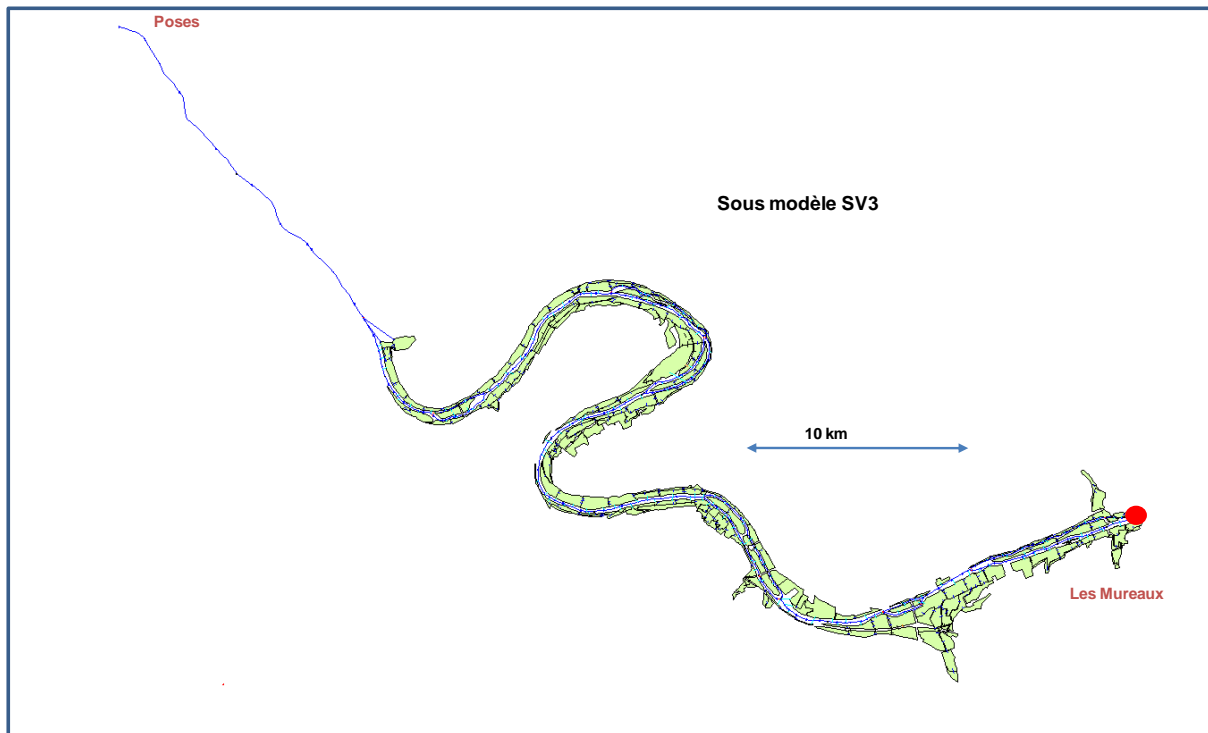


Figure 3-21 : emprise des sous modèles SV3 et OIS



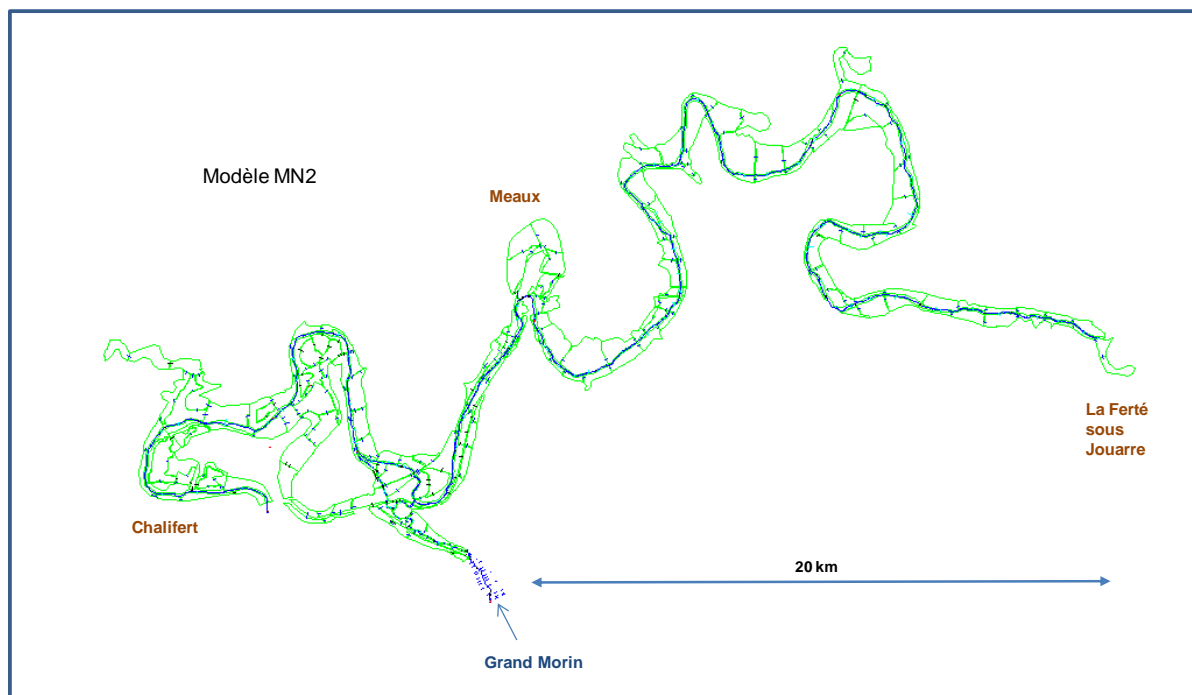
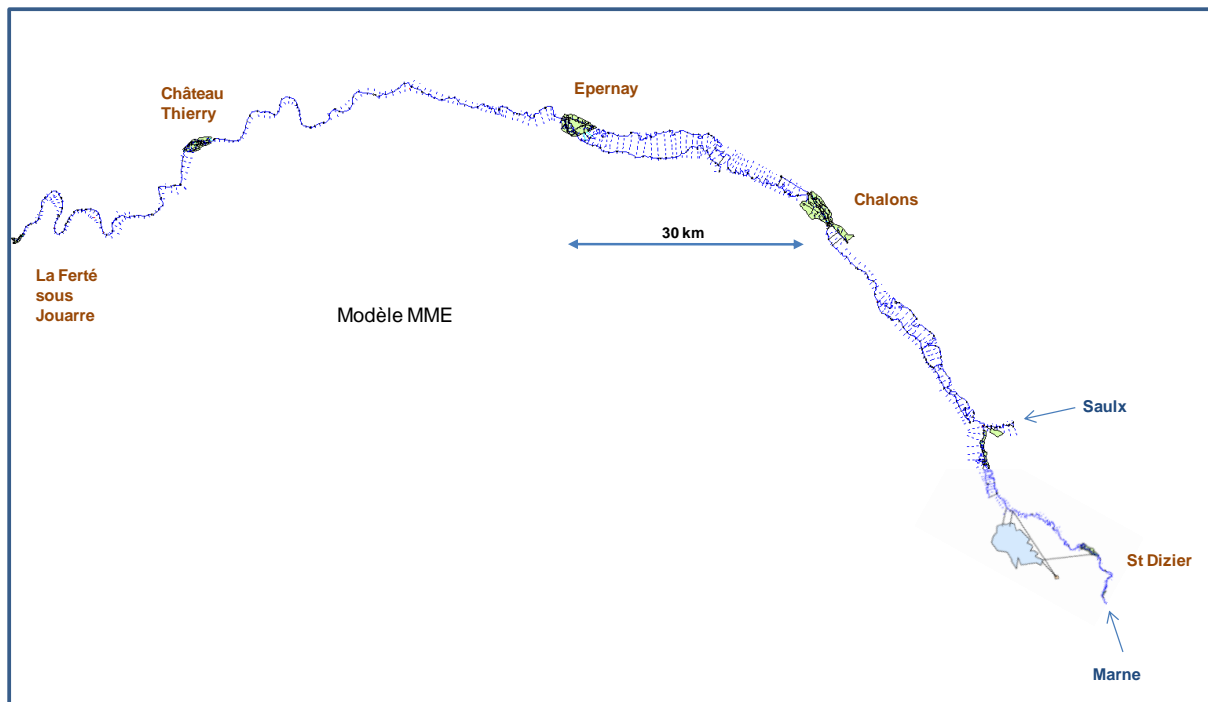
3.6 MODELES DE LA VALLEE DE LA MARNE

La modélisation de la vallée de la Marne ne fait pas à proprement parler du périmètre de l'étude. Cependant on dispose des sous modèles mise en œuvre par HYDRATEC pour le compte de l'Entente Marne dans le cadre de l'étude du Schéma d'aménagement de la Marne de 2008. Ces sous modèles couvrent la vallée de la Marne entre l'amont du lac « Marne » et Chalifert. Ils ont été développés sous HYDRARIV. Ils seront exploités pour générer les hydrogrammes des crues historiques influencés par l'action du lac Marne, et aussi pour calculer les hydrogrammes des crues synthétiques qui s'avèreraient nécessaires pour l'étude.

Les cartes page suivante reproduisent l'emprise des modèles de la vallée de la Marne développés sous HYDRARIV :

- le sous modèle MME couvre la Marne moyenne entre St Dizier et La Ferté sous Jouarre. C'est un modèle multi filaire affiné à partir du modèle d'origine MSBR.
- Le sous modèle MN2 couvre la vallée de la Marne entre La ferté sous Jouarre et Chalifert. C'est le modèle filaire-casier adapté du modèle MRIF.

Figure 3-22 : emprise géographique des sous modèles MME et MN2

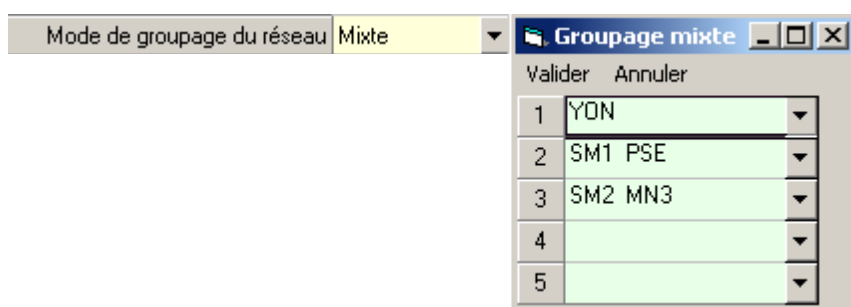


3.7 PROCEDURE D'EXPLOITATION DE LA CHAÎNE DE MODELISATION

La chaîne de modélisation est exploitée en mode « Complexe » dans HYDRARIV : ce mode permet d'ouvrir une collection de sous modèles dans la même cession (jusqu'à 10 sous modèles) et d'exécuter les simulations attachées à un scénario en exécutant les calculs en séquence par sous modèle ou en regroupant certains de ces sous modèles dans un même calcul.

La carte page suivante montre le plan de travail d'un Complexe composé des sous modèles YON, PSE, SM1, SM2 et MN3. Chaque sous modèle occupe une fenêtre qui peut être agrandie en pleine page. Les modèles sont des entités totalement distinctes et peuvent être consultés à tour de rôle en activant la fenêtre correspondante.

Le mode d'assemblage des sous modèles est défini dans l'étape de paramétrage d'un scénario :



L'écran de saisie ci dessus permet de choisir le mode de regroupement des sous modèles et l'ordre dans lequel les simulations doivent se dérouler. Dans l'exemple ci-dessus :

- le sous modèle YON est tout d'abord activé,
- les sous modèles PSE et SM1 sont ensuite générés et exécutés comme une seule entité, en récupérant au passage l'hydrogramme calculé par YON à Courlon.
- Enfin les sous modèles SM2 et MAR sont exécutés simultanément en récupérant l'hydrogramme calculé par SM1 à Ste Assise.

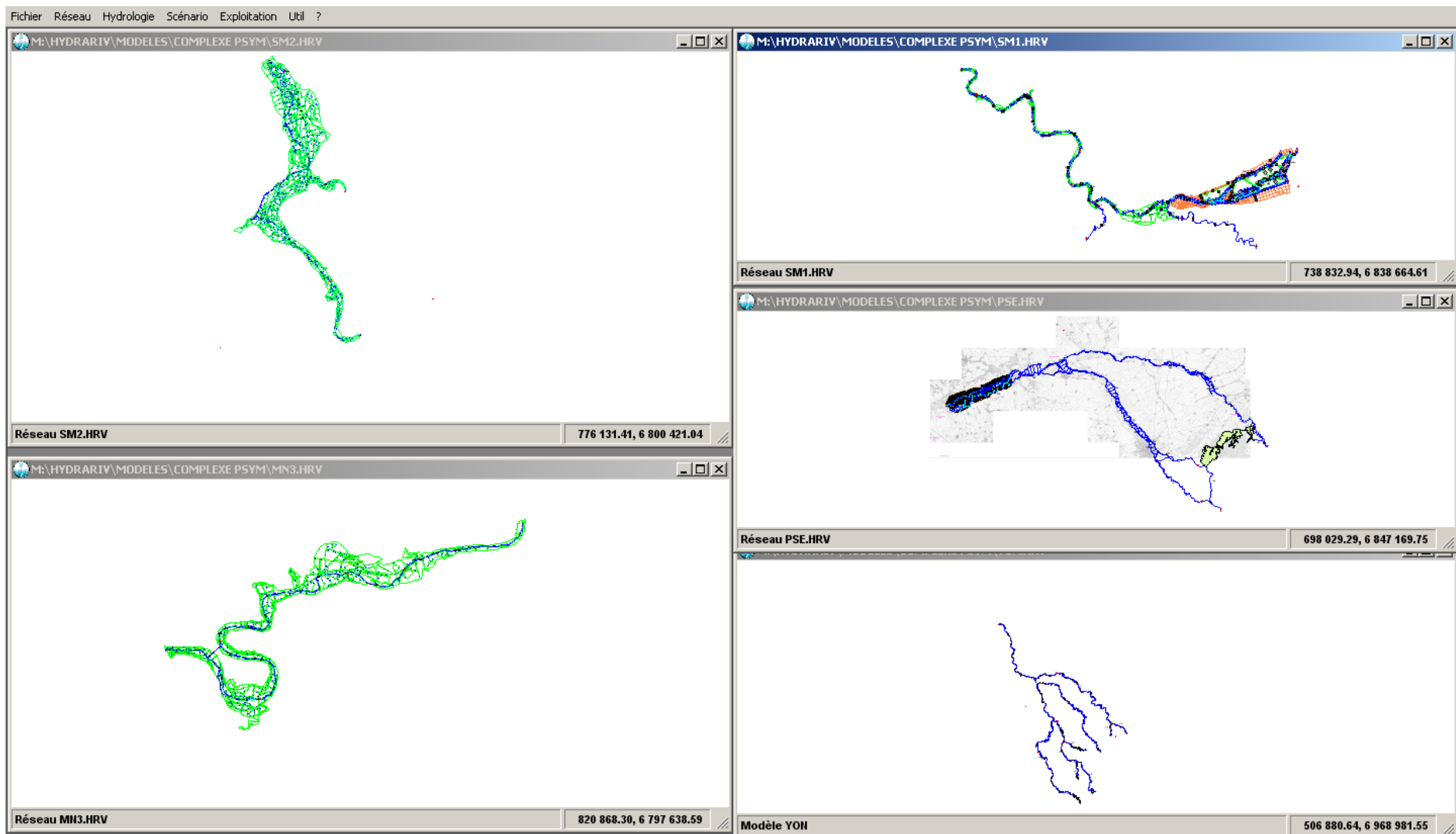
Les éléments de liaison inter modèle « RACC » sont automatiquement ajustés lors de la génération des calculs en fonction du mode assemblage sélectionné.

Il est également possible de n'exécuter qu'une partie des sous modèles du Complexe lorsqu'ils figurent en tête de la chaîne de calcul.

Après calcul les résultats sont ventilés par sous modèle, ils sont consultables en rendant active la fenêtre du sous modèle concerné.

Cette procédure d'exploitation s'avère extrêmement utile à l'usage, elle permet d'exploiter des chaînes de modélisation complexes en optimisant les regroupements selon l'existence ou non d'influences aval.

Figure 3-1 : assemblage de 4 sous dans un même « Complexe » avec HYDRARIV



4 CALAGE DES MODELES

4.1 OBJECTIFS DU CALAGE

Le calage présenté dans ce chapitre porte sur les cinq sous modèles qui sont au cœur de l'étude, à savoir : YON, PSE, SM1, SM2 et MN3.

Les modèles de la vallée de la Marne ont été calés dans l'étude réalisés pour l'Entente Marne, les modèles de la Seine aval ont été calés dans l'étude des dommages liés aux crues en RIF (1998) : ces deux familles de modèles seront exploitées en l'état en fonction des besoin de l'étude.

Les objectifs du calage diffèrent selon les sous modèles :

- Pour YON et PSE il s'agit surtout de restituer correctement la propagation des hydrogrammes en vitesse et déformation ; le calage en cote n'est pas une priorité.
- Pour SM1, SM2 et MN3 le calage doit être satisfaisant à la fois en cote et en débit compte tenu de l'objet de la modélisation.

La procédure de calage est donc spécifique à chaque sous modèle. Elle doit être conduite pour des événements historiques récents pour lesquels les conditions d'écoulements sont proches de la modélisation réalisée. L'hydrologie des événements sélectionnés doit par ailleurs être connue avec une bonne précision, afin d'éviter que les hydrogrammes d'apports ne deviennent des variables d'ajustement du calage.

4.2 SELECTION DES CRUES DE CALAGE

La précision de chaque sous modèle est contrôlée à l'aide des événements de crues listés dans le tableau ci-dessous :

Crue	Sous modèle concerné
M99 – D99 – M01	YON
J95	PSE + SM1
J82	PSE + SM1 + SM2 +MN3
J55	PSE + SM1 + SM2 +MN3
D93	SM1 + SM2 +MN3
F70	SM1 + SM2 +MN3

Les annexes jointes regroupent pour chaque crue les résultats détaillés des simulations réalisées à l'issue de l'étape de calage :

- pour les crues M99, D99 et M01 : hydrogrammes calculés et observés aux stations aval du bassin de l'Yonne,
- pour les crues J95, J82 et J55 :
 - hydrogrammes amont et dérivés par les lacs réservoirs ,
 - hydrogrammes aux stations d'Arcis, Méry et Bray
 - états d'inondation dans la plaine de la Bassée,
 - profils en long des lignes d'eau de crue de la Seine entre Nogent et Montereau,
 - limnigrammes à Montereau et Melun,
 - hydrogrammes de la Seine à Alfortville et Paris Austerlitz.

- Pour les crues D93 et F70 :
 - hydrogrammes amont et dérivés par les lacs réservoirs,
 - hydrogrammes aux stations d’Arcis Méry et Bray
 - limnigrammes à Montereau et Melun,
 - hydrogrammes de la Seine à Alfortville et Paris Austerlitz.

Les données d’observations disponibles sont superposées aux courbes calculées dans ces annexes.

4.3 CALAGE DU SOUS MODELE « YON »

4.3.1 Événements et données de calage

Les événements sélectionnés pour le calage sont M99, D99 et M01. Ont dispose pour ces événements d’une hydrologie réputée fiable car reconstituée à partir des données hydrométriques des stations amont et intermédiaires. Les données de calage comprennent les hydrogrammes observés aux stations aval de Gurgy et Courlon (Yonne), Brienon (Armançon) et Beaumont ou Chablis (Serein).

4.3.2 Procédure de calage

Le calage a consisté essentiellement à ajuster les coefficients de Strickler du lit mineur, et dans une moindre mesure du lit majeur de chaque vallée afin d’obtenir la meilleure adéquation possible la forme des hydrogrammes mesurés aux stations aval, et notamment minimiser les écarts sur les décalages temporels des pointes de débit.

4.3.3 Résultats obtenus

La qualité du calage peut être appréciée par inspection visuelle des hydrogrammes calculés et observés sur les graphes de l’annexe 1 : on observe pour chacune de ces trois crues un bon accord entre les calculs et les observations, notamment pour la crue M01 caractérisée par un événement pluvieux d’intensité forte et de courte durée : les pointes de débits sont très marquées et les temps de passages sont très proches.

Ces comparaisons montrent que le modèle est apte à reproduire la dynamique de propagation des crues de l’Yonne jusqu’à Courlon, lorsque l’hydrologie est correctement générée.

4.4 CALAGE DU SOUS MODELE PSE + SM1 AMONT

4.4.1 Événements et données de calage

Les événements sélectionnés doivent être relativement récents pour permettre une comparaison avec les calculs dans les conditions actuelles d’aménagement, mais également d’importance contrastée afin d’évaluer la capacité du modèle à reproduire la dynamique des crues qui diffère selon le degré d’inondation de la plaine alluviale.

Les événements sélectionnés pour contrôler le fonctionnement du modèle sont :

- J95 : crue peu débordante, mais ayant tout de même sollicité la plaine alluviale de la Bassée en amont de Bray, le débit de pointe a atteint 250 m³/s à Bazoches,

- J82 : crue largement débordante sur la petite Seine, qui s'est produite juste après l'aménagement du tronçon à grand gabarit entre Bray et Montereau ; le débit de pointe a avoisiné 400 m³/s à Bazoches,
- J55 : événement exceptionnel, le débit de pointe a dépassé 600 m³/s à Bazoches.

On dispose pour ces crues :

- des hydrogrammes aux stations intermédiaires de Méry et Arcy,
- des cotes maxima aux échelles navigation et au droit des ponts entre les barrages du Vézoult et le pont de Montereau (événements J95 et J82 seulement),
- du limnigramme de crue de Bray.

4.4.2 Procédure de calage

Le calage a consisté essentiellement à ajuster les coefficients de Strickler du lit mineur de la Seine afin d'ajuster les lignes d'eau dans le lit de la Seine et affiner ainsi les débits capables avant les premiers débordements, et aussi les coefficients de frottement moyens du domaine 2D lit majeur de chaque vallée afin de restituer la forme des hydrogrammes mesurés aux stations aval, et donc la dynamique des crues débordantes à travers la plaine alluviale de la Bassée.

4.4.3 Fonctionnement des lacs réservoirs

Le lac Seine a été sollicité pour J82, les deux lacs Seine et Aube ont été sollicités pour J95. Les annexes 5 et 6 reproduisent par ailleurs les hydrogrammes calculées et observés dans le secteur des lacs réservoirs pour les deux crues complémentaires de D93 et F70.

On constate pour toutes ces crues un assez bon accord pour les hydrogrammes influencés à Méry et Arcis. Les hydrogrammes calculés sont néanmoins plus écrêtés dans l'ensemble que les hydrogrammes observés car ils intègrent une application stricte du règlement d'eau en prenant en compte le débit d'apport de la Voire pour l'Aube et l'Hozain+Barse pour la Seine dans le calcul du débit de référence.

On peut noter que l'action conjuguée des deux lacs permet de limiter à 250 m³/s le débit de crue à l'aval de la confluence Aube-Seine, alors que ce débit peut dépasser 600 m³/s en l'absence d'action de ces ouvrages.

4.4.4 Fonctionnement hydraulique du système Bassée entre Marnay et Montereau

Débit capable

Les résultats des tests préliminaires, ainsi que l'examen des profils en long et des cartes d'inondations des annexes 1, 2 et 3 conduisent à proposer les fourchettes suivantes pour les débits capables avant débordement :

Tronçon	Débits capable de la Seine
Marnay - Villiers	140 – 170 m ³ /s
Villiers – Vezoult – Jaulnes	200 - 250 m ³ /s
Jaulnes – pont de Bray	300 – 320 m ³ /s
Pont de Bray - Montereau	350 – 400 m ³ /s

□ Temps de propagation

Les temps moyens de propagation trouvés avec le modèle pour l'onde de crue de la Seine entre Bar et Montereau s'établissent comme suit :

Bar – Méry: 48h,
Méry Nogent: 42h,
Nogent – Bray: 44h
Bray – Montereau : 24h,

Soit un total de 6.5 jours entre Bar et Montereau.

Ces temps de propagation sont en accord avec ceux issus des enregistrements disponibles aux stations de Bar, Bray et Montereau, les écarts maximaux sur les temps de passage de la pointe de crue à Bray sont inférieurs à 12 heures pour toutes les crues testées.

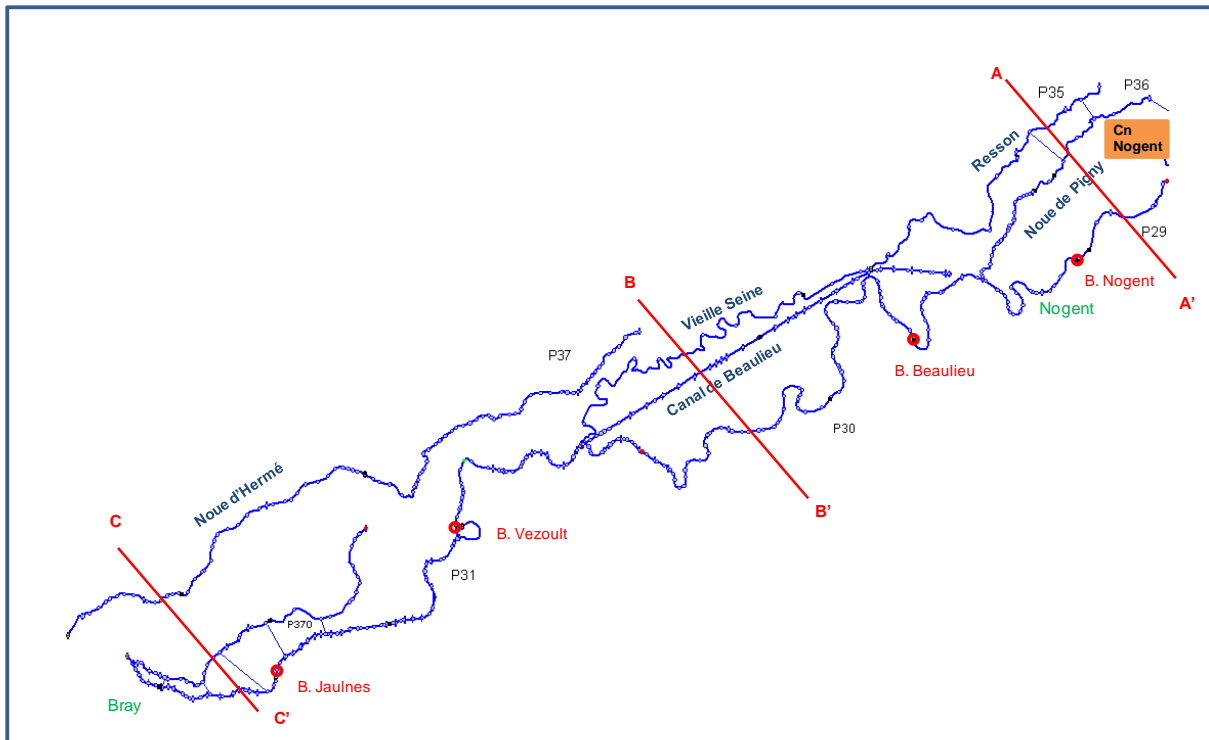
□ Débordements dans la plaine alluviale de la Bassée

L'inspection des cartes d'inondation calculées pour les crues J95, J82 et J55 montre un certain nombre de résultats :

- Le secteur de la Bassée amont est largement inondé pour la crue J95, dont le débit à Bray atteint 250 m³/s. l'inondation touche principalement la plaine alluviale de la Seine en rive gauche du canal de Villiers, entre Nogent et Villiers et en rive gauche de Seine entre Villiers et le Vézoult. Des secteurs sont également inondés le long de la Grande noue d'Hermé. Les inondations sont aggravées pour la crue J82, de nouveaux secteurs inondations apparaissent le long de la petite Seine et de la noue d'Hermé, témoignant d'un transit de la crue le long de ces axes d'écoulement. Toute la plaine de la Bassée amont est inondée enfin pour la crue J55 (y compris le tronçon Vezoult – Bray qui apparait non inondé sur les cartes du fait du fait du mode de schématisation adopté sur ce secteur)
- Le secteur de la Bassée aval est quant à lui beaucoup plus épargné en raison de la capacité de la Seine depuis sa mise à grand gabarit en 1981. Certains zones basses sont néanmoins inondées pour J95, dans les anciens méandres de la Seine et le long de l'Auxence. Les secteurs inondés sont plus étendus le long de l'ancien lit de la Seine pour la crue J82, mais l'inondation ne touche pas les secteurs occupés par les casiers projetés. A noter pour cette crue le secteur urbanisé sensible de Marolles, à proximité du barrage. Enfin pour J55 toutes les emprises occupées par les futurs casiers sont inondées.

□ Répartition des débits le long des différents bras de la plaine alluviale de la Bassée.

Afin de bien apprécier le fonctionnement dynamique de la plaine alluviale de la Bassée amont on a calculé les distributions de débits de crue le long de trois transects pour J95, J82 et J55. Ces transects sont positionnés comme suit :



Le tableau ci-dessous récapitule les répartitions de débit le long de chaque transect pour les trois crues :

Crue	Transect AA'		Transect BB'			Transect CC'	
	Axe Seine	Noës rive droite	Axe canal Baulieu	Seine RD	Vieille Seine	Axe Seine	Noüe d'Hermé
J95 - 250 m ³ /s	85%	15%	92%		8%	80%	20%
J82 - 380 m ³ /s	88%	12%	94%		6%	85%	15%
J55 - 640 m ³ /s	90%	10%	98%		2%	96%	4%

Cette répartition peut être comparée avec celle trouvée dans l'étude Safège « d'opportunité de mise à grand gabarit de la Seine de Bray à Nogent » :

- Transect AA' : Safège trouve que le débit dérivé vers le nord de la Centrale de Nogent n'excède pas 5% du débit total de la crue, pour toutes les crues, alors que ce ratio varie entre 10% et 15% avec la modélisation présentée ici. Cette distorsion entre les résultats peut s'expliquer par le manque de données topographiques détaillées dans ce secteur, obligeant à faire des hypothèses approximatives sur les liaisons hydrauliques entre les différents d'écoulement.
- Transect BB' : le débit de crue au nord du canal de Beaulieu est trouvé ici au plus égal à 8%, contre 11% dans l'étude Safège, les deux estimations sont cohérentes,
- Transect CC' : les deux modèles fournissent des estimations comparables ; la Noüe d'Hermé joue un rôle actif de transit pour les grandes crues.

On note donc des distorsions locales entre les résultats des deux études, mais globalement les deux approches fournissent des ordres de grandeur comparables.

4.4.5 Niveaux d'eau maxima atteints entre le Vézoult et Montereau

On dispose pour les crues récentes de 1982 et 1995 des relevés des cotes maximales atteintes au droit des échelles disponibles sur ce tronçon. Le tableau suivant récapitule les valeurs observées et calculées avec le modèle :

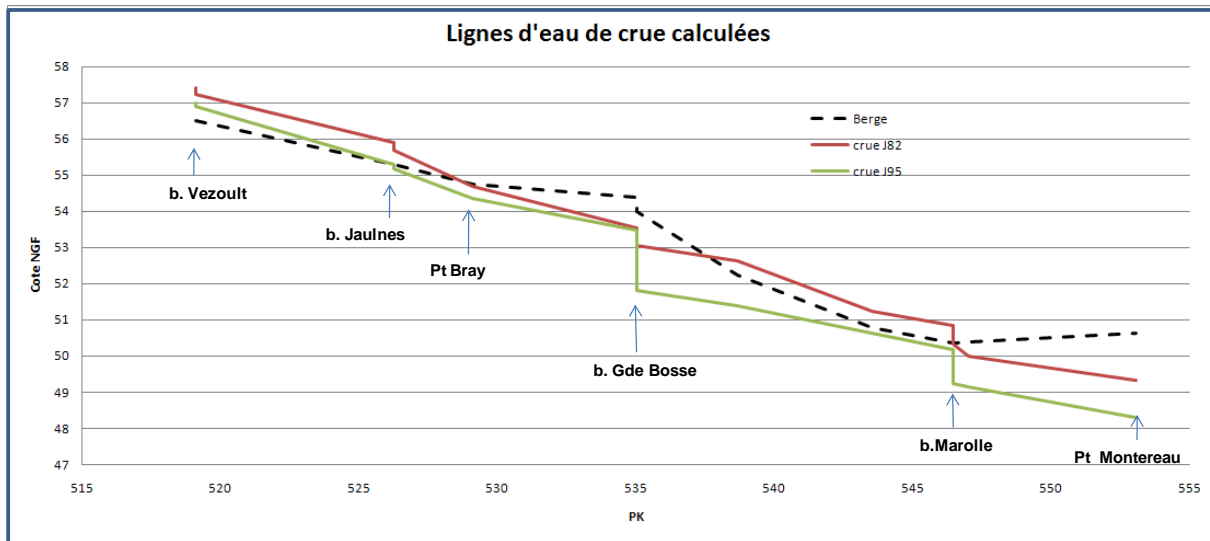
Localisation	Crue J82			Crue J95		
	Observation (m NGF)	Simulation (m NGF)	Ecart (cm)	Observation (m NGF)	Simulation (m NGF)	Ecart (cm)
B. Vezoult	57.30	57.24	-0.06	57.00	57.00	0.00
B. Jaulnes	56.40	55.70	-0.70	55.30	55.28	-0.02
Pt de Bray	55.50	54.70	-0.80	54.11	54.36	+0.25
B Gde Bosse amont	53.66	53.54	-0.12	53.20	53.48	+0.28
B Gde Bosse amont	53.02	53.04	+0.02	51.40	51.80	+0.4
Pt de Balloy	52.76	52.62	-0.14	-	51.39	
Pt de la Tombe	51.73	51.24	-0.49	-	50.62	
B de Marolles amont	51.12	50.85	-0.25	50.16	50.18	+0.02
Ecluse de Marolles aval	50.27	50.56	+0.19	48.51	48.72	+0.21
Pt de Montereau	49.43	49.33	-0.10	48.24	48.31	+0.07

Malgré de nombreux essais de calage il est difficile de maintenir des écarts de cote partout inférieurs à 25cm pour les deux crues et avec les mêmes réglages des coefficients de rugosité. Les raisons à cette difficulté sont de plusieurs natures :

1. Les seuils des barrages sont dans la réalité surbaissés pour maintenir un niveau constant en un point amont du bief et non au droit du barrage : ceci explique l'écart constaté entre calcul et observations au barrage de la Gde Bosse pour la crue J95.
2. Le barrage de Marolles accuse pour J82 une perte de charge de près de 80 cm alors qu'il était censé être totalement effacé au moment du passage de la pointe de crue. Cette perte de charge anormale peut être révélatrice d'un problème de fonctionnement de l'ouvrage pour cette crue.
3. Enfin la cote d'eau observée au pont de Bray apparait anormalement élevée pour J82, elle révèle en effet une pente hydraulique très forte entre Bray et la Grande Bosse ; cette anomalie peut s'expliquer par une erreur de lecture ou une élévation de la ligne d'eau due à un obstacle (embacle ...)

Le graphe page suivante restitue les lignes d'eau calculées pour les deux crues J82 et J95 :

Figure 4-1 : lignes d'eau calculées pour les crues J82 et J95



Quelques commentaires :

- Le barrage de la Gde Basse est calé très haut et forme section de contrôle pour les deux crues : il crée donc une coupure hydraulique avec le bief amont, c'est un élément important à prendre en compte dans l'analyse de gestion de l'aménagement Bassée,
- Le terrain naturel présente un point bas au droit du barrage de Marolles : la gestion hydraulique de cet ouvrage de la navigation constitue un point de vigilance à intégrer dans l'étude de gestion de la Bassée. A noter que pour J95 le barrage n'était pas totalement effacé et formait donc section de contrôle.

4.5 CALAGE DES SOUS MODELES SM1 (AVAL MONTEREAU), SM2 ET MN3

Le calage de ces modèles a consisté à régler les coefficients de frottement pour minimiser les écarts entre les cotes maximales observées et calculées au droit des barrages navigation et des échelles de crue. On a pour cela exploité les données limnigraphiques des crues J82, D93, F70 et J55.

Les simulations ont été réalisées en régime transitoire en imposant pour chaque crue les hydrogrammes observés aux stations de : Méry, Arcy, Courlon et Chalifert.

Le tableau page suivantes récapitule les cotes d'eau maximales calculées et les écarts entre calculs et observations pour ces 4 crues. Ces écarts sont inférieurs à 20cm au droit des échelles d'annonce de crues, ils peuvent être supérieurs au droit des barrages navigation car le mode de gestion appliqué en pratique pour l'abaissement des seuils diffère de la gestion théorique appliquée dans le modèle : les cotes d'eau qui en résultent à l'amont de l'ouvrage peuvent différer tant que le barrage n'est pas totalement couché.

Par ailleurs, l'alimentation du tunnel de St Joinville pour la crue de février 1970 a été probablement moins importante que ce que prévoyait le règlement d'eau, d'où les écarts de niveaux constatés dans la boucle de St Maur.

Contrôle du calage en cote

Marne et Seine en amont de Paris

Point de calage	PK	Zéro	janv-82			déc-93			févr-70			janv-55		
			observé	calculé	Ecart	observé	calculé	Ecart	observé	calculé	Ecart	observé	calculé	Ecart
Montereau	552	45.68	49.39	49.43	0.04	48.5	48.45	-0.05	49.43	49.29	-0.14	50.1	50.07	-0.03
b. Varennes amont	556.8	43.28	49.01	48.93	-0.08	48.05	47.95	-0.1		48.74		49.6	49.5	-0.1
b. Varennes aval	556.8	41.21	48.7	48.79	0.09	47.78	47.69	-0.09		48.56		49.5	49.33	-0.17
b. Champagne amont	569.5	40.82	47.2	47.04	-0.16	45.57	45.62	0.05		46.74		47.35	47.22	-0.13
b. Champagne aval	569.5	38.33	46.8	46.72	-0.08	45.38	45.35	-0.03		46.19		47.3	46.89	-0.41
b. La Cave amont	587.5	36.79	43.27	43.26	-0.01	42.05	41.92	-0.13	42.88	42.7	-0.18	43.7	43.41	-0.29
b. La Cave aval	587.5	35.23	42.97	42.91	-0.06	41.51	41.58	0.07	42.61	42.45	-0.16	43.5	43.26	-0.24
Melun	596	36	41.16	41.2	0.04	39.79	39.96	0.17	40.57	40.62	0.05	41.31	41.36	0.05
b. Vives Eaux amont	602.6	33.98	40	39.87	-0.13	38.6	38.7	0.1	39.62	39.25	-0.37	40.4	40.4	0
b. Vives Eaux aval	602.6	33.98	39.5	39.42	-0.08	38.06	38.2	0.14	38.97	38.81	-0.16		39.6	
b. Coudray amont	616.55	30.73	37.37	37.39	0.02	35.67	36	0.33		36.76		37.75	37.59	-0.16
b. Coudray aval	616.55	30.75	37.07	37	-0.07	35.33	35.54	0.21	36.33	36.37	0.04	37.62	37.2	-0.42
pont Corbeil	621.45	31.26	36.37	36.38	0.01	34.66	34.93	0.27	35.85	35.76	-0.09	36.75	36.63	-0.12
b. Evry amont	625.85	29.46	36.19	35.73	-0.46	34.46	34.31	-0.15	35.11	35.14	0.03	36.11	36.04	-0.07
b. Evry aval	625.85	29.21	35.74	35.49	-0.25	34.01	34.13	0.12	34.8	34.92	0.12	36.03	35.82	-0.21
b. Ablon amont	637.2	27.35	34.31	34.02	-0.29	32.55	32.62	0.07	33.55	33.46	-0.09		34.63	
b. Ablon aval	637.2	27.42		33.8		32.52	32.45	-0.07	33.36	33.25	-0.11	34.55	34.45	-0.1
b. Port à l'Anglais amont	648.5	24.94	32.7	32.66	-0.04	31.5	31.42	-0.08	32.34	32.19	-0.15	33.78	33.62	-0.16
b. Port à l'Anglais aval	648.5	23.94	32.76	32.44	-0.32	31.46	31.26	-0.2	32.22	32	-0.22	33.66	33.46	-0.2
pont Austerlitz	655.5	25.92	32.07	32.06	-0.01	30.75	30.94	0.19	31.54	31.67	0.13	33.04	33.15	0.11
								0			0			0
écluse Chalifert	953.5	37.95	41.66	41.6	-0.06	42.14	41.91	-0.23	42.56	42.25	-0.31	43.13	43.05	-0.08
échelle Lagny	959.3	36.17		40.99				0	41.48	41.43	-0.05	41.92	42.21	0.29
écluse Vaires	963.655	35.8				40.87	40.85	-0.02	41.07	41	-0.07	41.45	41.67	0.22
b. Noisiel amont	966.51	35.16	39.75	40.11	0.36	40.23	40.38	0.15	40.42	40.4	-0.02	40.92	41.02	0.1
b. Noisiel aval	966.51	35.16		39.56		40.06	39.83	-0.23	40.31	40.26	-0.05	40.92	40.89	-0.03
écluse Neuilly	974.52	31.36	37.02	36.91	-0.11	37.36	37.25	-0.11	38.18	37.8	-0.38	39.04	38.8	-0.24
b. Joinville amont	984	31.4	35.2	35.07	-0.13	34.95	35.3	0.35		35.77			36.88	
b. Joinville aval	984	31.4	35.07	34.79	-0.28	34.95	35.03	0.08	35.85	35.51	-0.34	36.39	36.63	0.24
b. Créteil amont	994.5	28.63	32.96	32.8	-0.16	31.96	32.03	0.07	33.18	32.6	-0.58	34.23	34.34	0.11
b. Créteil aval	994.5	28.59	32.93	32.77	-0.16	31.95	31.98	0.03	32.91	32.55	-0.36		34.27	
écluse St Maurice aval			32.67	32.61	-0.06		31.71		32.6	32.33	-0.27	33.95	33.97	0.02
b. St Maurice amont	999	27.65		32.41			31.32			32	32		33.6	
b. St Maurice aval	999	26.65	32.62	32.37	-0.25	31.47	31.26	-0.21	32.25	31.98		33.75	33.51	-0.24

Les annexes 3, 5 et 6 reproduisent les limnigrammes observés et calculés aux échelles de Montereau et Melun, pour les crues J82, D93 et F70. Les hydrogrammes observés et calculés sont également superposés dans les annexes 3 à 6 pour les crues J82, J55, D93 et F70. L'examen de ces courbes montre un bon accord entre observations et calcul sur les formes, les phasages des pointes et les valeurs maximales. Ceci confirme l'aptitude du modèle à reproduire la dynamique des crues du bassin de la Seine pour un éventail élargi de crues d'importances contrastées.

Le seul désaccord notable concerne la forme de l'hydrogramme à Alfortville et Paris Austerlitz pour la crue F70 : les courbes observées exhibent une double pointe, alors que les courbes calculées n'en montrent qu'une, cette double pointe se manifeste également aux stations de la Seine aval, alors que l'on ne l'observe pas sur le limnigramme de l'échelle de Melun. Une explication possible est une sous estimation de l'hydrogramme injecté à Noisiel, ce que devra confirmer l'analyse de cohérence hydrologique présentée dans le rapport 2.2.

5 CONCLUSIONS

L'étape 2.1 avait pour objet de décrire la chaîne de modélisation hydraulique mise en œuvre pour tester les différents scénarios de gestion de la Bassée et évaluer les gains globaux mais aussi les impacts locaux associés à chaque scénario.

Les différents sous modèles composant la chaîne de modélisation ont été calés pour satisfaire les objectifs de l'étude, la procédure de calage étant adaptée à la spécificité de chaque sous modèle. Les résultats obtenus sont globalement satisfaisants en termes de propagation et de précision sur les valeurs maximales en débit et en cotes au droit des différentes stations de contrôle le long des vallées de l'Yonne et de la Seine.

Le modèle ainsi calé est exploité dans l'étape 2.2 pour vérifier la cohérence hydrologique globale de chacune des crues historiques reconstituées. Il doit ensuite servir à reconstituer une hydrologie de référence, intégrant ou non l'impact des lacs et barrages existants, puis à tester les différents scénarios de gestion de l'aménagement Bassée, prévus dans la phase 2 de l'étude.