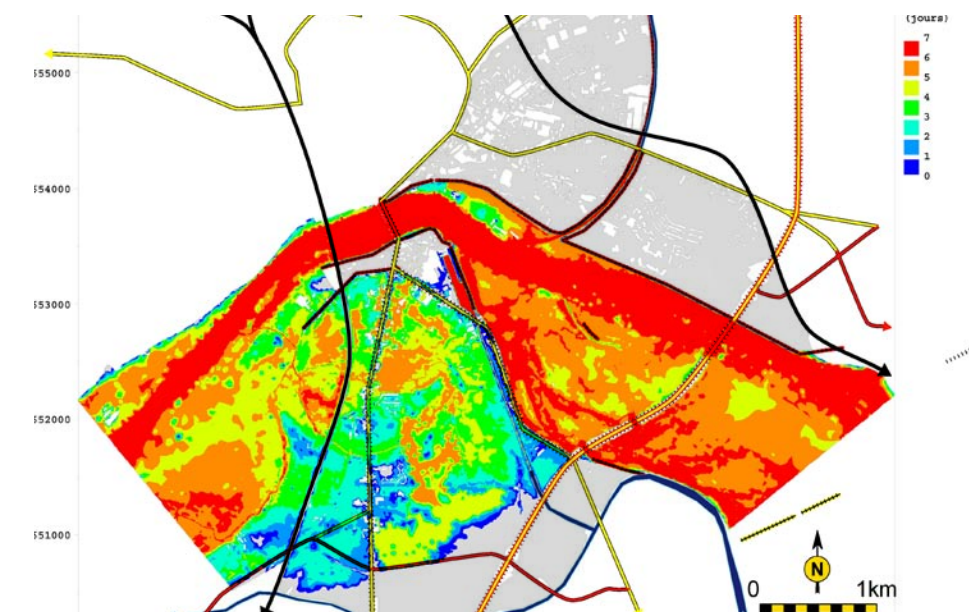
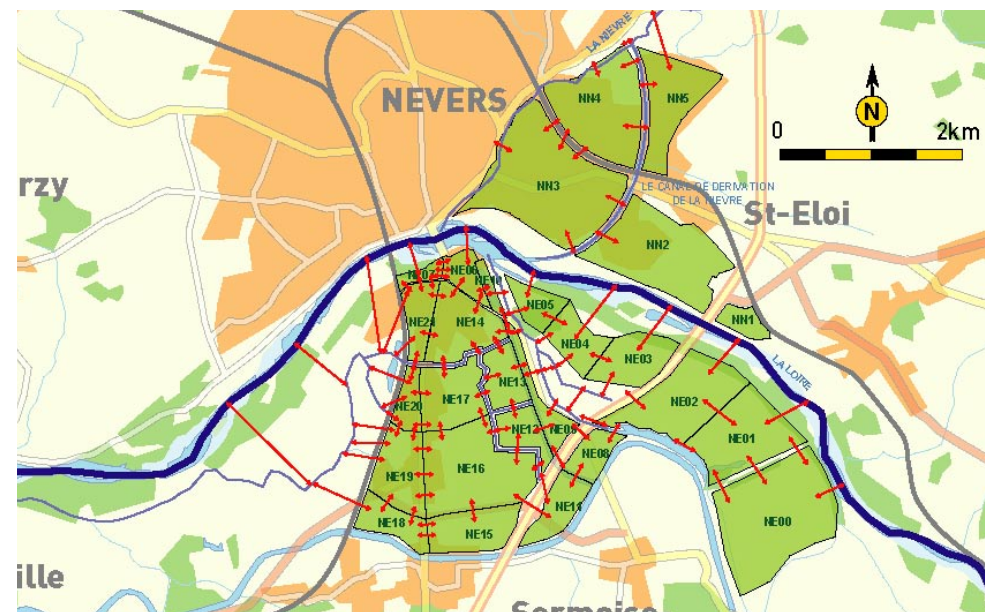




Le risque d'inondation sur l'Agglomération de Nevers

Les modélisations
des rivières
de l'adn
Architecture 1D-2D

Sommaire



- 4 Objectifs et données pour la construction des modèles**
- 5 Les modèles sont de vraies maquettes
- 6 Deux modèles pour évaluer les aléas
- 7 Sur l'adn, un système de protection asymétrique
- 8 Les données proviennent de plusieurs sources
- 9 Architecture du modèle 1D, les limites du modèle**
- 10 Une modélisation globale 1D élargie
- 11 Decize : limite amont du modèle 1D sur la Loire
- 12 Moulins : limite amont du modèle 1D sur l'Allier
- 13 Pont-Saint-Ours : limite amont 1D sur la Nièvre
- 14 Saint-Satur : limite aval du modèle 1D
- 15 Plusieurs entités construisent le modèle 1D
- 16 Architecture 1D, un fin découpage en biefs et casiers**
- 17 [Le modèle 1D](#) EGRIAN, une succession de 62 biefs
- 18 [Modèle 1D](#) : différents profils en travers
- 19 [Modèle 1D](#) : provenance des profils en travers
- 20 Aux limites du [modèle 1D](#), l'injection des débits
- 21 La limite aval du [modèle 1D](#) global
- 22 41 casiers complètent les filaires du [modèle 1D](#)

Sommaire



Etude EGRIAN - Diagnostic-Architecture 1D-2D

Minea - Avril 2009 - Sources Hydratec et Sogreah

- 23 Architecture 1D, les singularités hydrauliques modélisées**
- 24 [Modèle 1D](#) : les singularités hydrauliques
- 25 [Modèle 1D](#) : les seuils de la Nièvre et de l'Allier
- 26 [Modèle 1D](#) : la modélisation des ponts
- 27 Les ponts de l'adn modélisés sur la Loire
- 28 Le pont de Loire à Nevers
- 29 Les ponts et seuils modélisés sur l'Allier
- 30 Architecture du modèle 2D sur le Val de Nevers**
- 31 Une modélisation détaillée 2D sur le val de Nevers
- 32 Donner des limites au territoire modélisé en 2D
- 33 Il faut disposer d'un MNT fidèle
- 34 Bien prendre en compte les éléments structurants
- 35 Construire les noeuds du modèle détaillé
- 36 Le bâti dans le modèle 2D
- 37 Le modèle 2D prend en compte les îlots
- 38 Le modèle 2D doit interpréter le MNT
- 39 Architecture 1D et 2D les calages**
- 40 Les calages des modèles EGRIAN 1D et 2D
- 41 [Modèle 1D](#) : le calage est le plus précis possible
- 42 Le calage du modèle 2D est à plus ou moins 5 cm
- 43 Le calage 2D est validé par la photo aérienne
- 44 Les « maquettes numériques » sont alors prêtes



Le risque
d'inondation
sur l'Agglomération
de Nevers

Objectifs et
données pour
la construction
des modèles

Les modèles sont de vraies maquettes

Deux modèles ont été construits pour EGRIAN

Les modèles sont construits à partir de nombreuses données.

La modélisation globale va, en amont, de Decize sur la Loire et de Moulins sur la l'Allier, jusqu'à Saint-Satur en aval.

Elle « contient » le val de Nevers, qui lui, est modélisé de façon plus détaillée avec un modèle 2D.

L'architecture d'un modèle est une construction virtuelle dans laquelle les techniciens font couler une hydrologie décidée.

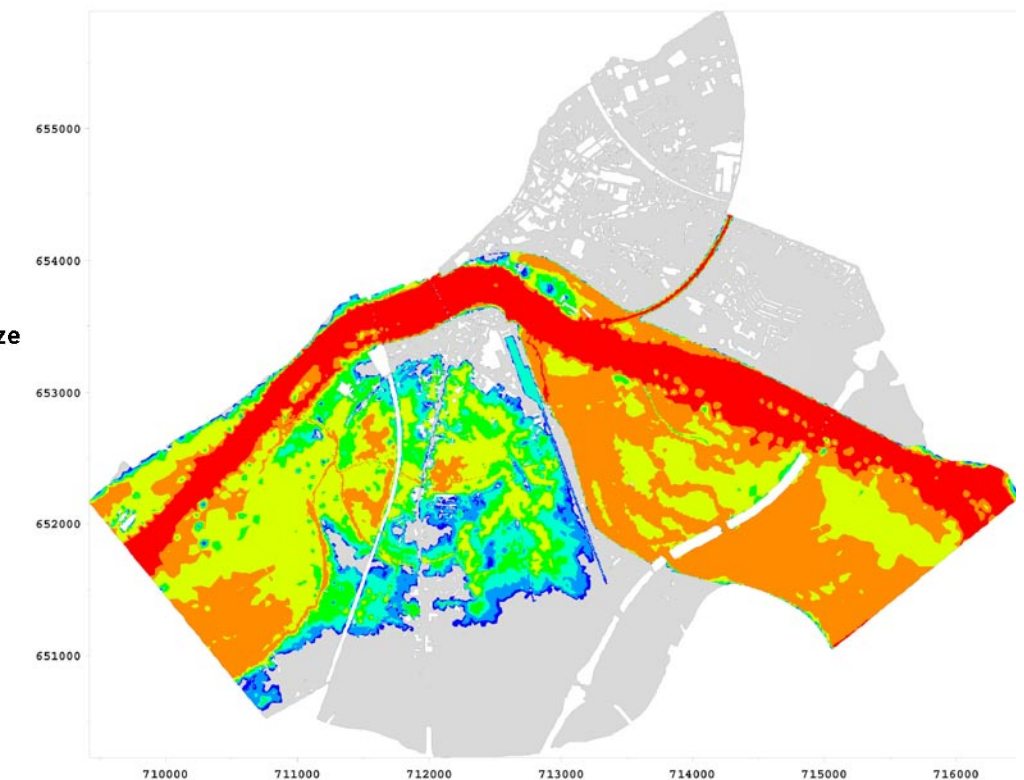
C'est cette maquette qui est calée en s'appuyant sur des crues très bien connues comme celle de décembre 2003.

Une fois au point, les maquettes numériques sont prêtes à calculer des résultats en fonction des crues choisies.



L'architecture des modèles doit être modifiée pour tester un aménagement

Si l'on veut tester un ouvrage dans le modèle, il faut en changer l'architecture. Il est alors possible, par comparaison des résultats, d'évaluer l'impact et même, grâce à l'étude des enjeux, estimer la différence concernant les dommages avec ou sans aménagement et le tout selon les différentes crues.



Deux modèles pour évaluer les aléas



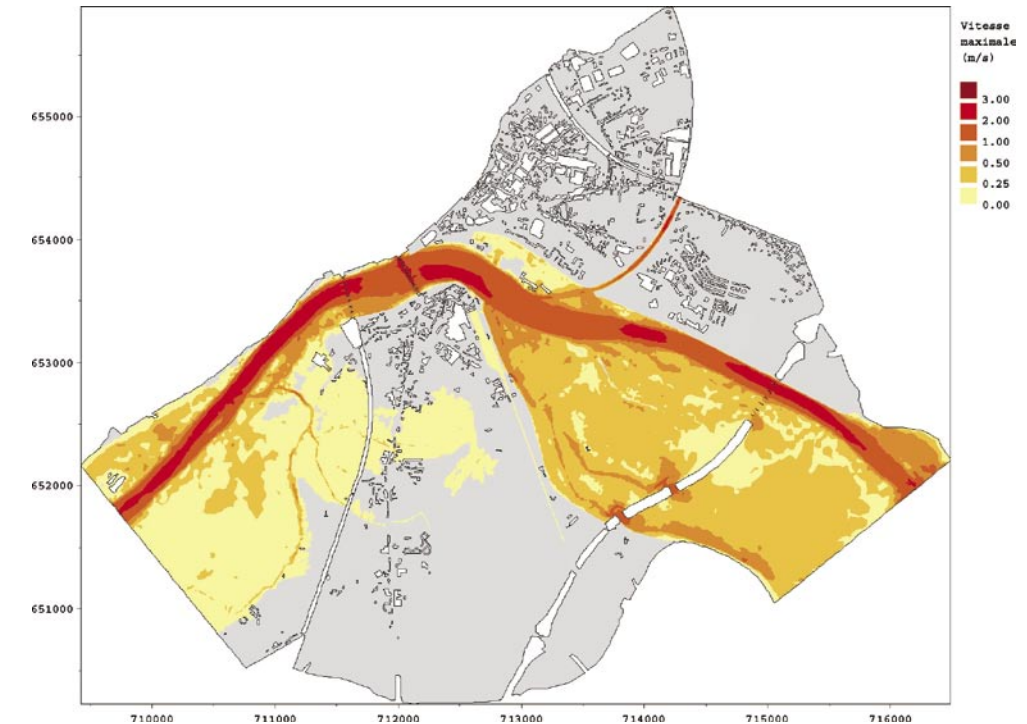
EGRIAN a pour objectif de proposer une stratégie globale et cohérente de réduction du risque d'inondation

Cette stratégie repose sur le calcul de l'aléa et des tests de scénarios qui seront réalisés à l'aide de deux modèles de simulation numérique de la propagation des crues :

- Le modèle global Hydrariv ADN2008, unidimensionnel, qui place l'agglomération de Nevers dans un contexte hydraulique étendu, depuis Decize et Moulins à l'amont jusqu'à Saint-Satur à l'aval.
- Le modèle local bidimensionnel sur les communes de l'agglomération entre la levée des Américains et l'amont du Bec d'Allier. Il affine l'étude à l'échelle de ces quartiers.

Ce document présente la construction des modèles :

- L'architecture de la modélisation globale dite « 1D » réalisée par Hydratec en 2008 avec le logiciel Hydrariv.
- L'architecture de la modélisation 2D, dite détaillée, réalisée par SOGREAH avec le logiciel TELEMAC-2D.



Sur l'adn, un système de protection asymétrique

2 séries de levées protègent la rive droite

En rive droite de la Loire, une première série de levées protège les quartiers de la Baratte et des Courlis en longeant la Loire et de chaque côté du canal de la Nièvre.

Une seconde série protège le faubourg de Mouësse et le centre-ville de Nevers en longeant la Nièvre et la Loire rive droite jusqu'au pont de Loire.

Le bouclage des levées isole de la crue.

Ces levées se ferment sur les coteaux sans permettre les remontées des eaux de crues par l'aval. Elles protègent les quartiers de l'inondation sauf en cas de rupture. Il n'y a pas de surverse car elles sont très hautes.

Lors des crues de la Loire, la Nièvre et son canal ne peuvent s'échapper et le vannage insuffisant de Coulanges inonde la zone industrielle de St Eloi.

Des levées continues protègent la rive gauche

En rive gauche de la Loire, la levée de Sermoise protège le quartier Saint-Antoine des expansions de crue directes depuis la Loire. Elle se prolonge par la levée du canal de Jonction, la levée de la Blanchisserie, la levée du plateau de Bonne Dame et la levée de Gimouille.

L'inondation par remous traverse le remblai SNCF en utilisant le ruisseau de Peully.



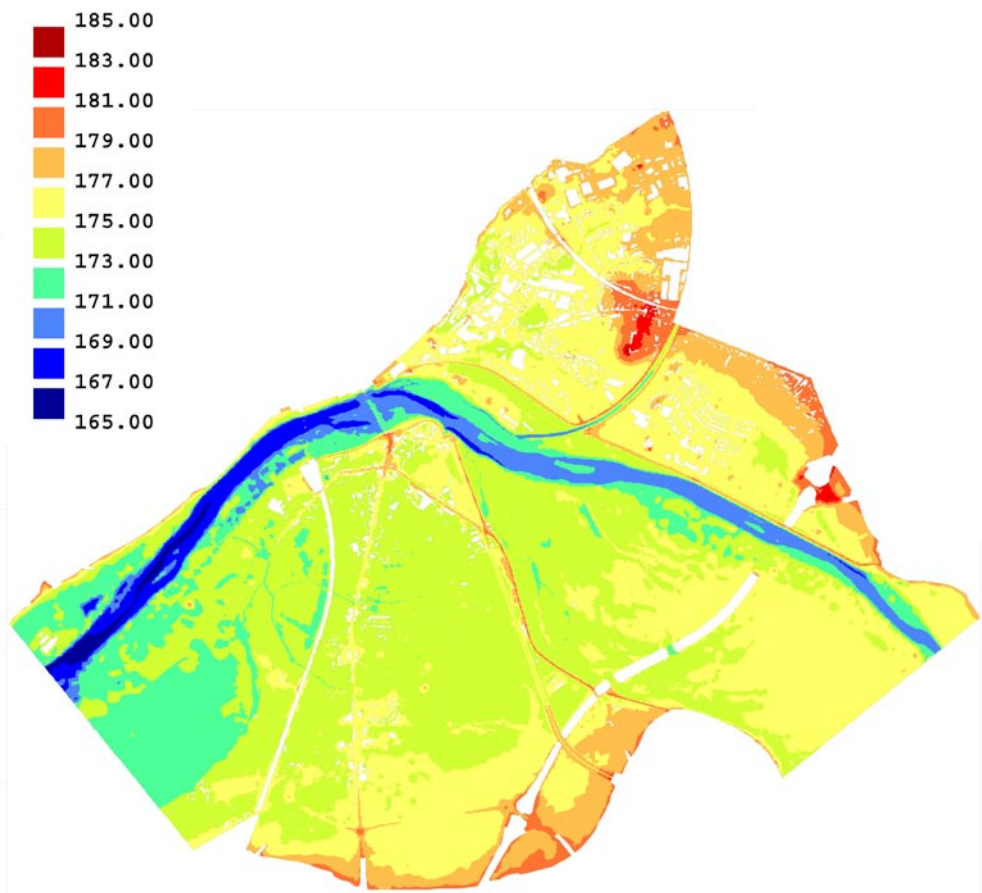
Les données proviennent de plusieurs sources

EGRIAN exploite plusieurs sources de données

La construction du modèle hydraulique repose sur des types de données fournies par l’adn et par d’autres sources.

Des données topographiques complémentaires ont été nécessaires pour parfaire les connaissances.

Topographie du val de Nevers
(m IGN69)



Types de données	Données	Sources
FONDS DE PLAN	SCAN 25	IGN
	Photos aériennes	ADN
DONNEES TOPOGRAPHIQUES	MNT de la zone d'étude	DIREN, traitée par GEOMEXPERT
	Profils bathymétriques et levés des ouvrages hydrauliques réalisés dans le cadre de l'étude EGRIAN - lit mineur	GEOMEXPERT
	Profils bathymétriques et levés des ouvrages hydrauliques réalisés dans le cadre de l'étude EGRIAN - lit majeur	STTP
	Profils topographiques récupérés du modèle Loire moyenne	HYDRATEC
DONNEES HYDROGRAPHIQUES HYDROLOGIQUES	Cours d'eau (Loire, Allier, Nièvre et affluents)	HYDRATEC-SOGREAH
	Hydrogrammes aux stations hydrométriques	DIREN
CRUES	PPRI - Cartographie de l'aléa inondation	DDE
	Repères de crues (localisations et cotes)	DIREN
	Limnigrammes aux stations hydrométriques	DIREN



Le risque
d'inondation
sur l'Agglomération
de Nevers

Architecture du
modèle 1D,
les limites
du modèle

Une modélisation globale 1D élargie

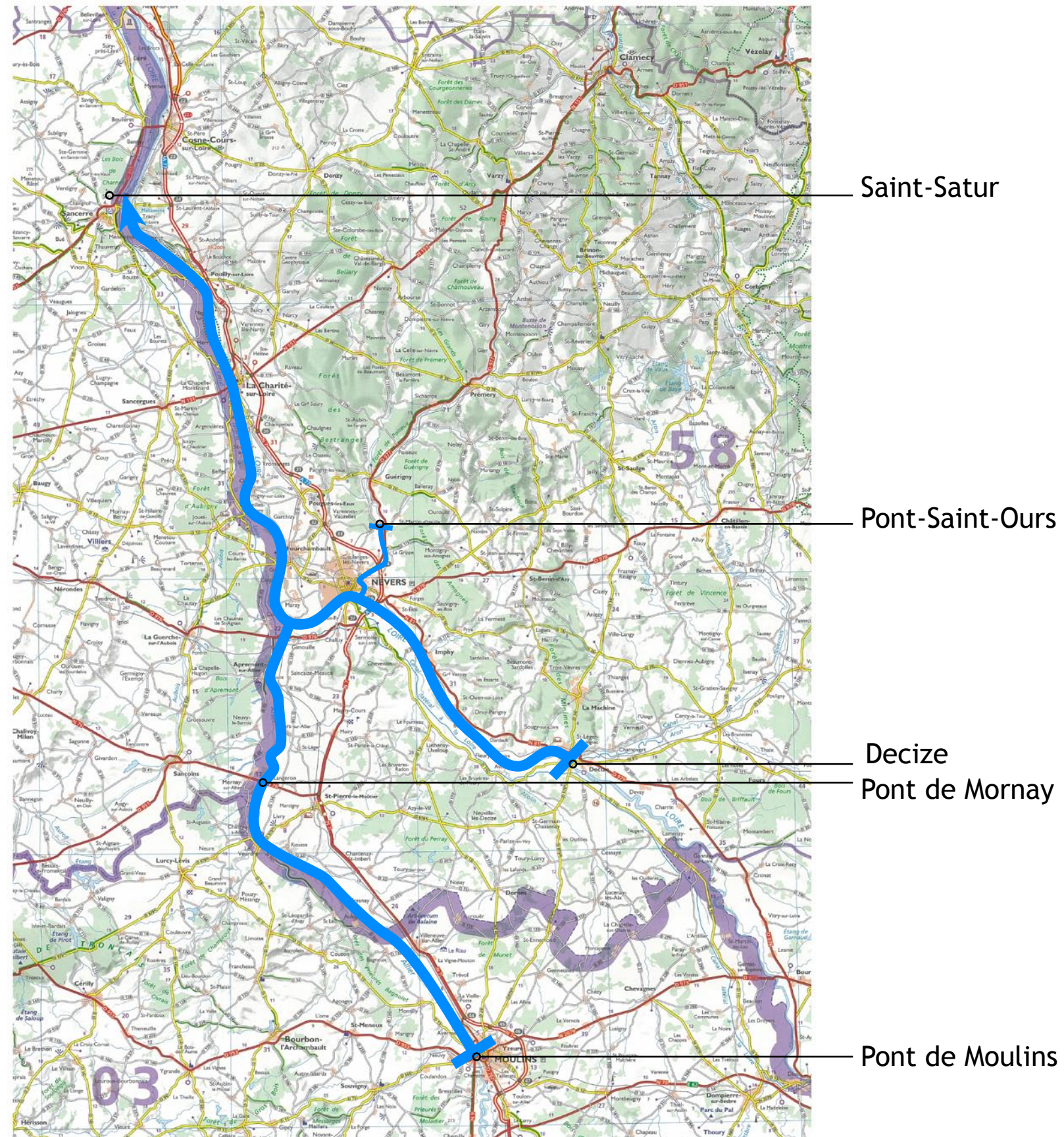
La modélisation globale EGRAN

La modélisation hydraulique, dite unidimensionnelle, réalisée par Hydratec, place l'agglomération de Nevers au cœur d'un réseau hydrographique étendu en amont et en aval, tant sur la Loire que sur l'Allier et la Nièvre.

200 km de rivières modélisés

Ainsi le périmètre d'étude modélisé comprend environ 200 km de cours d'eau, décomposés comme suit :

- 38 km de Loire de Decize au Bec d'Allier
- 55 km de Loire du Bec d'Allier à St Satur
- 60 km d'Allier de Moulins au Bec d'Allier
- 10 km de Nièvre et son canal de dérivation de Pont-St-Ours à la Loire
- 39 km de ruisseaux affluents

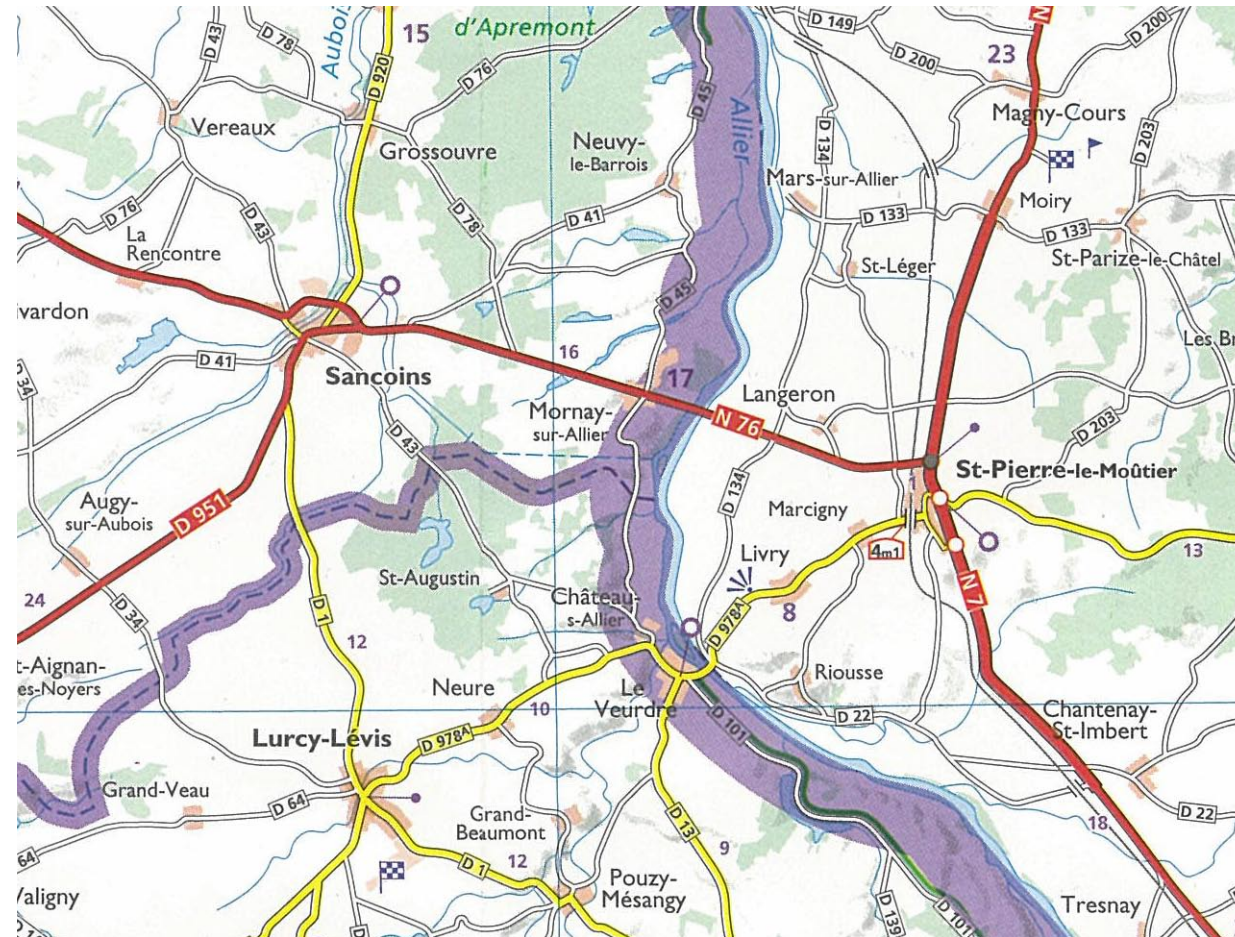


Moulins : limite amont du modèle 1D sur l'Allier

Moulins considérée comme entrée sur l'Allier, du fait de l'existence d'une station de mesure

Sur l'Allier, il est impératif de commencer le modèle à partir du pont de Mornay, situé à 23 km en amont du Bec d'Allier. Or, la station hydrométrique la plus proche se situe à Moulins, à plus de 55 km en amont du Bec d'Allier.

C'est donc ce dernier point qui a été choisi comme entrée du modèle hydraulique global sur l'Allier.

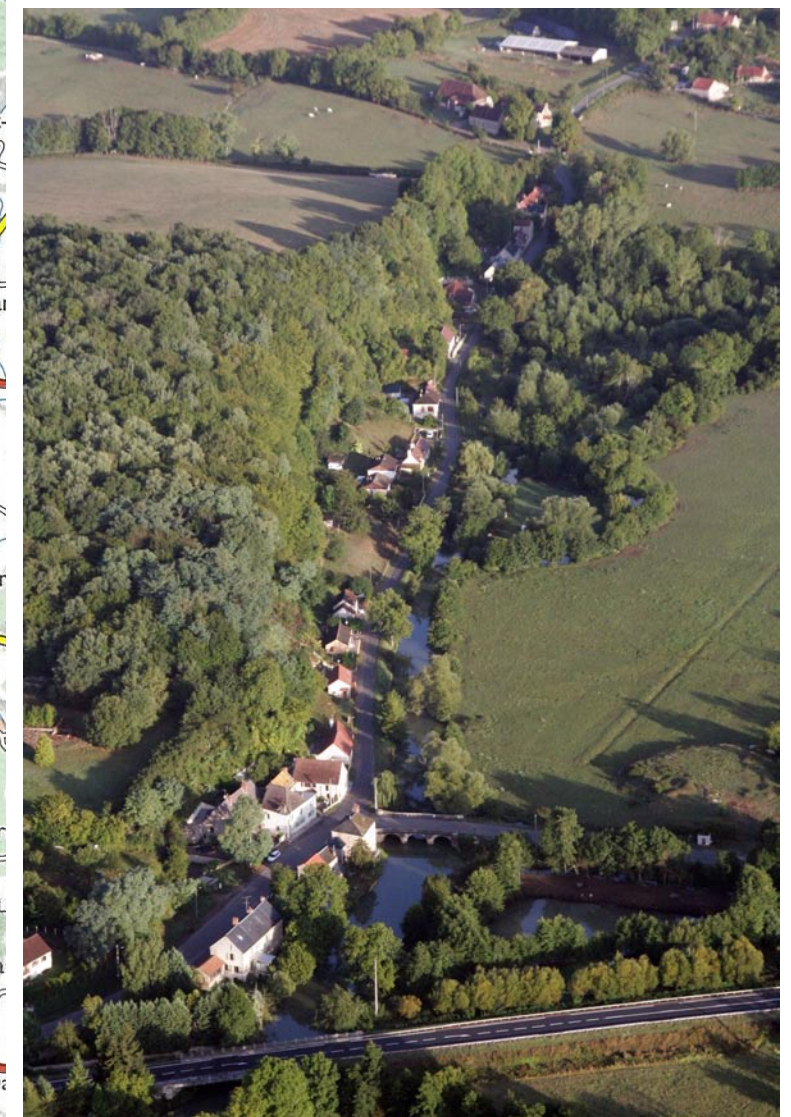
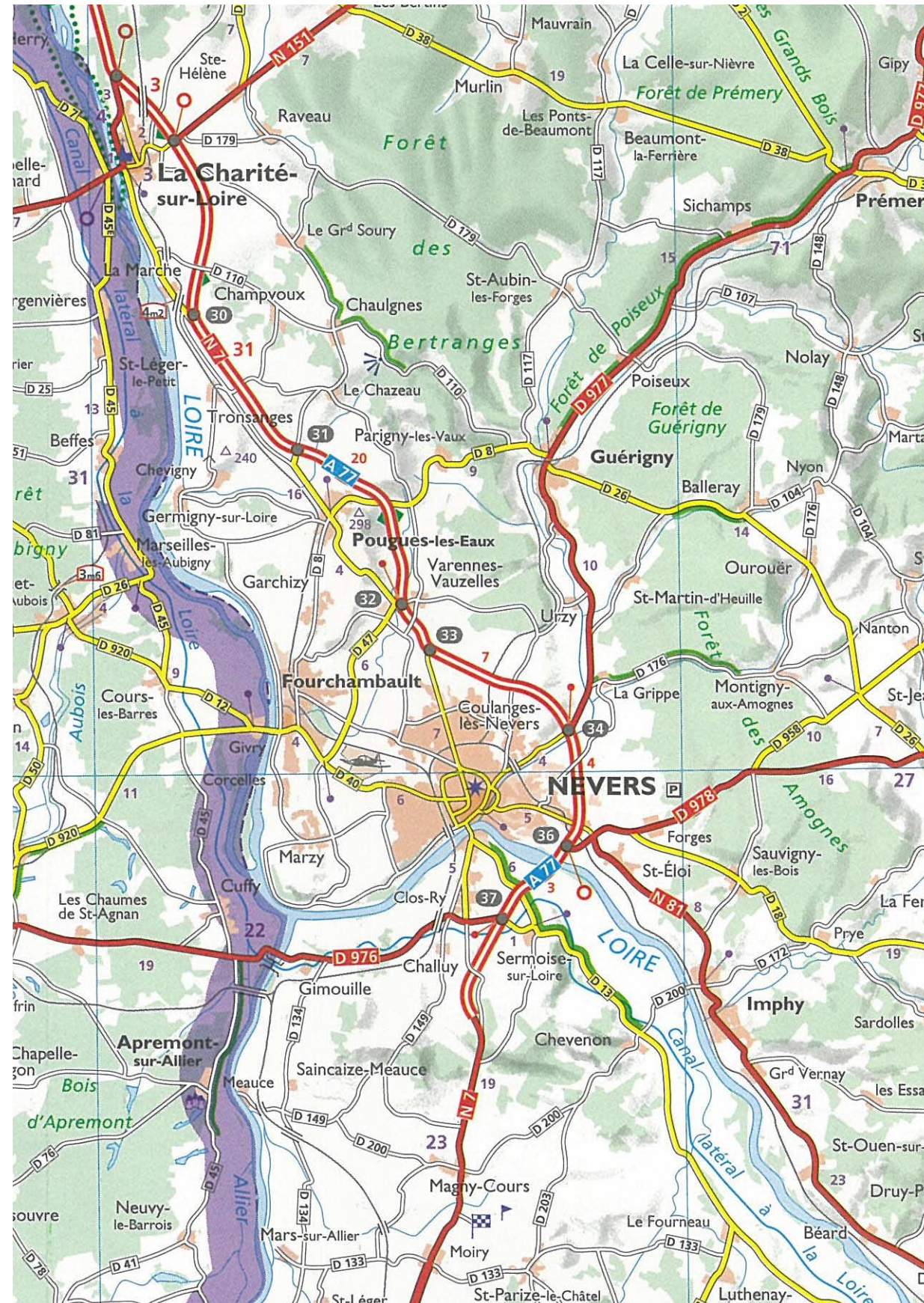


Pont-Saint-Ours : limite amont 1D sur la Nièvre

L'entrée du modèle est à Pont-Saint-Ours

La Nièvre a été modélisée depuis Pont-Saint-Ours jusqu'à la confluence avec la Loire, dans la ville de Nevers, juste à l'amont du Pont de Loire.

Le canal, lui, a été modélisé sur toute sa longueur.



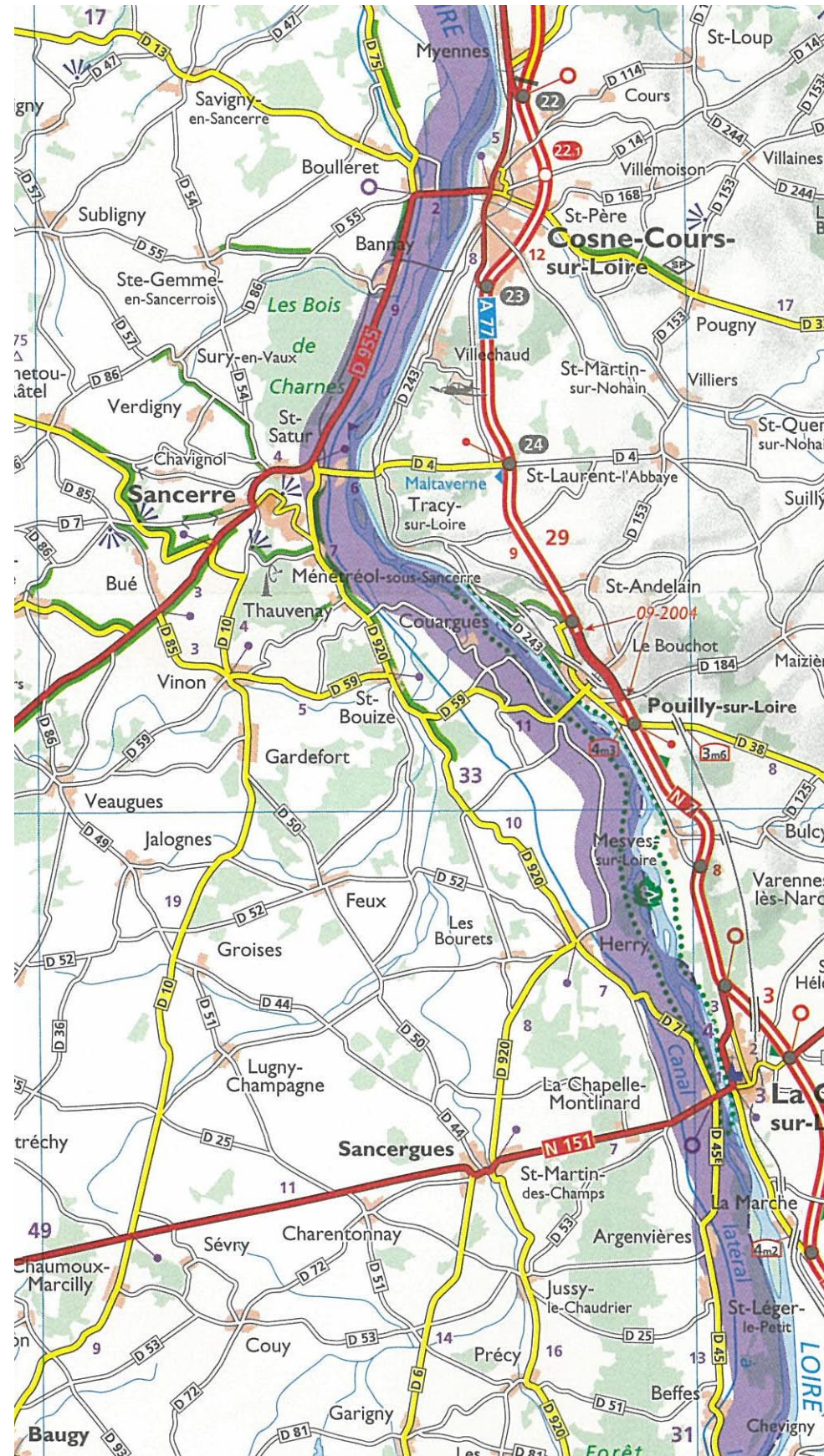
Saint-Satur : limite aval du modèle 1D

Saint-Satur choisi comme limite aval, pour ne pas être influencé en cas de brèche

Le modèle hydraulique s'arrête sur la Loire à Saint-Satur.

La condition de limite aval est choisie à St-Satur afin de terminer le modèle par un point de contrôle non influencé par les hypothèses de rupture de levée.

Il fallait aussi que tout le débit passe dans le lit majeur sans écoulement parallèle dans les vals. Cette limite rend cohérent le nouveau modèle ADN2008 avec le modèle Loire Moyenne.



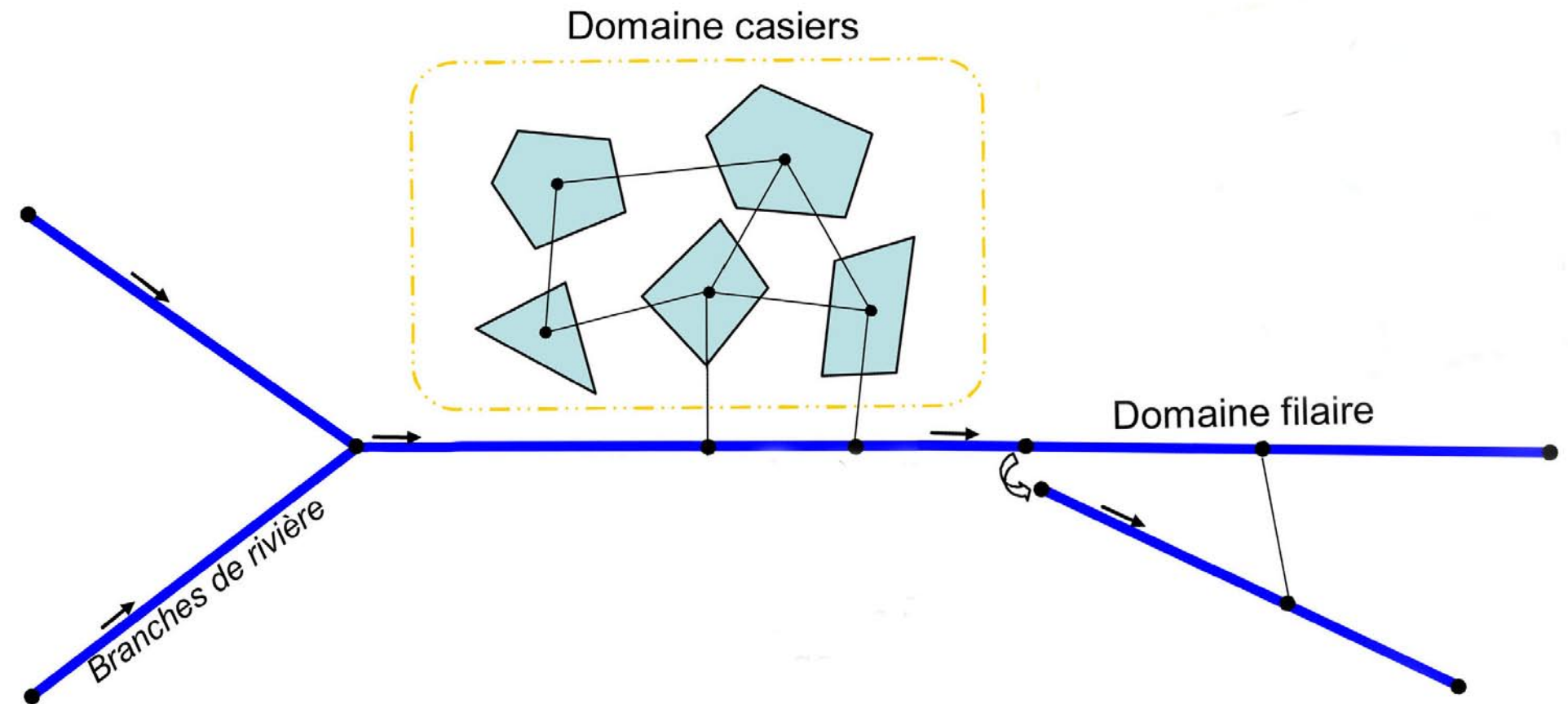
Plusieurs entités construisent le modèle 1D

Pour le modèle 1D, trois composants et des liaisons

Compte tenu de l'étude « diagnostic global » et de l'étude des scénarios d'aménagement, un schéma mixte de modélisation a été choisi, comprenant :

- Une schématisation « filaire » des lits mineurs ainsi que des zones d'écoulements des lits majeurs de la Loire, de l'Allier et de la Nièvre.
- Une schématisation « casiers » de l'agglomération de Nevers, rive droite et rive gauche, et des vals de Loire situés rive gauche en aval du Bec d'Allier.
- Des singularités multiples représentant des ouvrages hydrauliques particuliers ou des ponts.

La connexion des différents domaines est assurée par des liaisons hydrauliques, de natures différentes selon la topographie ou le type d'ouvrage.





Le risque
d'inondation
sur l'Agglomération
de Nevers

Architecture 1D,
un fin
découpage en
biefs et casiers

Le modèle 1D EGRIAN, une succession de 62 biefs

205 km de cours d'eau modélisés

Le domaine filaire concerne d'une part le cours « régulier » des rivières modélisées, à savoir la Loire, l'Allier et la Nièvre et d'autre part, les thalwegs d'écoulement marqués dans le lit majeur.

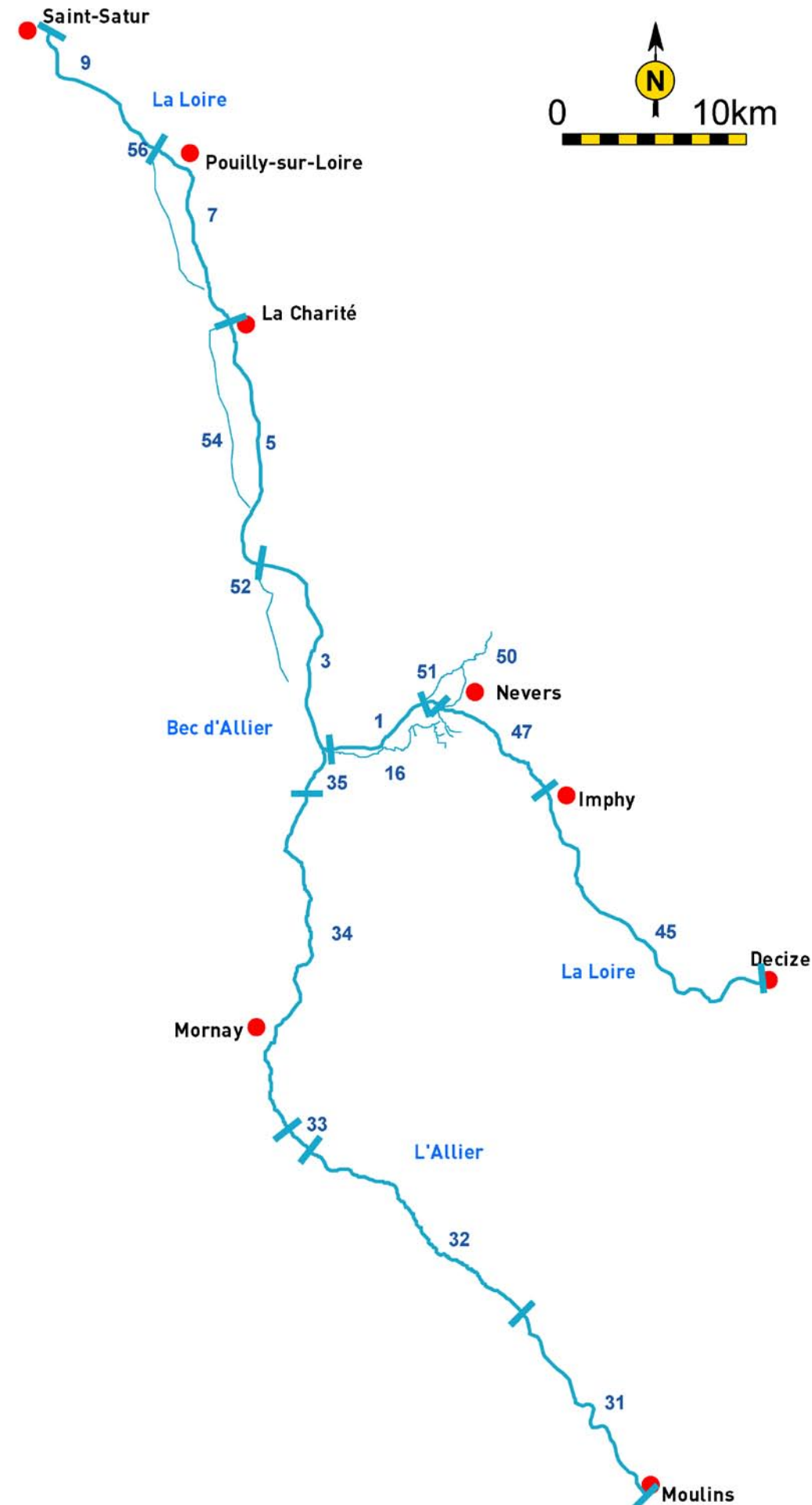
Le modèle comprend ainsi un linéaire de cours d'eau de 205 km. Il est décomposé en 28 biefs, définis par un numéro, un point kilométrique amont et un point kilométrique aval.

Des biefs numériques découpent les rivières

Un bief est normalement un tronçon de canal limité par deux écluses. Par extension, le bief est un tronçon de rivière situé entre deux points kilométriques. Les différents biefs n'ont qu'un rôle purement numérique. Hormis pour les confluences, leur découpage est arbitraire. Il peut y avoir un seul écoulement (écoulement unique) ou plusieurs (lit en tresse).

Les thalwegs ou affluents du val

Un thalweg, ou talweg, est la ligne qui rejoint les points les plus bas d'une vallée. Il correspond à la ligne de collecte des eaux. Pour la Loire, c'est souvent ce que l'on appelle l'affluent du val tels que le ruisseau de Peully, la Canche...



Modèle 1D : différents profils en travers

Les vallées n'ont pas toutes le même profil

Plusieurs types de profils en travers sont disponibles sous HYDRARIV :

- Les sections de rivière.
- Les sections de vallée dissymétrique. Les profils de section symétriques sont utilisés sur les anciens modèles de la Loire amont et de l'Allier.

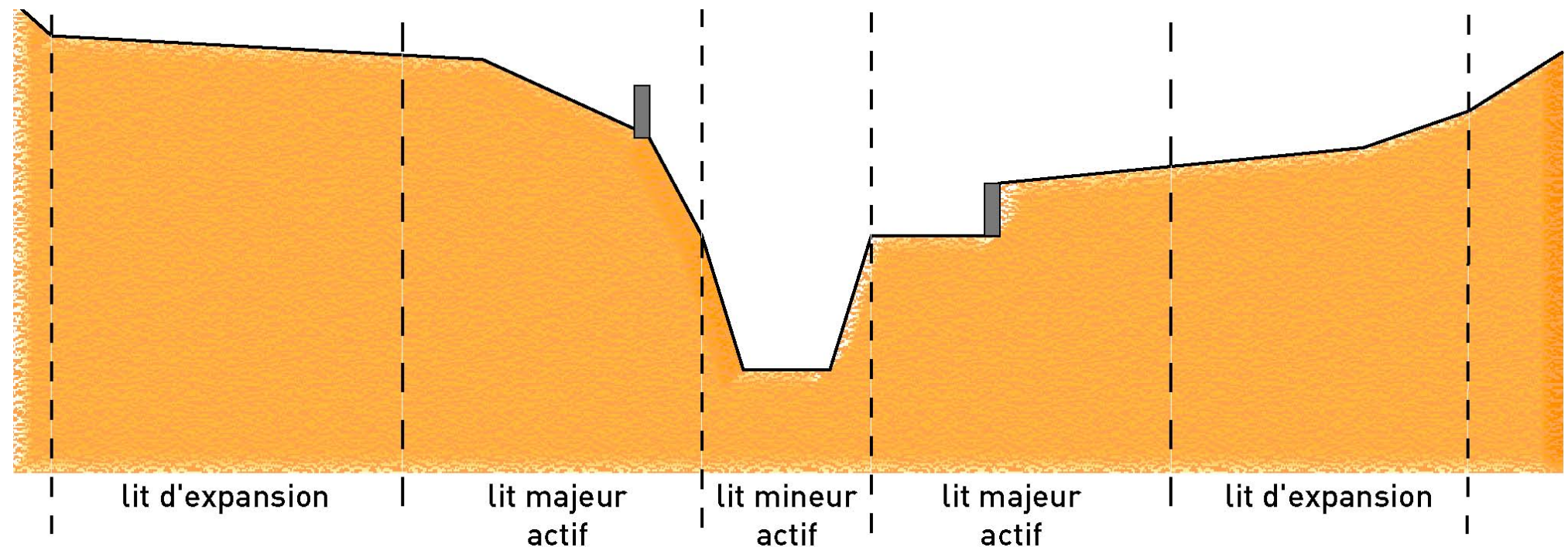
Les vallées ne sont pas toutes symétriques

Les profils de section de vallée permettent de prendre en compte la dissymétrie rive droite - rive gauche.

Trois secteurs d'écoulement bien différents

Des zones d'écoulements dans la direction transversale sont distinguées dans le module de calculs :

- Le lit mineur où coule l'eau en l'absence de débordement.
- Le lit majeur actif qui participe à l'écoulement longitudinal en vallée après débordement.
- Le lit d'expansion qui simule les poches de stockage et d'accumulation dans le lit majeur.

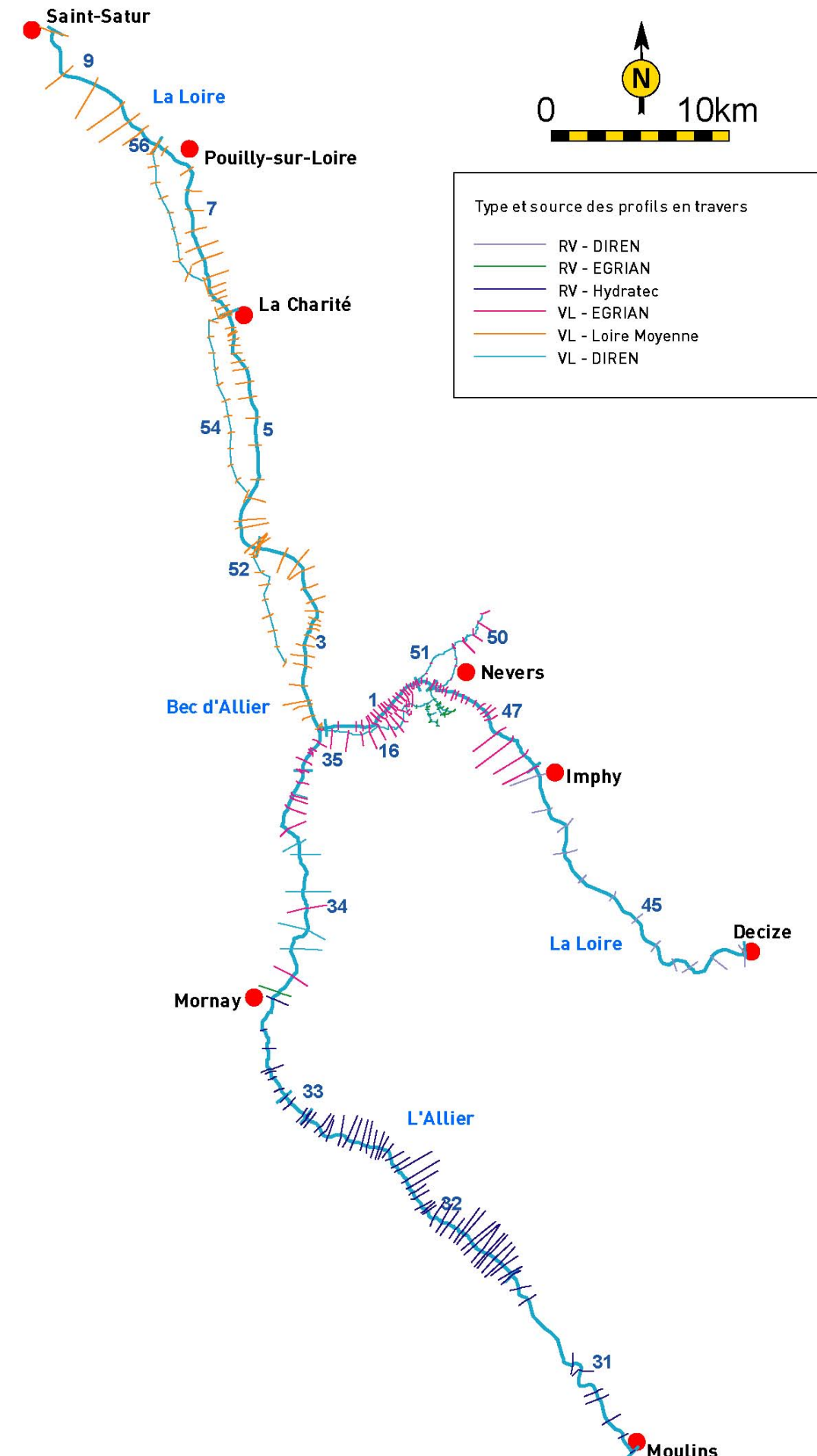


Modèle 1D : provenance des profils en travers

Plusieurs sources pour les profils en travers

Les profils en travers utilisés pour construire le modèle hydraulique global proviennent de différentes sources, à savoir :

Rivière	Source	Type	Date
Loire moyenne	Modèle Loire moyenne	VL	1995
Loire amont	DIREN (Bonnie-Lassalle)	RV	1996
Loire ADN lit mineur	Etude EGRIAN GEOMEXPERT	VL	2007
Loire ADN lit majeur	Etude EGRIAN STTP		
Allier amont	Modèle Hydratec de 1988	RV	1988
	DIREN (Bodin)	RV	1996
Allier ADN lit mineur	Etude EGRIAN GEOMEXPERT		
Allier ADN lit majeur	Etude EGRIAN STTP	VL	2007
Nièvre lit mineur	Etude EGRIAN GEOMEXPERT		
Nièvre lit majeur	Etude EGRIAN STTP	VL	2007
Thalwegs	Profils Hydratec issus du MNT EGRIAN	RV	2007



Aux limites du modèle 1D, l'injection des débits

Le modèle 1D est alimenté par des hydrogrammes de crues

- Des hydrogrammes de crues historiques.
- Des hydrogrammes de crues de projet issus de l'étude hydrologique qui est cohérente avec l'étude « Loire Moyenne ».

Un hydrogramme est la courbe qui représente l'évolution du débit du cours d'eau dans le temps.

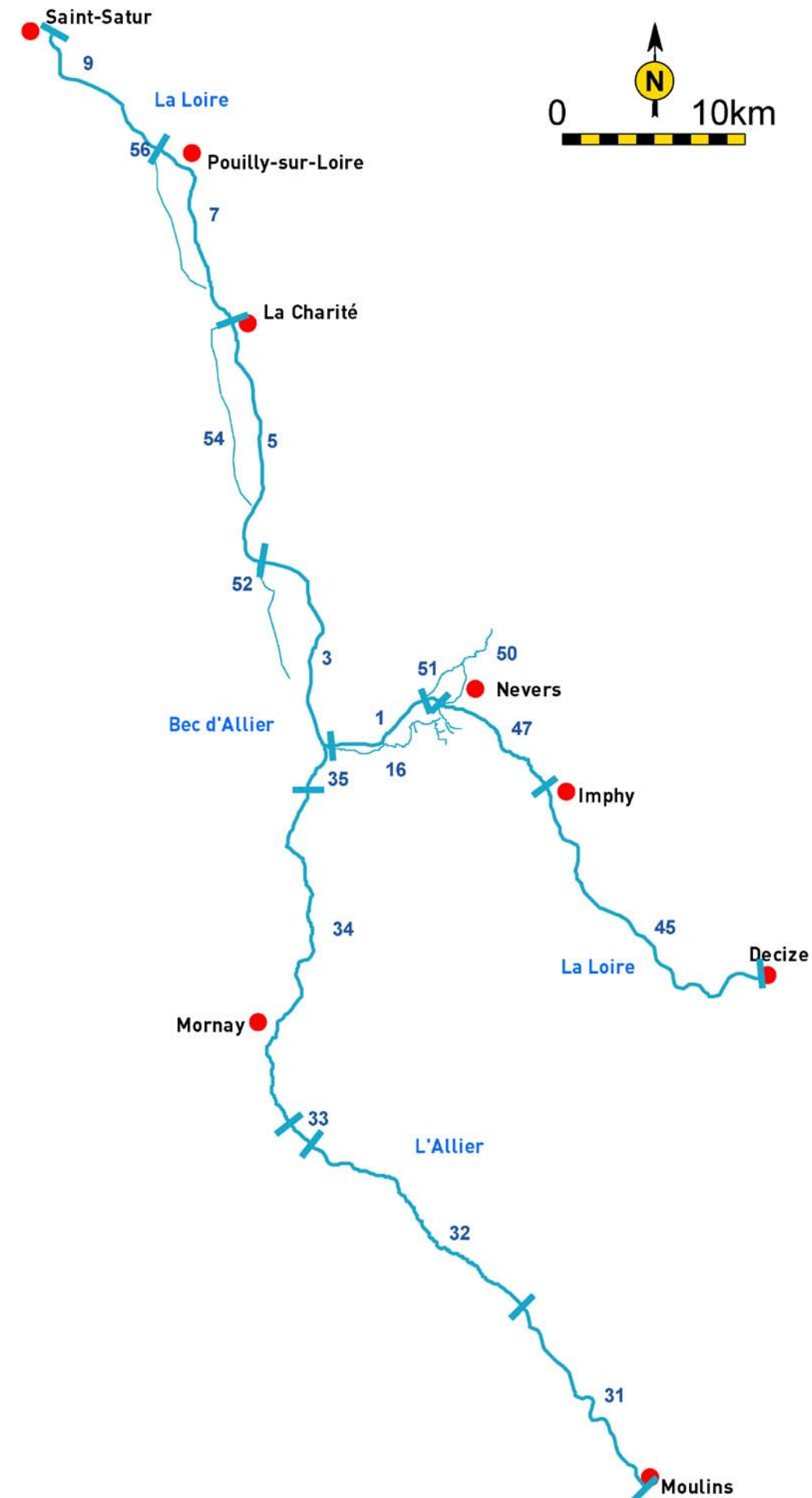
Les principaux points d'injection sont les limites du filaire du modèle 1D

- Decize pour la Loire.
- Moulins pour l'Allier.
- Pont-Saint-Ours pour la Nièvre.

Par ailleurs, des apports d'affluents ont été pris en compte. Il s'agit de :

- La Queune, la Burge et la Bieudre sur l'Allier,
- L'Acolin sur la Loire amont.

Pour les ruisseaux de la Canche, de Châteauvert et du Lacqui qui traversent les vals situés en aval du Bec d'Allier, un débit constant de $2 \text{ m}^3/\text{s}$ est injecté. Il faut en effet relativiser le débit de ces ruisseaux par rapport à celui, en milliers de m^3/s , de la Loire.



La limite aval du **modèle 1D** global

Le modèle global 1D EGRIAN se relie au modèle Loire Moyenne à Saint-Satur

Le modèle filaire se termine sur la Loire à la station limnimétrique de Saint-Satur, au PK 1058,9.

La limite aval est choisie à St-Satur, afin de couvrir l'ensemble du territoire de l'agglomération de Nevers et de terminer le modèle par un point de contrôle non influencé par les hypothèses de rupture de levée, ce qui aurait été le cas de la Charité-sur-Loire par exemple.

La limite amont du modèle Loire moyenne était au pont de Nevers. Elle a été reprise dans l'hydrologie du modèle 1D pour lier les deux outils. De même, le modèle 2D se raccroche au modèle 2D à la fois, en amont, sur la levée des Américains et en aval au niveau de Gimouille.

La limite aval du modèle est une relation débit/cote issue du modèle « Loire moyenne » ce qui permet de rester cohérent avec les résultats de cette étude



Crue décembre 2003

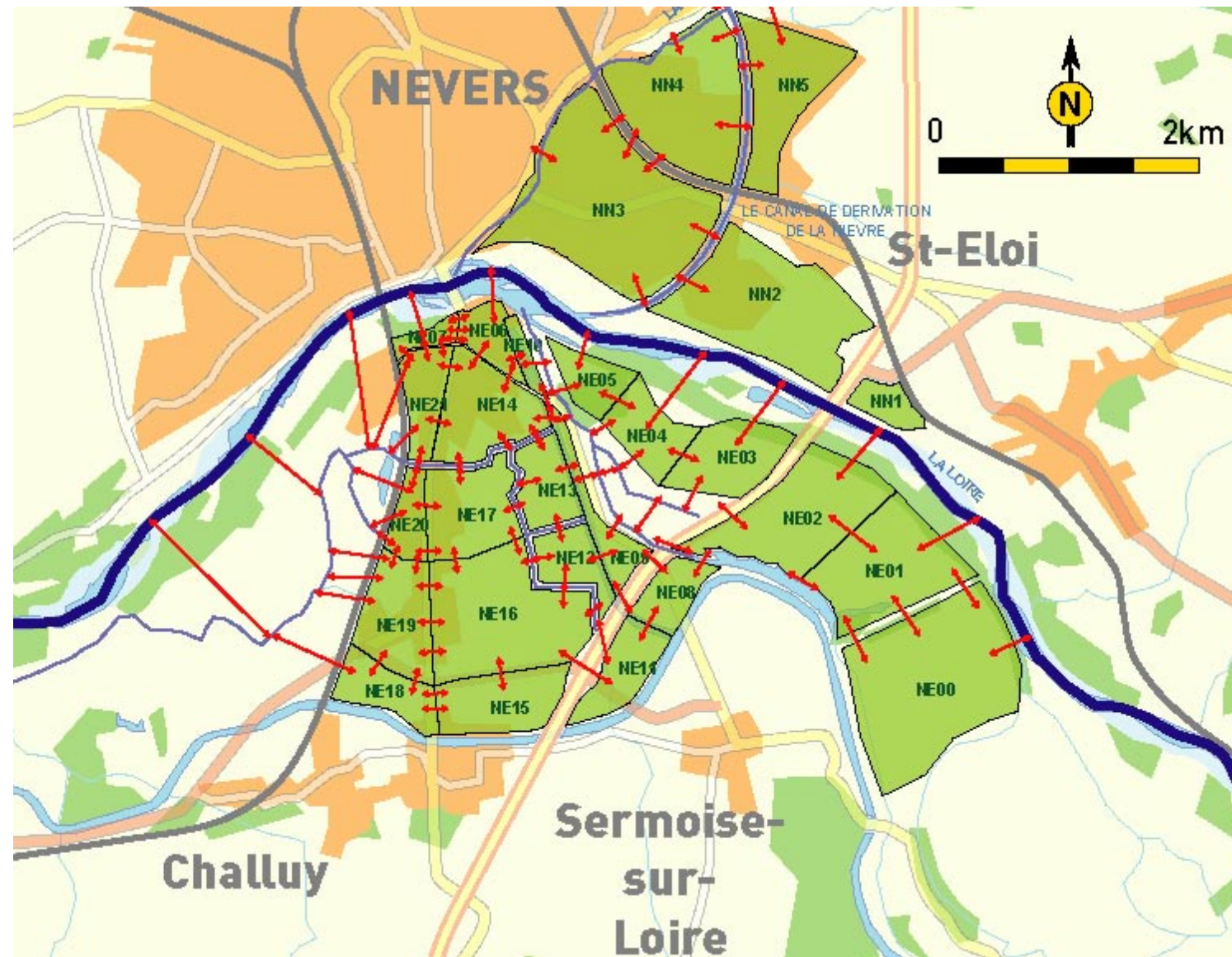
41 casiers complètent les filaires du modèle 1D

Il est possible de situer a priori les casiers :

- Dans les vals qui constituent des zones de faibles écoulements.
- Dans certaines parties du lit majeur, où les écoulements sont faibles, car situés dans l'ombre hydraulique d'un ouvrage ou d'un obstacle.

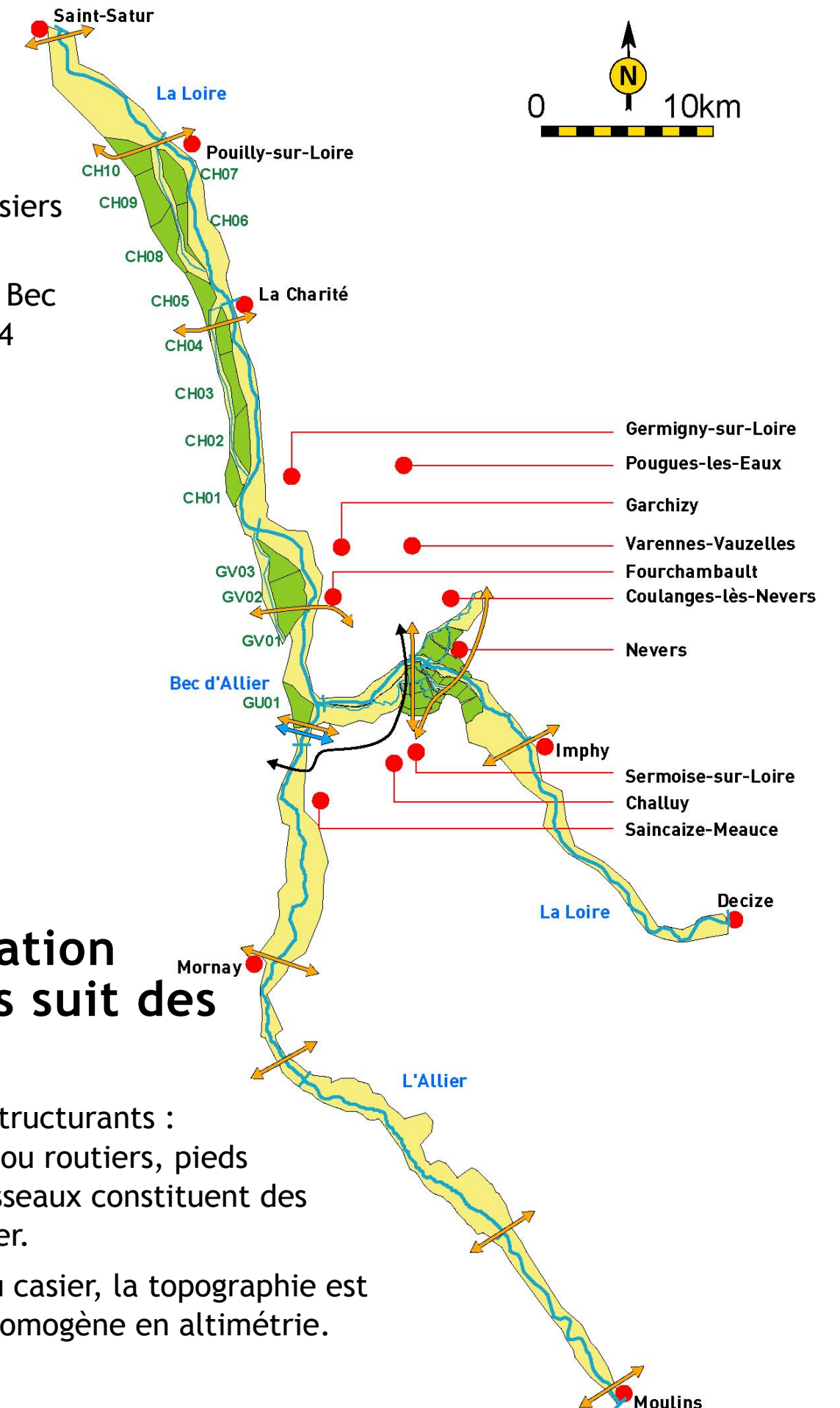
41 casiers ont été modélisés :

- Dans l'agglomération de Nevers, soit 5 casiers en rive droite et 22 en rive gauche.
- Dans les vals de la Loire situés en aval du Bec d'Allier et protégés par des levées, soit 14 casiers, tous situés en rive gauche.



Etude EGRIAN - Diagnostic-Architecture 1D-2D

Minea - Avril 2009 - Sources Hydratec et Sogreah



La délimitation des casiers suit des règles :

- Les obstacles structurants : remblais SNCF ou routiers, pieds de coteau, ruisseaux constituent des limites de casier.
- A l'intérieur du casier, la topographie est relativement homogène en altimétrie.



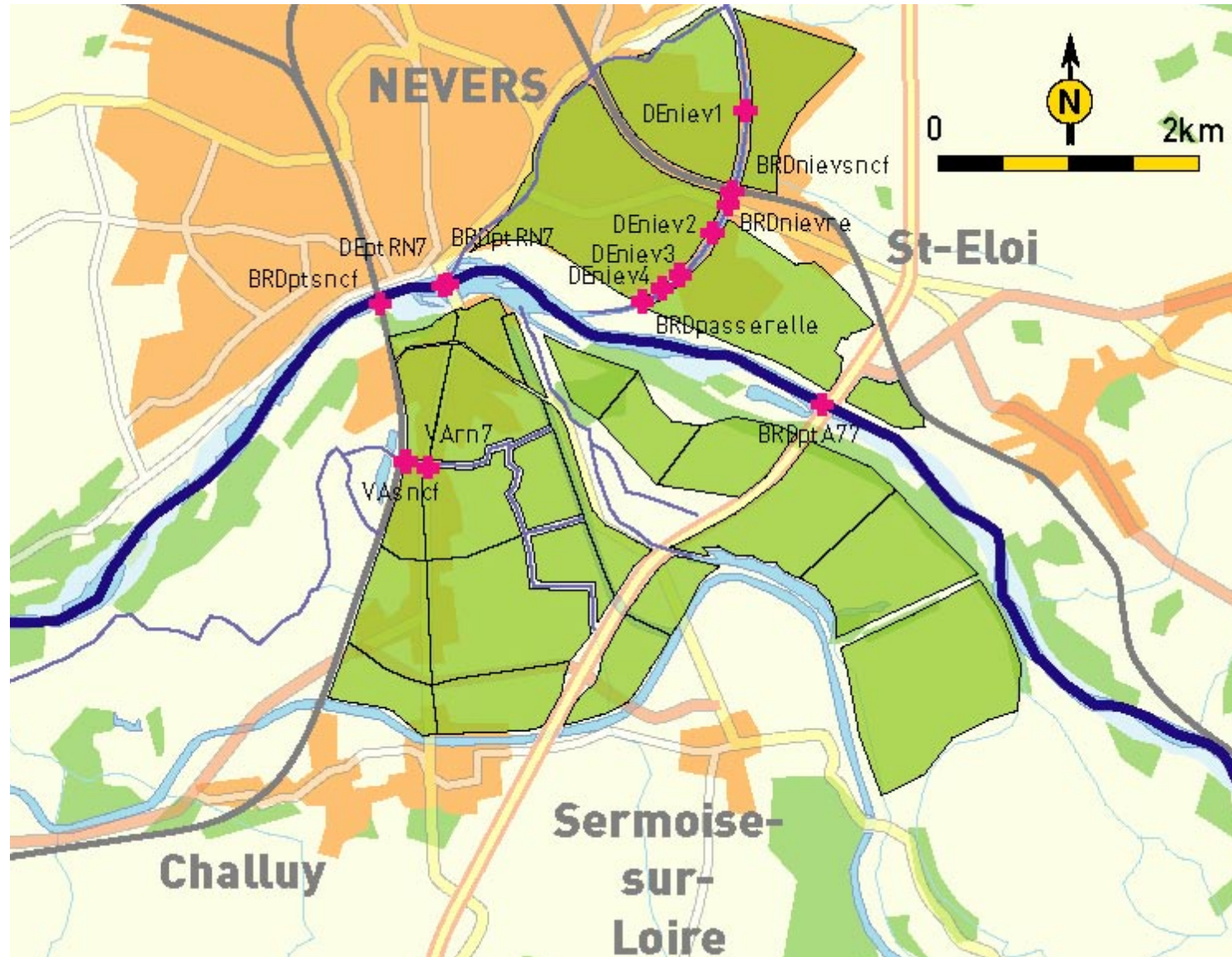
Le **risque**
d' **inondation**
sur l' **Agglomération**
de **Nevers**

**Architecture 1D,
les singularités
hydrauliques
modélisées**

Modèle 1D : les singularités hydrauliques

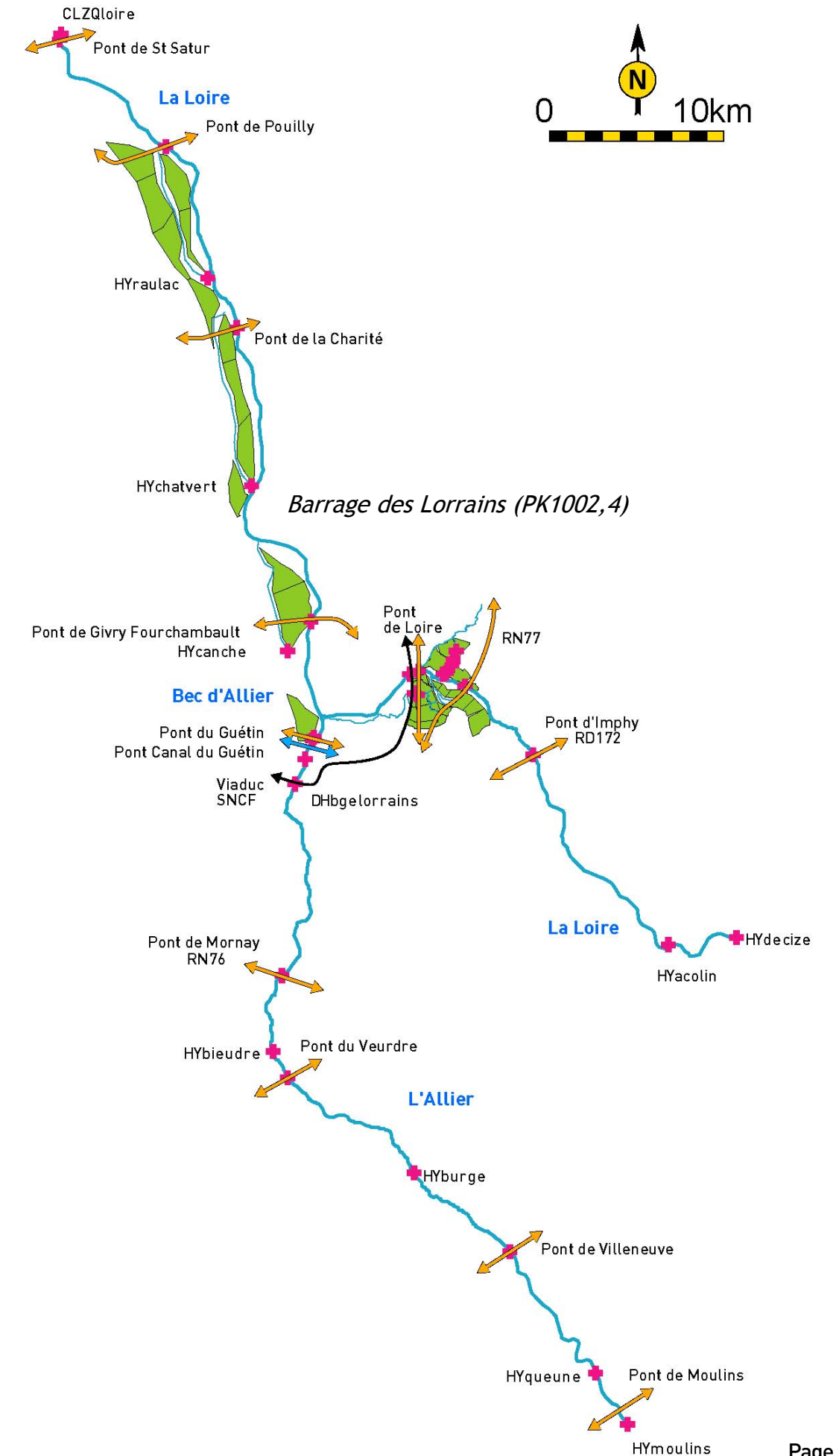
Les obstacles aux écoulements sont pris en compte de manière spécifique

Les singularités hydrauliques correspondent à des seuils transversaux de type barrage ou vannage, et à des ponts, piles et tabliers qui, quelquefois, sont associés à des ouvrages de décharge et qui comportent souvent des accès avec des remblais.



Etude EGRIAN - Diagnostic-Architecture 1D-2D

Minea - Avril 2009 - Sources Hydratec et Sogreah



Modèle 1D : les seuils de la Nièvre et de l'Allier

La Nièvre est doublée par un canal, lui-même recoupé par 4 seuils

Le canal de dérivation de la Nièvre comporte plusieurs seuils transversaux. Quatre d'entre eux, pour lesquels des données géométriques étaient disponibles, ont été modélisés par l'intermédiaire d'un module « seuil transversal » (DE).

Ce module utilise les lois de seuil classiques et permet de tenir compte de l'effacement progressif du seuil avec l'augmentation du débit.

L'Allier a subi des aménagements destinés à la navigation sur le canal



Seuils sur le canal de dérivation de la Nièvre

Pont canal, seuil sur l'Allier



Modèle 1D : la modélisation des ponts

Les ponts sont eux aussi modélisés de façon spécifique

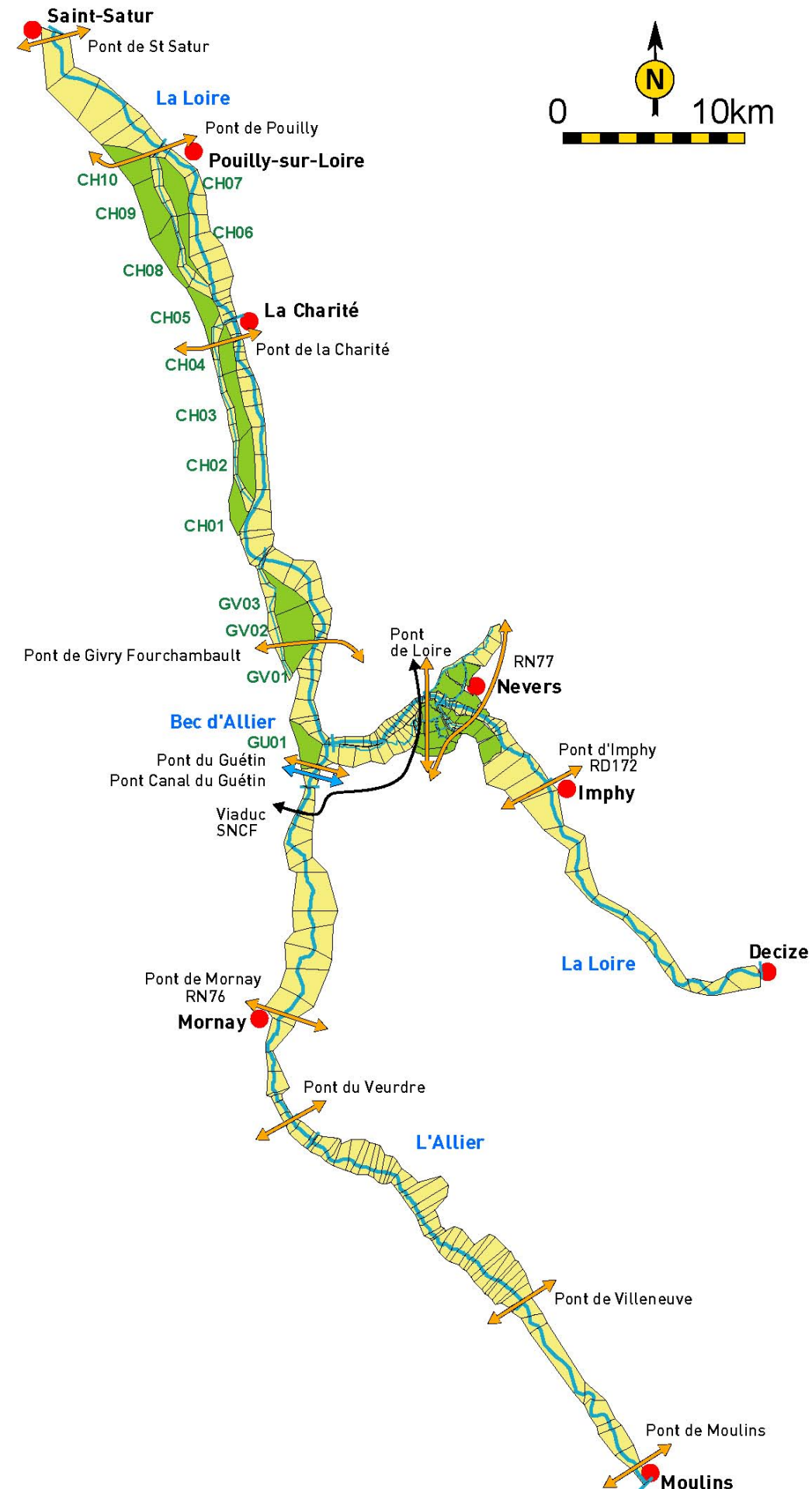
Les ouvrages de franchissement sont représentés par différents modules :

- Un module appelé « Bradley » (BRD) qui calcule les pertes de charges en fonction du débit et de la géométrie du pont (piles, culées, cote de fond, cote de voûte).
- Un module « perte de charge paramétrique » (DH) qui induit des pertes de charge selon une loi préalablement définie : Q / DH .
- Un module « seuil transversal » (DE) qui peut être utilisé lorsque le radier du pont forme un seuil transversal à l'écoulement. Ce module utilise les lois de seuil classiques et permet de tenir compte de l'effacement progressif du seuil avec l'augmentation du débit.

Certains ponts sont associés à des seuils et à des remblais

Par ailleurs, certains ouvrages de franchissement sont associés à des ouvrages de décharge qui permettent, en période de crue, de réduire le débit passant sous le pont et ainsi de retarder sa mise en charge.

De plus, lors de très fortes crues, les ponts peuvent se mettre en charge et des surverses au dessus des remblais d'accès peuvent alors se produire.



Les ponts de l'adn modélisés sur la Loire



Pont d'Imphy (PK990,43)



Pont de l'A77 (PK996,8)



Pont de Nevers RN7 (PK1000)

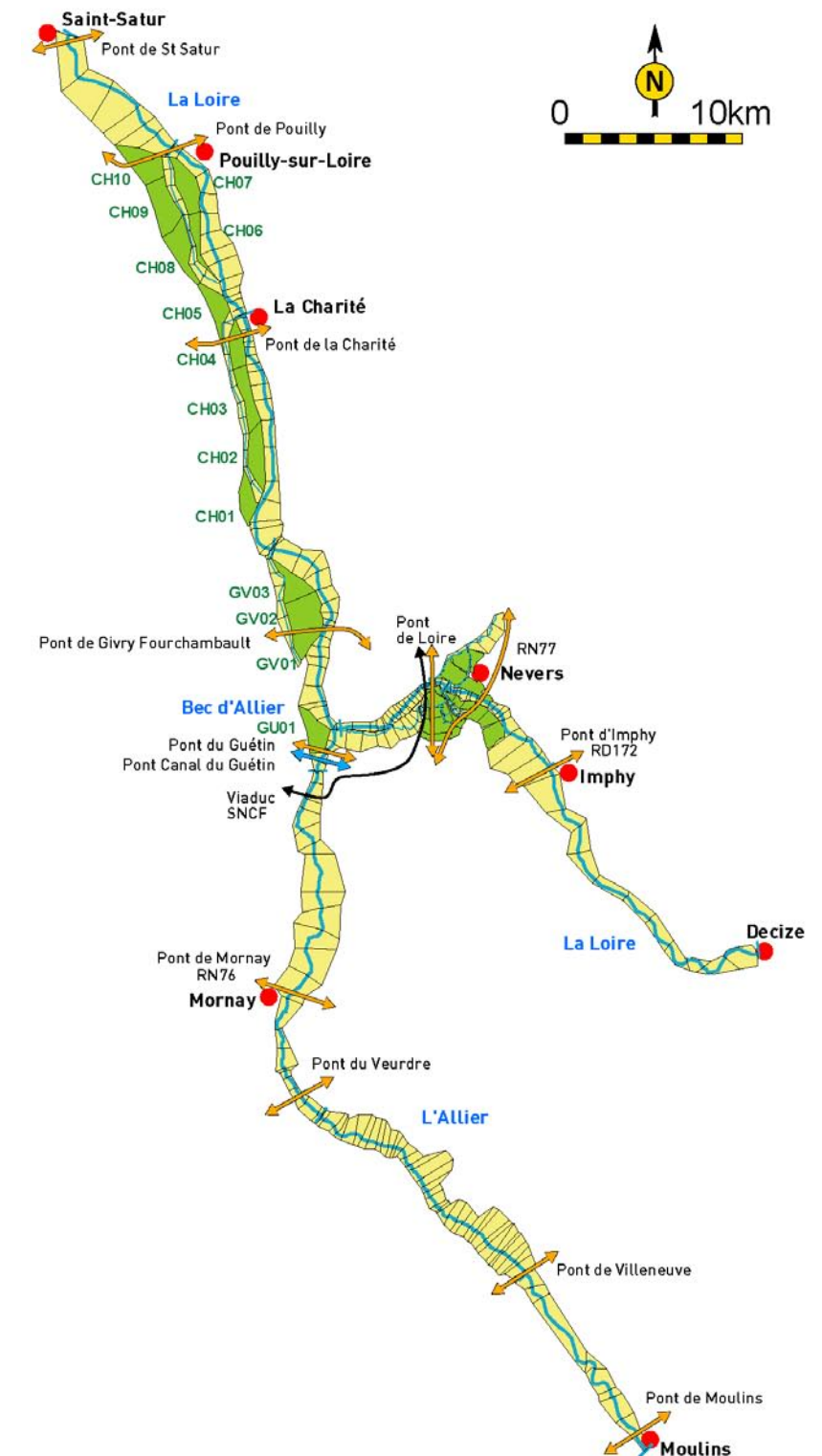


Pont SNCF de Nevers RN7 (PK1000,5)



Pont de Fourchambault (PK1013,34)

Tous les ponts ont été modélisés sur l'emprise du modèle global.



Le pont de Loire à Nevers

En l'absence de brèche, toute la crue doit passer dessous

Principal obstacle sur la Loire en amont du Bec d'Allier, il est important d'évaluer les sollicitations du pont lors des crues et d'estimer le débit maximal pouvant y passer.

Le pont de pierres sur la Loire a été construit entre 1767 et 1832 par Louis de Régemortes. Il a résisté aux crues de 1846, 1856, 1866 et 1907.

D'après un rapport de l'Ingénieur en Chef datant de 1866, « le pont de pierres sur la Loire à Nevers se compose de 14 arches de 19,48 m de longueur à la naissance des voûtes et d'une arche de halage de 10 m d'ouverture. » Un levé de géomètre, plus récent, indique que la largeur des 14 arches du pont varie entre 18,30 m et 19,50 m. L'arche de halage a, quant à elle, été bouchée.

Face à cette situation, Hydratec a élaboré un calcul spécifique

Pour un débit de $5\,500 \text{ m}^3/\text{s}$, la cote d'eau en amont du pont atteint quasiment la cote de 178,43 m NGF. Le tirant d'air n'est alors que de 25 centimètres. La capacité maximale du pont, avant sa mise en charge, se situe donc dans cet ordre de débit.



Les ponts et seuils modélisés sur l'Allier



Pont de Mornay (PK988,6)



Pont canal (PK1005,33)



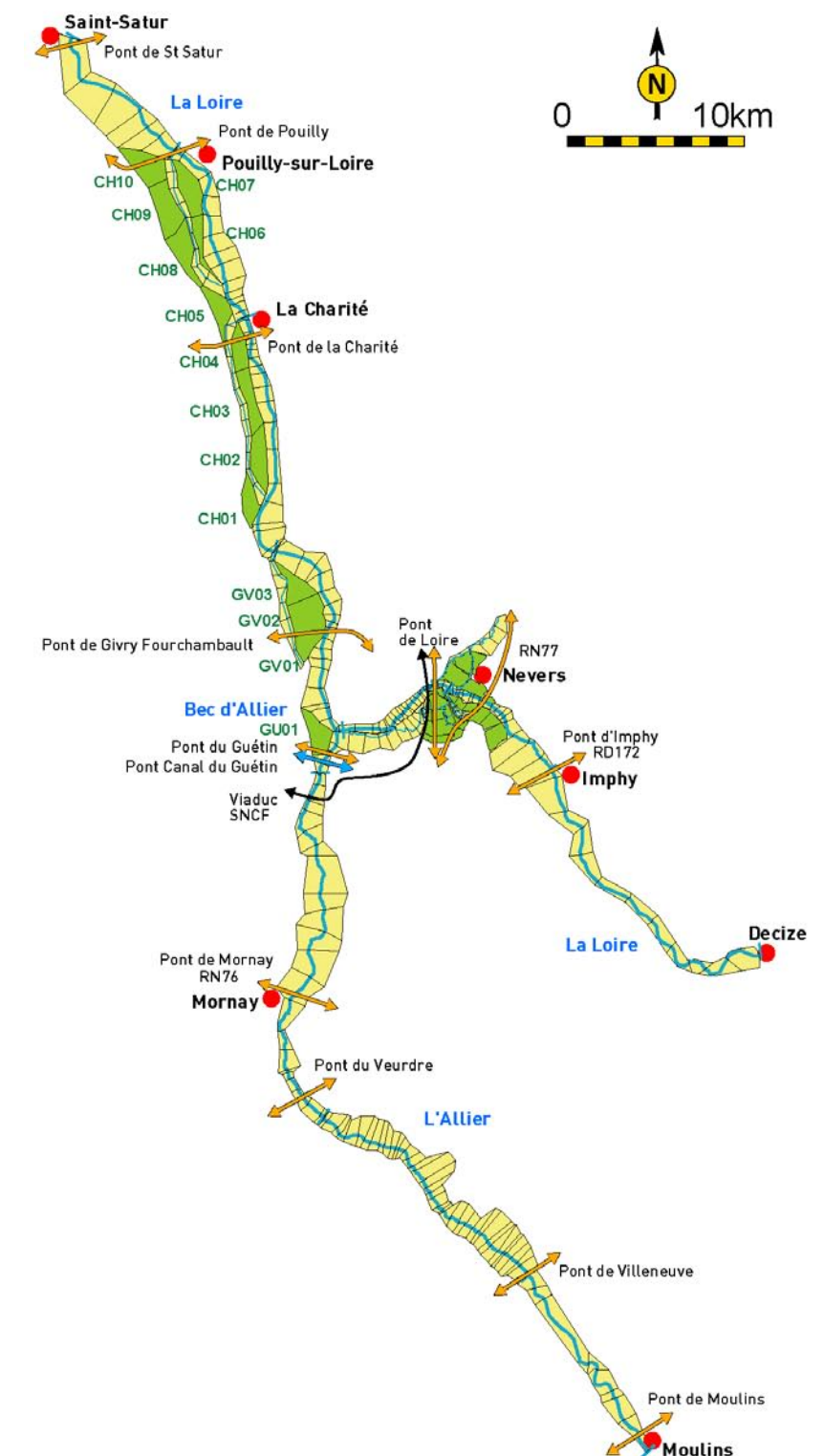
Barrage des Lorrains (PK1002,4)



Pont du Guétin (PK 1005,56)



Pont SNCF d'Appremont (PK1004,083)





Le **risque**
d' **inondation**
sur l' **Agglomération**
de **Nevers**

**Architecture
du modèle 2D
sur le
Val de Nevers**

Une modélisation détaillée 2D sur le val de Nevers

Le modèle 2D est exclusivement sur le val de Nevers

Le modèle détaillé bidimensionnel concerne la zone des vals endigués de Nevers, secteurs hydrauliquement complexes et à forts enjeux. Il porte sur les rives droite et gauche de la Loire.

Le modèle détaillé est utilisé pour une analyse fine des conditions d'écoulement dans la traversée de Nevers.

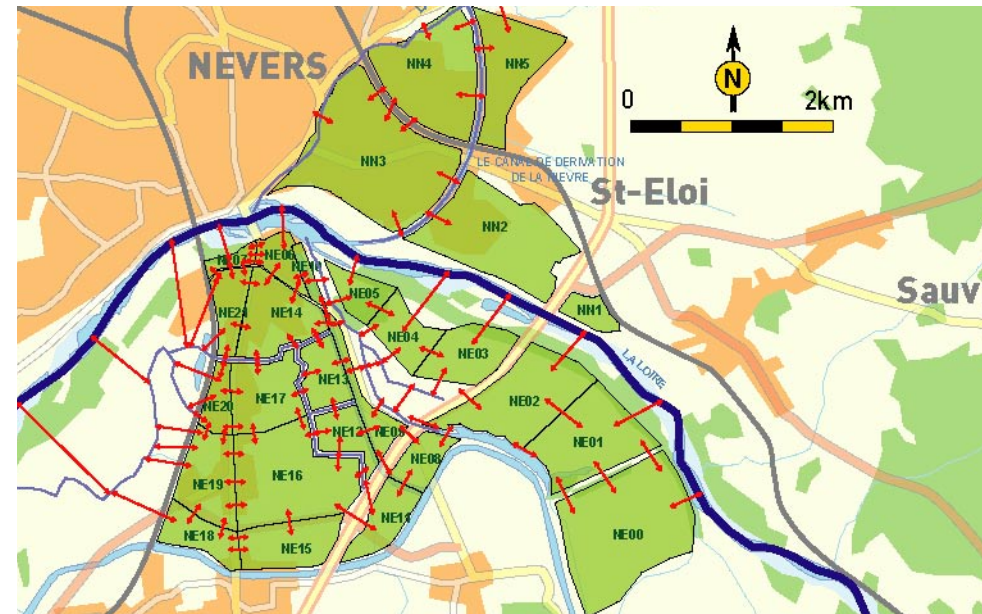
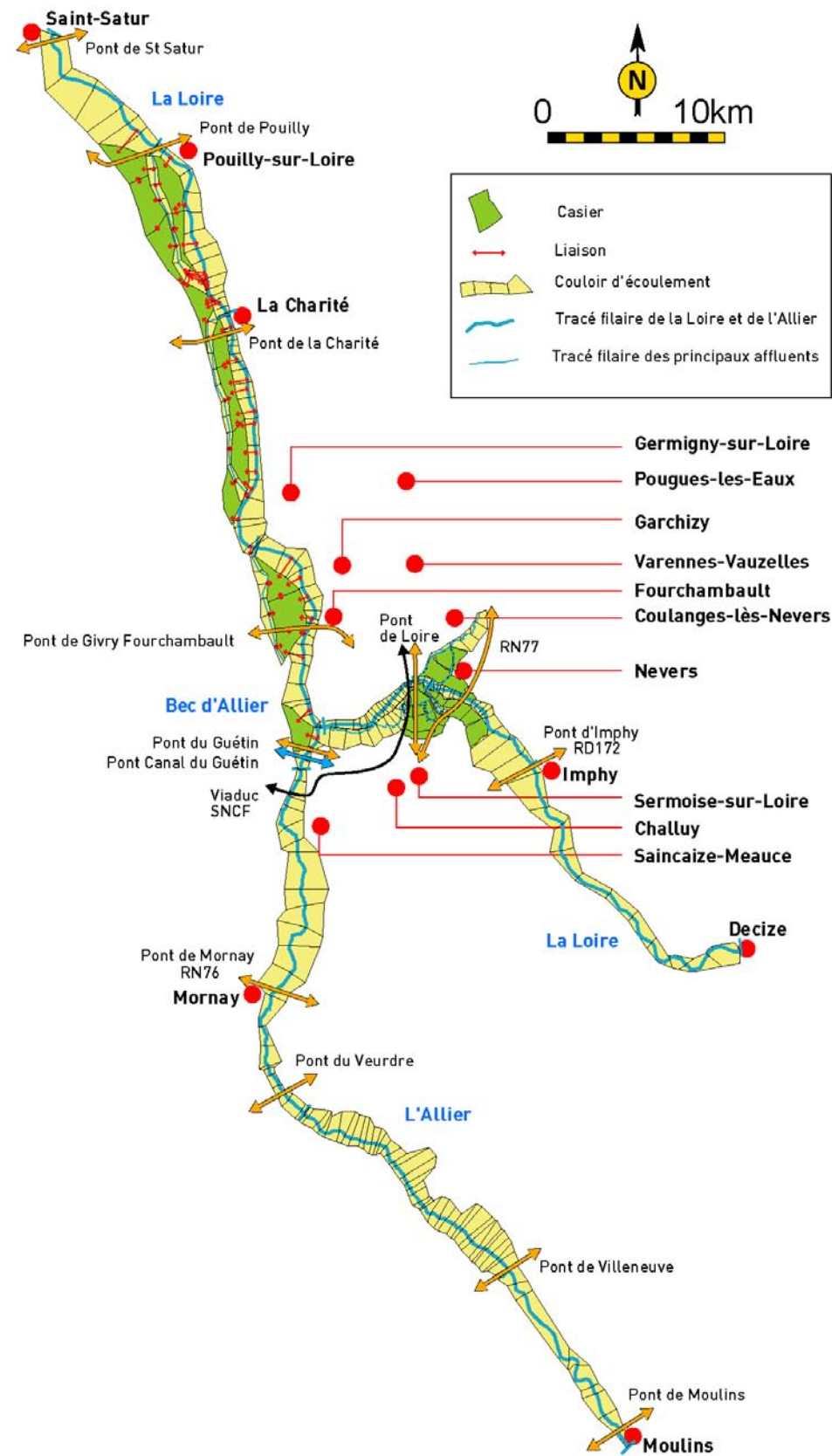
Les deux modèles, global et détaillé, se complètent

Le modèle global et le modèle détaillé seront utilisés conjointement pour l'étude des différents scénarios d'aménagement de réduction de l'aléa, de manière à tirer le meilleur profit de leurs capacités respectives.

Le présent document décrit les spécifications techniques du modèle hydraulique bidimensionnel mis en oeuvre par SOGREAH.



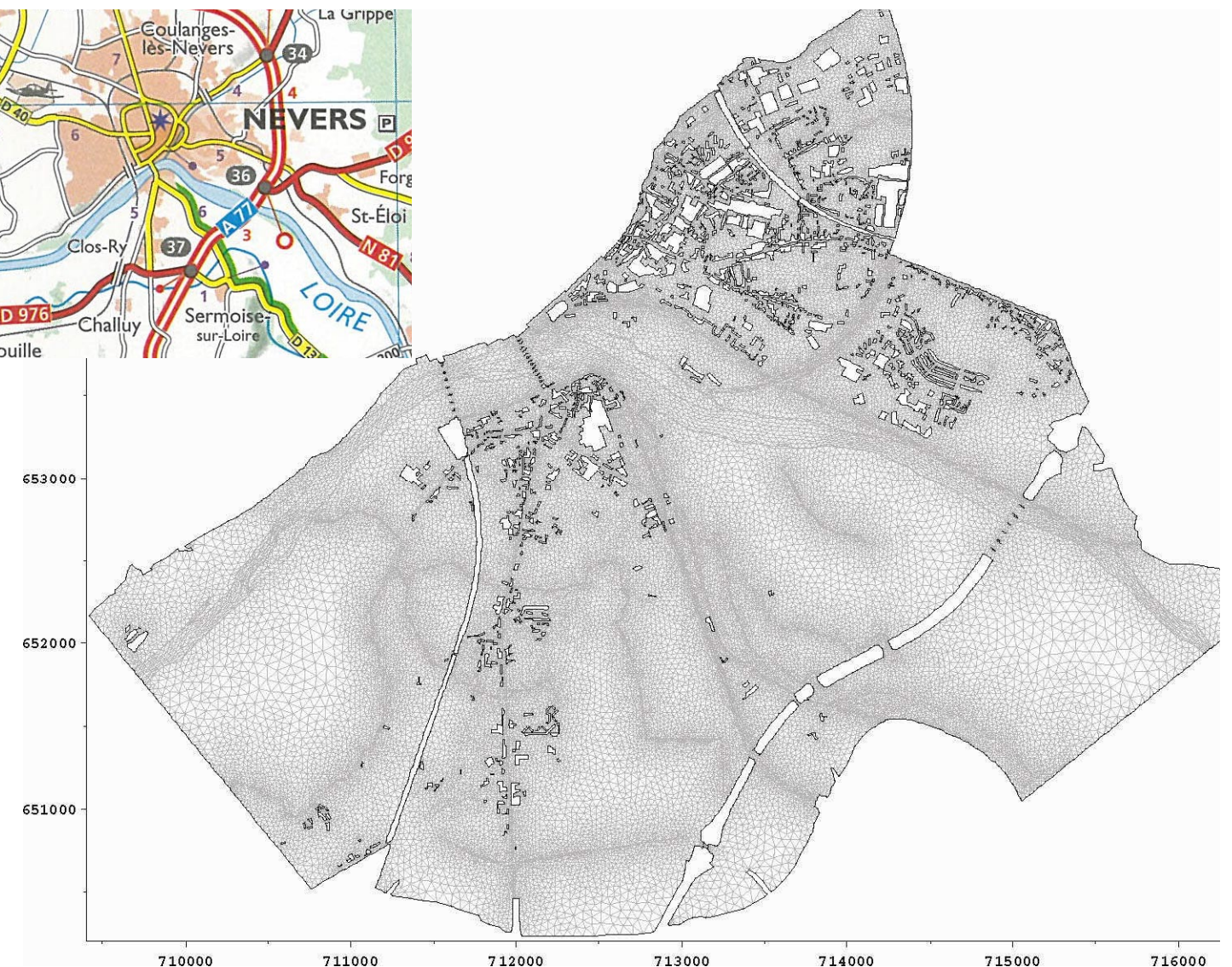
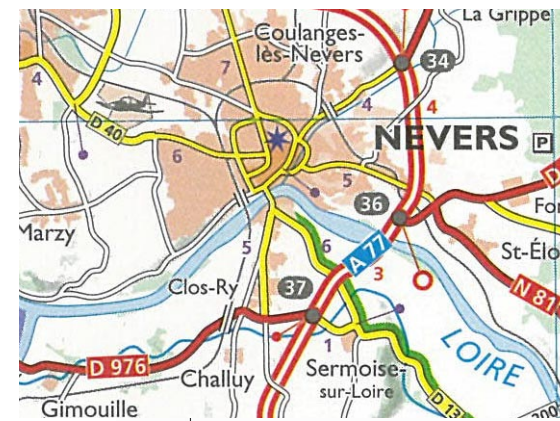
Donner des limites au territoire modélisé en 2D



Le modèle détaillé reprend des limites du modèle global.

Il se cale en rive droite sur les casiers riverains de la Loire et de la Nièvre avec son canal jusqu'au vannage de Coulanges.

En rive gauche, il s'arrête, en amont, à proximité de la levée des Américains, en amont du remblai de l'A77, et reprend les filaires et casiers du modèle global. Il déborde sur Challuy dans les espaces d'expansion de l'ancien champ de tir.

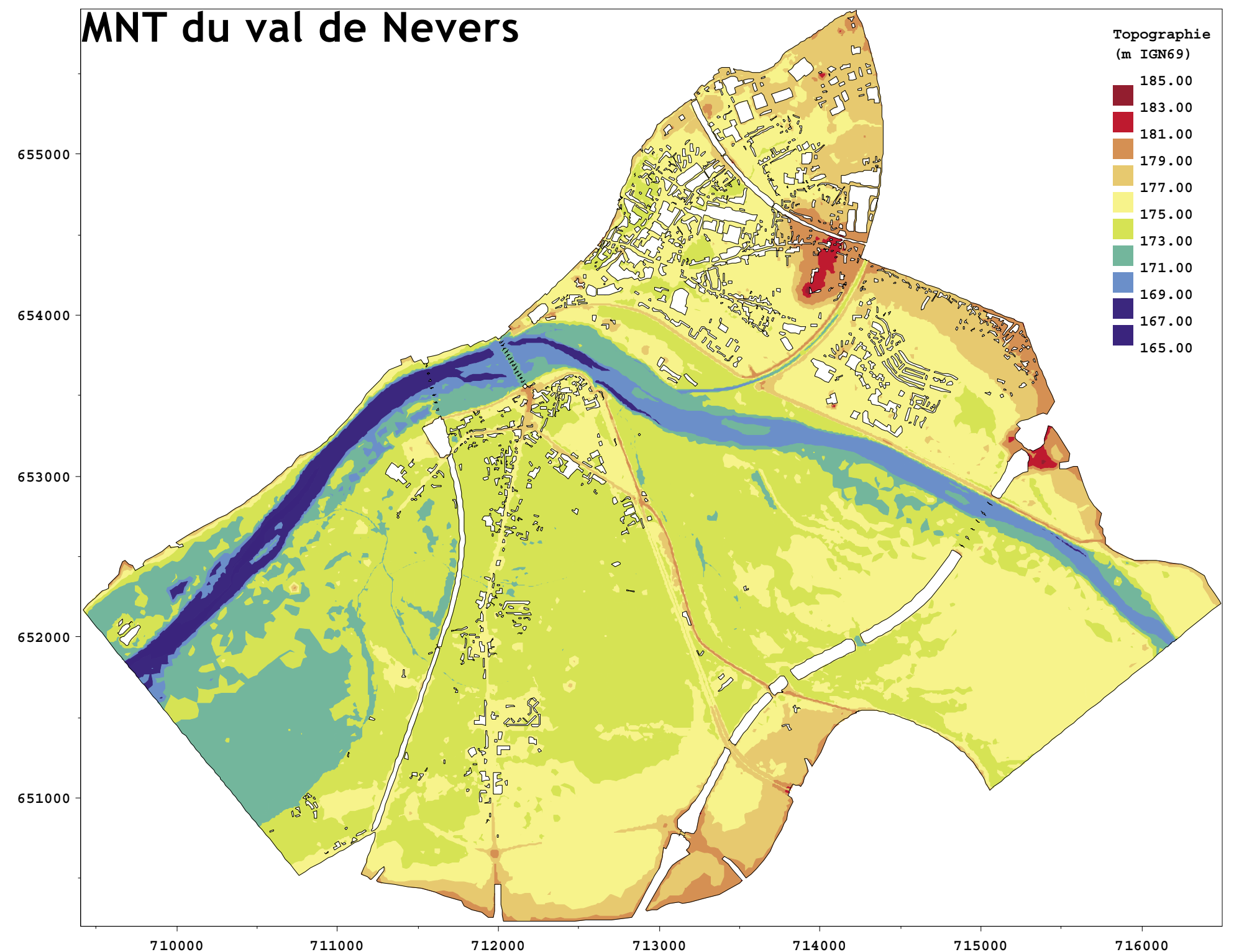


Il faut disposer d'un MNT fidèle

Il faudra interpréter le MNT pour décomposer le secteur en un plus ou moins grand nombre de noeuds de calcul

Une fois le modèle numérique de terrain réalisé, le secteur à modéliser est décomposé sous forme d'un maillage non structuré composé de facettes triangulaires de tailles et de formes variables.

Le modélisateur représente ainsi avec une grande souplesse l'emprise d'un domaine d'écoulement, même complexe, et il peut affiner localement le maillage en fonction des difficultés de calcul rencontrées et de ses intérêts.



Bien prendre en compte les éléments structurants

La modélisation se fait à partir d'éléments structurants

Pour représenter les éléments structurants pour l'écoulement que sont les obstacles ou les lits des cours d'eau, le maillage s'appuie sur des « lignes de contraintes ».

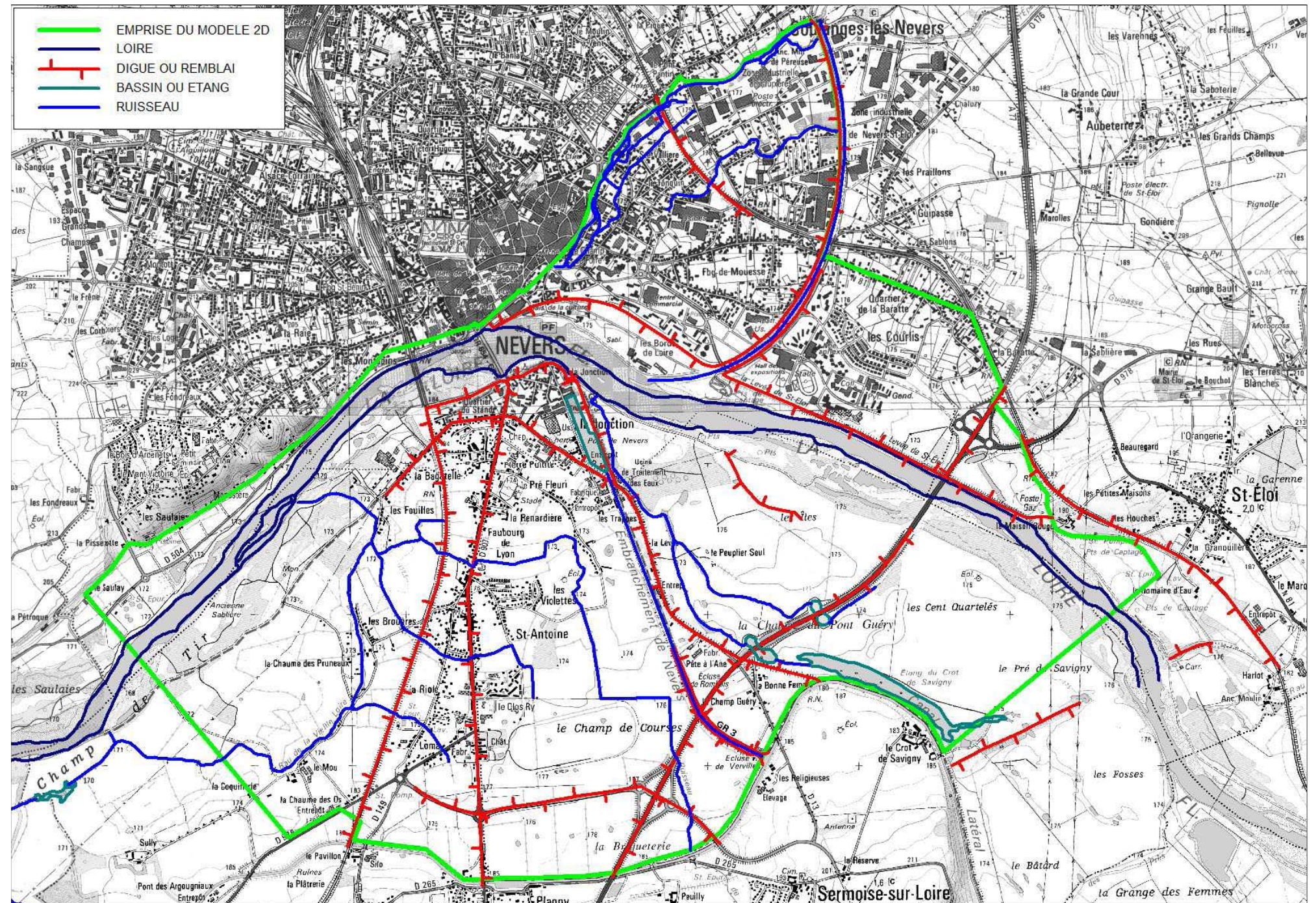


Figure 2 - Emprise du modèle local bidimensionnel et principaux éléments structurants du secteur

Construire les noeuds du modèle détaillé

Des lignes de points représentent les obstacles

Les levées de la Loire et les infrastructures en remblai sont décrites par au moins 4 points de calcul.

Chaque section du lit mineur de la Loire est représentée par au moins 12 points de calcul, celui du Canal de la Nièvre est, quant à lui, représenté par au moins 5 points.

Pour les autres cours d'eau drainant la plaine, chaque section du lit mineur a été représentée par 3 points.

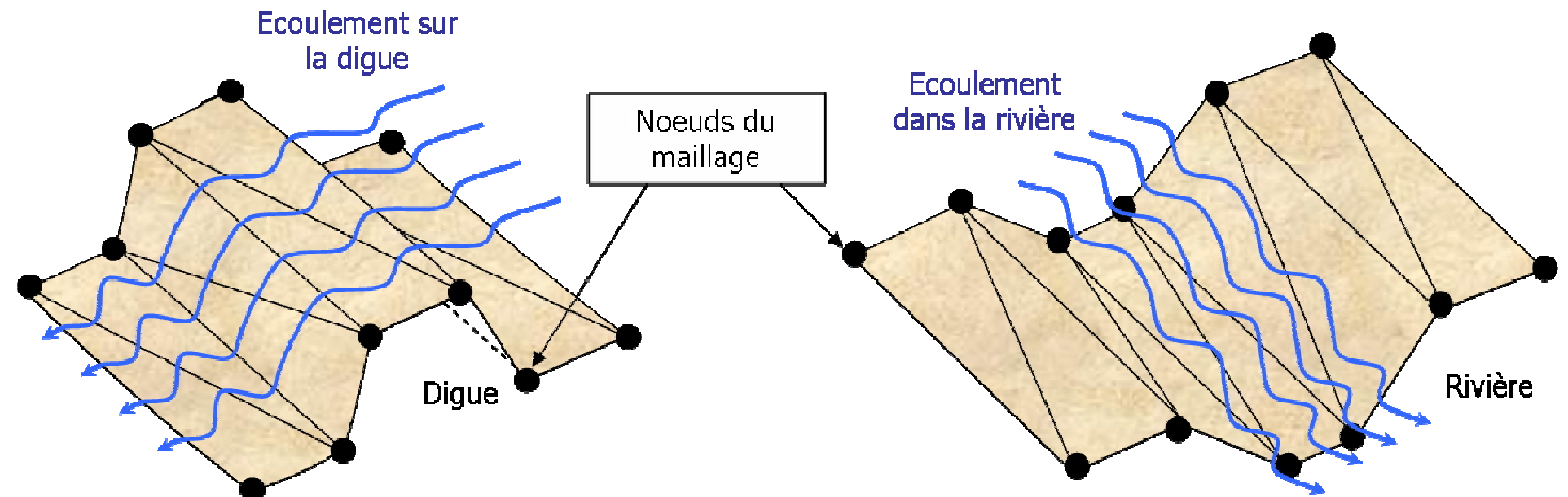
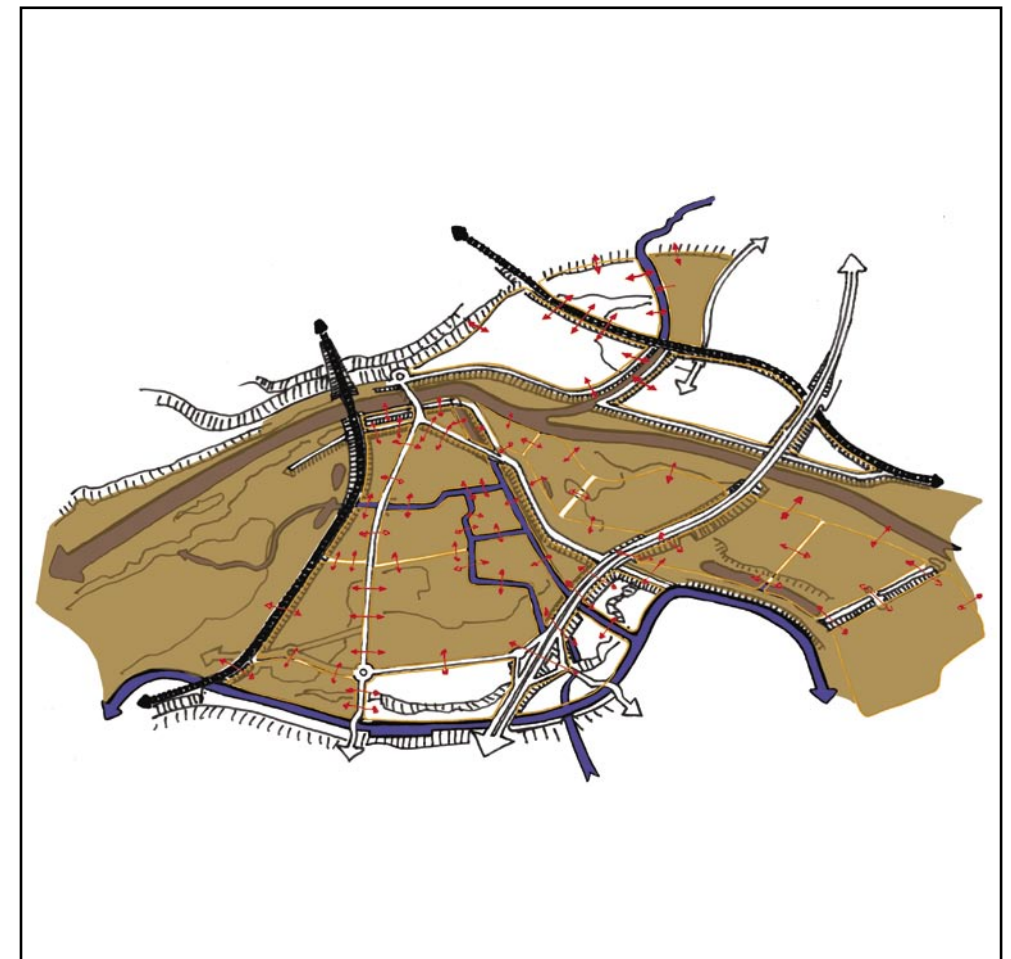


Figure 5 - Schématisation d'une digue et d'un cours d'eau dans un modèle 2D

Des valeurs maximales ont été imposées pour la taille des mailles

La taille réelle, à l'issue du processus de génération du maillage, est inférieure aux tailles maximales imposées :

- 5 à 10 m sous les ponts,
- 15 à 20 m sur les levées et les infrastructures en remblai,
- 20 m sur les ruisseaux drainant la plaine (Nièvre naturelle, Eperon, Crot de Savigny, Gougnière, Peuilley, Saint-Antoine, Vieille Loire),
- 25 m dans les zones urbaines denses,
- 30 à 35 m sur le canal de dérivation et les bras secondaires de Loire,
- 40 m sur la Loire.



Le bâti dans le modèle 2D

L'un des intérêts de la modélisation 2D, c'est la prise en compte de l'occupation des sols

La représentation des zones urbaines est une des difficultés des modélisations mathématiques.

Les représenter finement demanderait de prendre en compte une échelle de détail trop importante et donc nécessiterait un nombre conséquent de mailles de calcul.

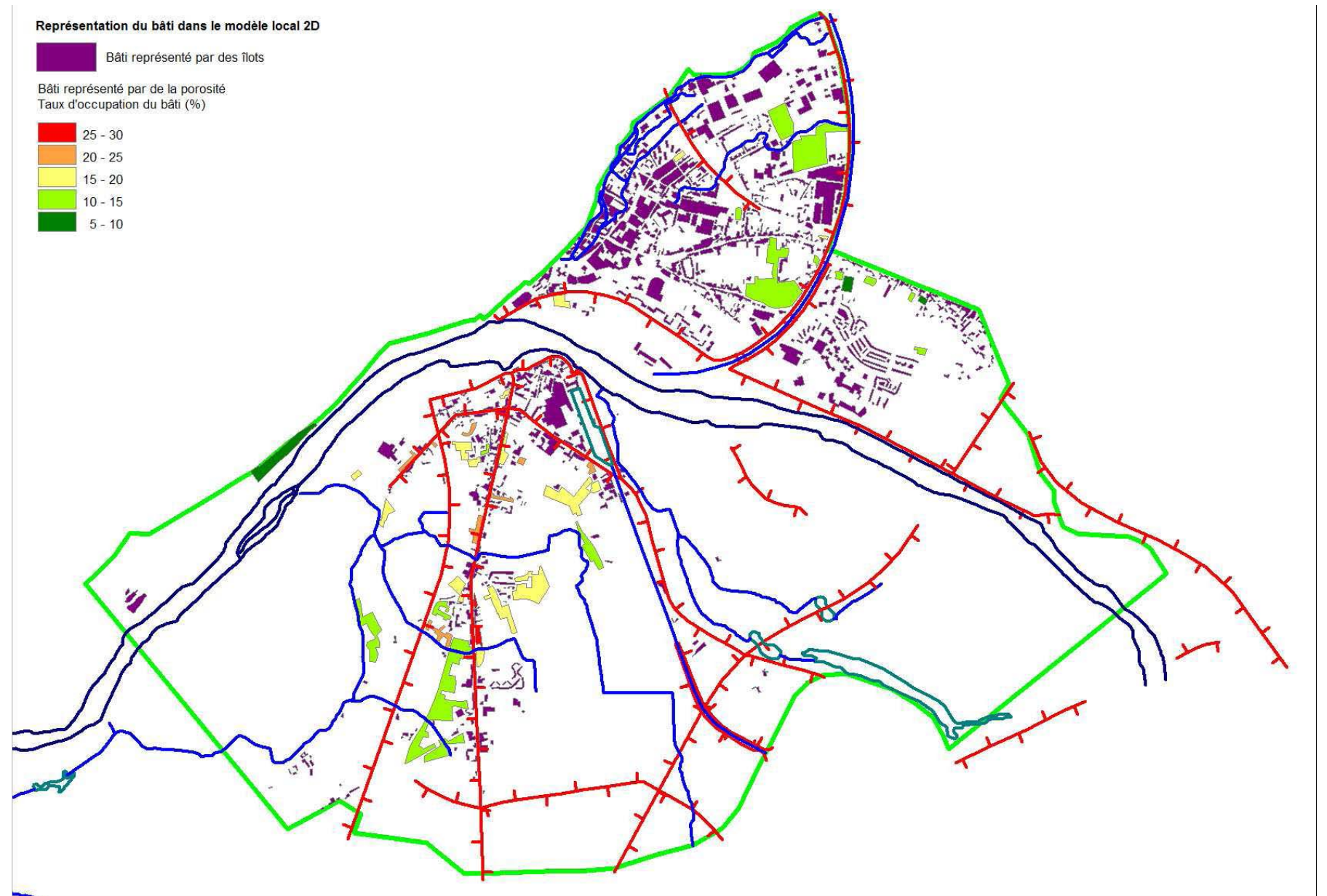


Figure 6 - Mode de prise en compte du bâti dans le modèle local 2D

Le modèle 2D prend en compte les îlots

Les constructions sont représentées comme des blocs étanches

Dans les zones urbaines denses, le choix a été de représenter explicitement les bâtiments.

Les grands axes de circulation favorisant les écoulements sont maillés de manière à pouvoir y calculer les hauteurs d'eau et les vitesses. Les zones bâties sont regroupées en blocs de maisons sous la forme d'obstacles insubmersibles et imperméables.

Pour les secteurs peu denses, un coefficient de porosité est calculé

Dans les zones d'habitat individuel, SOGREAH a adopté une approche sans représentation des bâtiments. Deux effets induits par le bâti sur l'écoulement doivent être représentés.

C'est la diminution de la capacité de stockage de l'eau du fait du volume occupé par le bâti et de la difficulté de l'écoulement à passer à travers une surface parsemée d'obstacles.

Pour le premier effet, un coefficient de porosité est pris en compte. Ce coefficient est calculé sur la zone considérée par le ratio de la surface au sol, libre de tout bâtiment, par la surface totale de la zone.

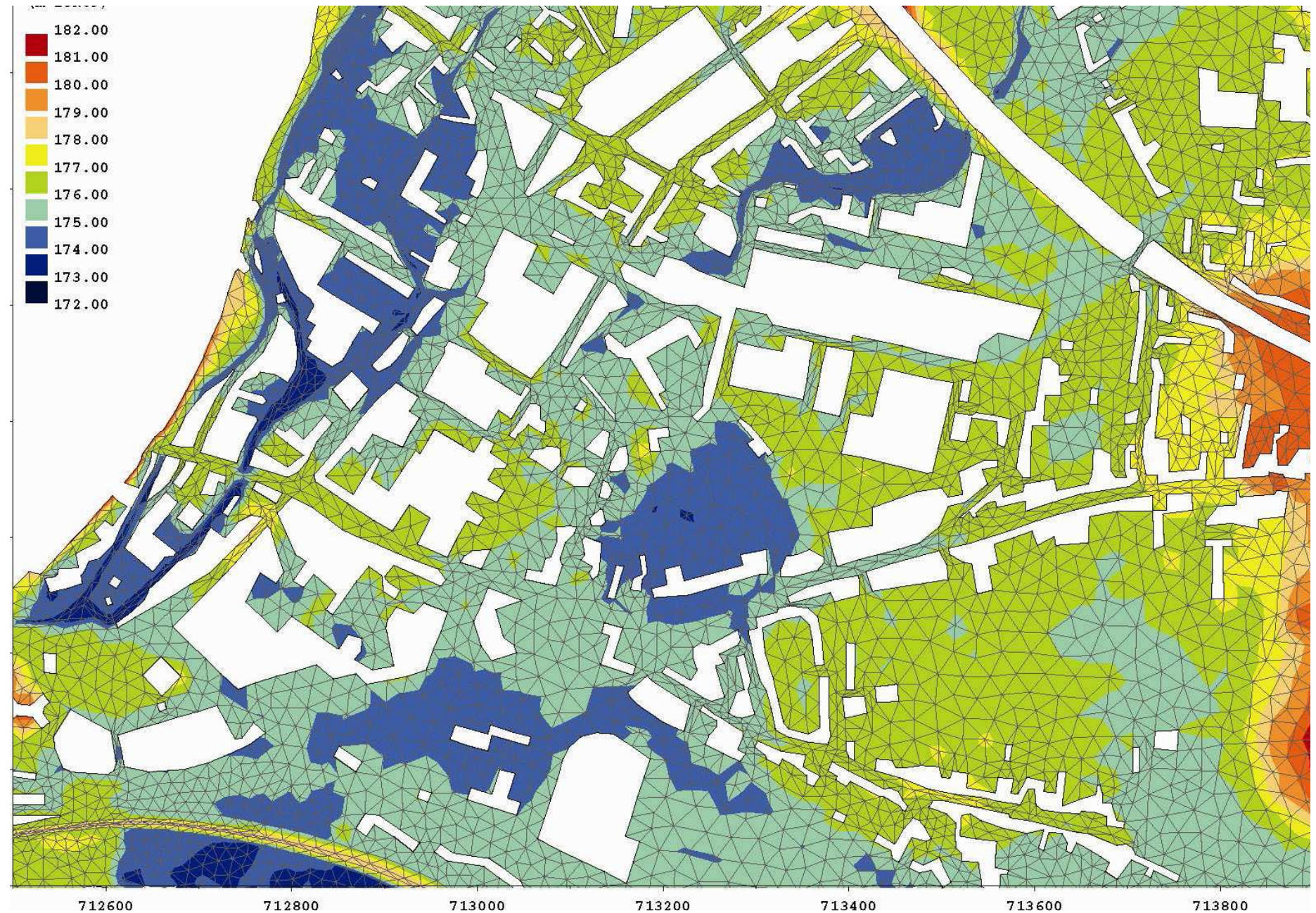


Figure 7 - Exemple de maillage en zone urbaine

Le modèle 2D doit interpréter le MNT

Alléger le nombre de noeuds de calcul pour être opérationnel

Le MNT comporte trop de points de référence. Le modélisateur doit interpréter les données pour ajuster son maillage au terrain et pour éviter d'être submergé par un trop grand nombre de noeuds de calcul.

Pour représenter au mieux tous les détails topographiques essentiels, SOGREAH a utilisé un maillage aux éléments finis, composé de facettes triangulaires de taille et de forme variables.

Un tel maillage permet d'une part d'obtenir une meilleure adaptation à la géométrie complexe d'un site et d'autre part, d'affiner la résolution du modèle dans les zones d'intérêt.

Le maillage construit pour EGRAN compte 84 975 éléments triangulaires, et 46 042 noeuds.

En chacun de ces points de calcul, aussi bien dans le lit ordinaire que dans la plaine inondable, TELEMAR-2D calcule les évolutions au cours du temps de la hauteur d'eau et de la vitesse d'écoulement.

Pour cette variable, le calcul restitue à la fois l'intensité de la vitesse et la direction du courant.

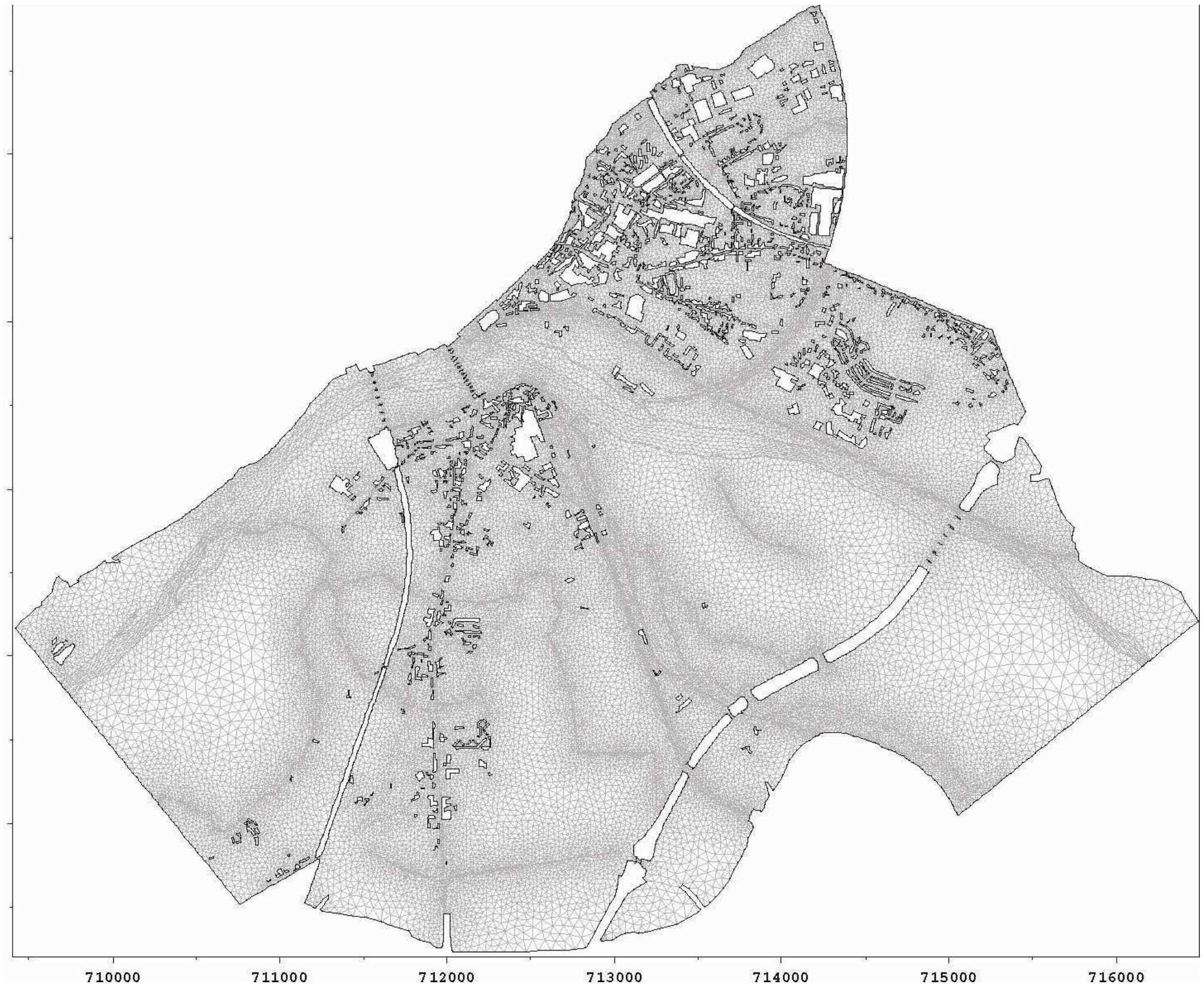


Figure 3 - Maillage du modèle



Le risque
d'inondation
sur l'Agglomération
de Nevers

Architecture
1D et 2D
les calages

Les calages des modèles EGRIAN 1D et 2D



Les principes du calage

Avant d'utiliser le modèle pour étudier le passage des crues dans la situation actuelle afin de réaliser le diagnostic, puis dans différentes configurations d'aménagement pour tester des éléments de la stratégie, il convient de procéder à la vérification de sa représentativité.

Le calage du modèle global consiste à faire varier les coefficients de Strickler, décrivant la rugosité qui caractérise les berges et le fond de la Loire, autour des valeurs classiques représentatives de ce type de rivière jusqu'à retrouver, par le calcul, les cotes observées pour des crues, dites « crues de calage ».

Les crues de calage

La sélection des crues de calage a été effectuée selon les critères ci-dessous :

- Crues récentes (dix dernières années).
- Une crue de période de retour inférieure ou voisine de 10 ans et une crue plus forte de période de retour voisine de 50 ans (décembre 2003).
- Disponibilité des mesures (en débits et hauteurs) pour ces crues au niveau des stations hydrométriques.

Les crues retenues pour le calage sont récapitulées dans le tableau par ordre décroissant des débits maximum.

Crue	Q Loire à Imphy	Q Allier à Moulins	Q Nièvre	Q Loire à Givry
Décembre 2003	2 170 m ³ /s	1 580 m ³ /s	33 m ³ /s	3 290 m ³ /s
Mai 2001	1 730 m ³ /s	910 m ³ /s	81 m ³ /s	2 550 m ³ /s
Avril 2005	1 260 m ³ /s	820 m ³ /s	34 m ³ /s	1 810 m ³ /s

Période de retour	Q Loire à Nevers	Q Allier au Guétin	Q Loire à Givry
2 ans	1 000 m ³ /s	640 m ³ /s	1 800 m ³ /s
5 ans	1 400 m ³ /s	890 m ³ /s	2 400 m ³ /s
10 ans	1 700 m ³ /s	1 100 m ³ /s	2 800 m ³ /s
20 ans	1 900 m ³ /s	1 200 m ³ /s	3 200 m ³ /s
50 ans	2 200 m ³ /s	1 400 m ³ /s	3 700 m ³ /s

Tableau de synthèse des débits de périodes de retour caractéristiques aux stations de Nevers, Guétin et Givry.

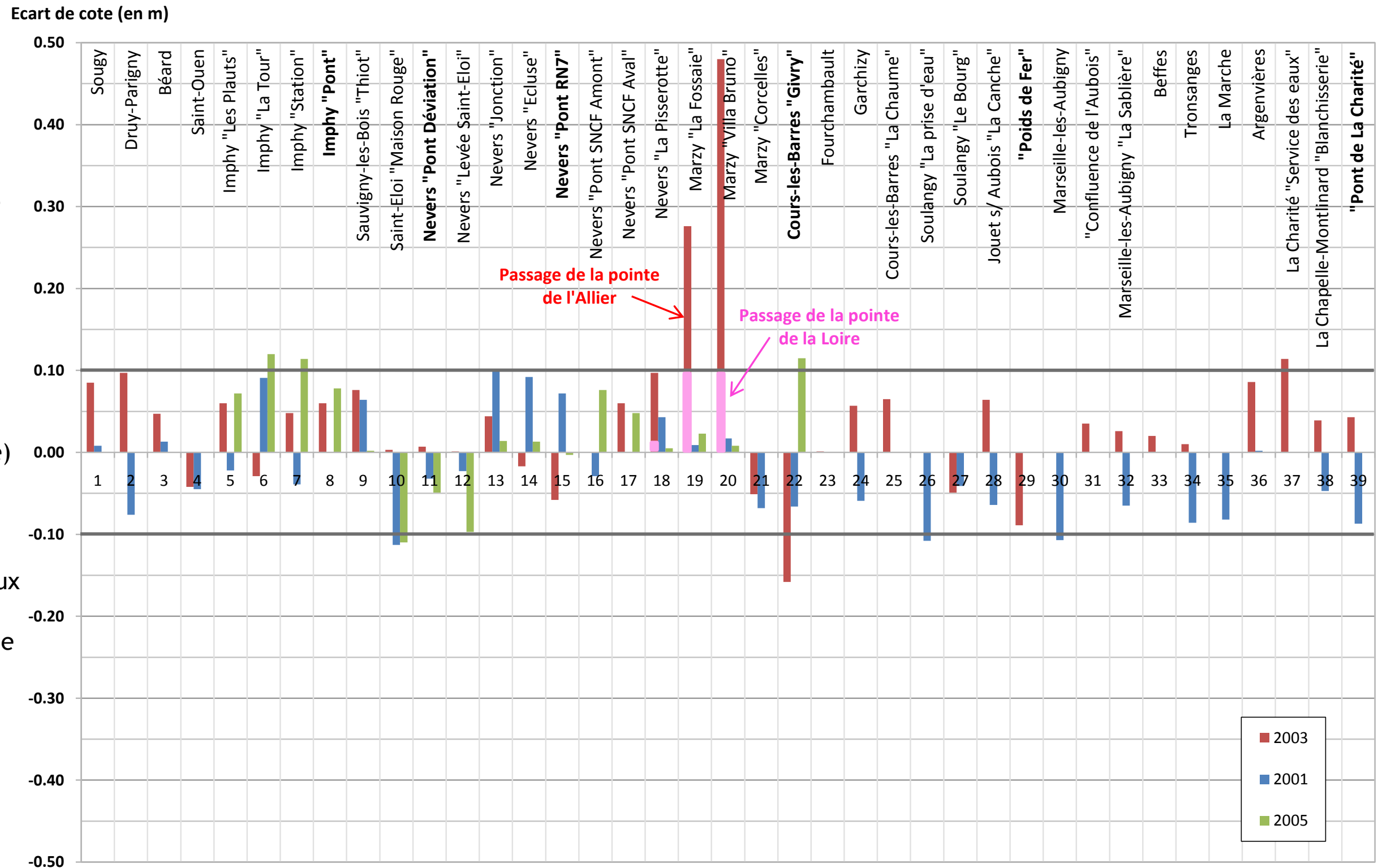
Modèle 1D : le calage est le plus précis possible

Le modèle 1D s'est avéré très fiable

Ce travail minutieux s'est réalisé avec le comité technique pour disposer d'une modélisation permettant de comprendre, quantifier et expliquer les mécanismes généraux d'inondation.

Le calage du modèle 1D a été réalisé sur les crues de mai 2001, décembre 2003 (la dernière crue forte de la Loire) et avril 2005.

Le modèle 1D s'est avéré très fiable. En effet, il restitue, à +/- 10 cm, 82 % des 107 niveaux observés par les services de l'Etat lors des crues, et 97 % de ces niveaux à +/- 15 cm.



Le calage du modèle 2D est à plus ou moins 5 cm

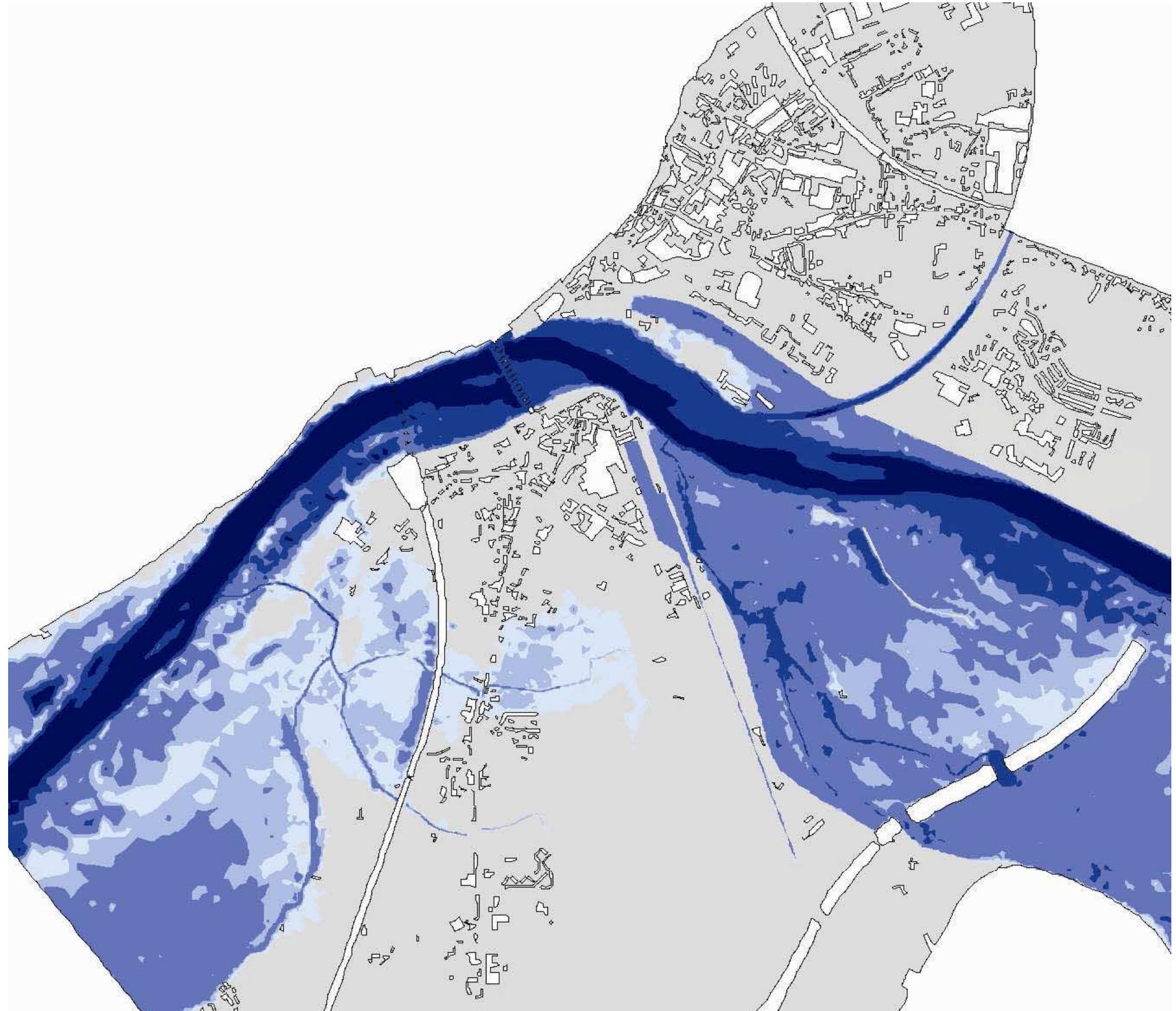
Les mêmes conditions que pour le modèle 1D

Cependant, les limites du modèle 2D sont définies par le modèle 1D qui lui donne les hydrogrammes d'entrée et de sortie pour toutes les crues dont les crues de calage.

L'un des problèmes du calage a été le manque de relevés en rive gauche où un seul point d'observation existait, alors qu'en rive droite 11 points suivent la berge.

Le modèle a été calé sur 3 crues

Pour les crues de calage, la moyenne des écarts entre les niveaux d'eau maxima calculés et observés est de l'ordre de +/- 5 cm. De plus, toutes les valeurs sont inférieures à +/- 10 cm, à l'exception de l'observation de « Maison Rouge » sur la commune de Saint-Eloi pour la crue de décembre 2003 qui dépasse légèrement ce seuil. Ces valeurs sont similaires à celles obtenues avec le modèle global 1D à casiers sur la même zone d'étude.

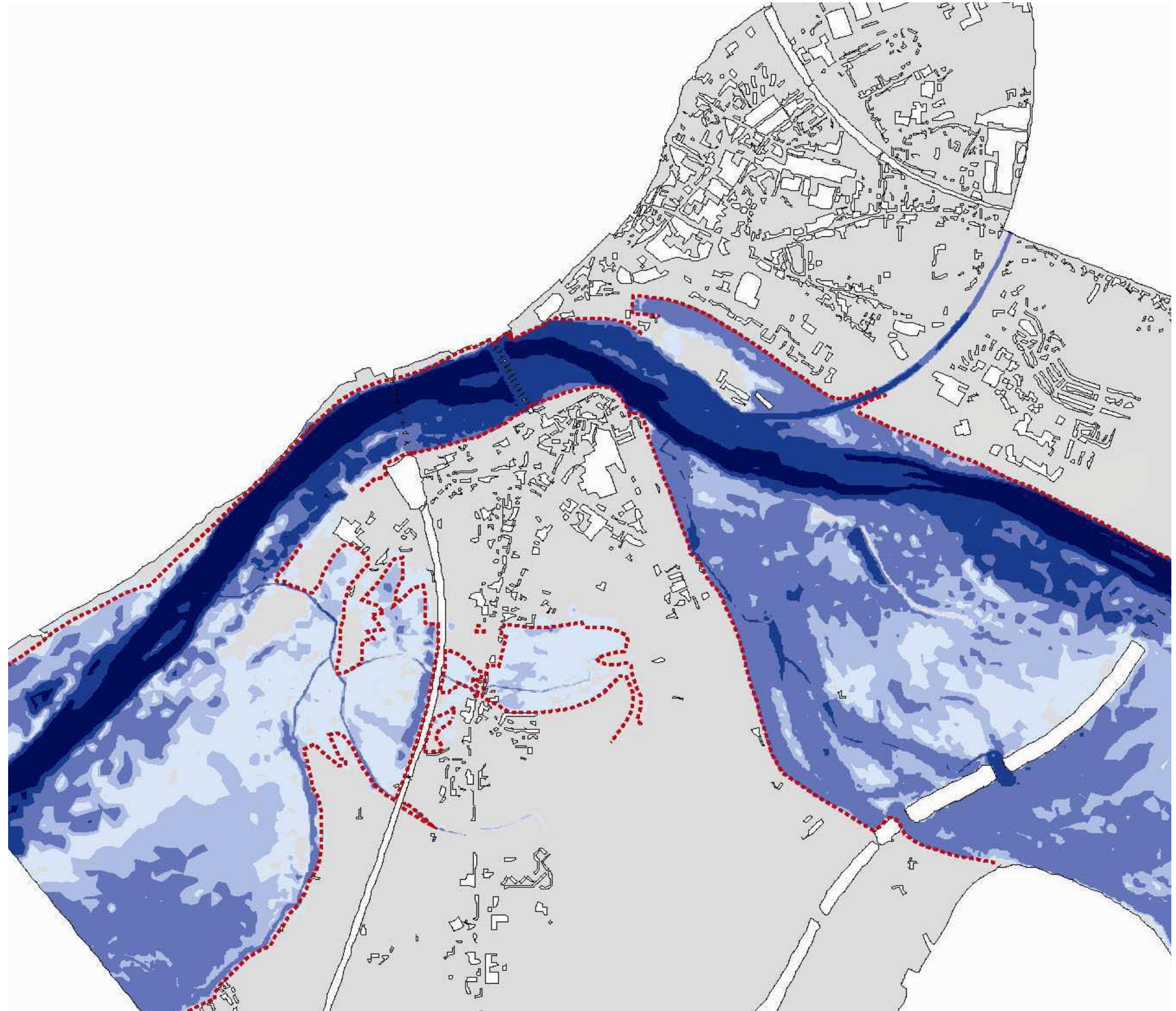


Le calage 2D est validé par la photo aérienne

Pendant la crue de 2003, une photographie aérienne de la Loire à Nevers et à son aval a été prise le 7 décembre à 10h00, soit environ 41h après le pic de la crue.

Cette photographie permet d'appréhender visuellement l'extension de la crue, notamment dans les vals des Brouères et de Saint-Antoine, ainsi que dans le lit majeur non endigué en aval de Nevers.

La comparaison de l'extension réellement inondée avec celle calculée par le modèle local 2D au même instant montre de très grandes concordances.



Les « maquettes numériques » sont alors prêtes

Les modèles ainsi calés peuvent donc être considérés représentatifs du fonctionnement hydraulique réel

La reproduction des trois événements de calage retenus (décembre 2003, mai 2001 et avril 2005) par les modèles est très correcte.

Les niveaux d'eau calculés sont dans l'ensemble à +/- 10 cm des niveaux d'eau observés sur la Loire dans la traversée de l'agglomération de Nevers.

Il faut maintenant tester des crues avec les modèles

Les crues de période de retour au Bec d'Allier T=50 ans, T=70 ans, T=100 ans, T=170 ans, T=200 ans et T=500 ans, toutes écrêtées de 1 000 m³/s par Villerest, correspondent à des crues issues de crues historiques pour celles de moins de 500 ans. Elles ne les reproduisent pas, à l'exception de décembre 2003.



Les modélisations ont été déclarées satisfaisantes par le groupe technique.

Il est donc possible d'alimenter ces « maquettes numériques » avec des hydrogrammes des crues décidées par l'étude hydraulique.