

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

Modéliser :  
 une maquette  
 dans laquelle on fait  
 couler les crues

# Sommaire

<i>Modéliser, c'est faire une maquette dans laquelle on fait couler les crues</i>	1	Modeliser : une maquette dans laquelle on fait couler les crues
	3	Pourquoi et comment modéliser pour EGRIAN
	4	Objectifs des modèles hydrauliques
	5	Le modèle global dit 1D
	6	Le modèle détaillé dit 2D
	7	Deux modélisations complémentaires
	8	Hypothèses d'hydrologie pour les modèles de l'étude EGRIAN
	9	L'hydrologie alimente en eau les modèles
	10	Niveaux à l'échelle de Nevers
	11	Le barrage de Villerest
	12	L'hydrologie retenue pour EGRIAN avec Villerest
	13	La Nièvre et les petits affluents de la Loire

# Sommaire

<i>Modéliser, c'est faire une maquette dans laquelle on fait couler les crues</i>	1	Modeliser : une maquette dans laquelle on fait couler les crues
	3	Pourquoi et comment modéliser pour EGRIAN
	4	Objectifs des modèles hydrauliques
	5	Le modèle global dit 1D
	6	Le modèle détaillé dit 2D
	7	Deux modélisations complémentaires
	8	Hypothèses d'hydrologie pour les modèles de l'étude EGRIAN
	9	L'hydrologie alimente en eau les modèles
	10	Niveaux à l'échelle de Nevers
	11	Le barrage de Villerest
	12	L'hydrologie retenue pour EGRIAN avec Villerest
	13	La Nièvre et les petits affluents de la Loire

# Objectifs des modèles hydrauliques

Une modélisation hydraulique est une maquette numérique qui représente virtuellement les vallées avec les différents lits des rivières (mineur, endigué et majeur).

## Modéliser permet de comprendre et d'évaluer

Modéliser permet de comprendre le déroulement des crues et d'évaluer les impacts comparés d'un ou des aménagements envisagés.

Pour EGRIAN, deux objectifs conduisent à construire des modèles hydrauliques :

- Être capable d'élaborer un diagnostic de l'inondation des différentes crues en fonction de leur probabilité de survenance.
- Tester et comparer des aménagements possibles (scénarios) capables de réduire les niveaux et les vitesses des eaux lors des crues (aléas).

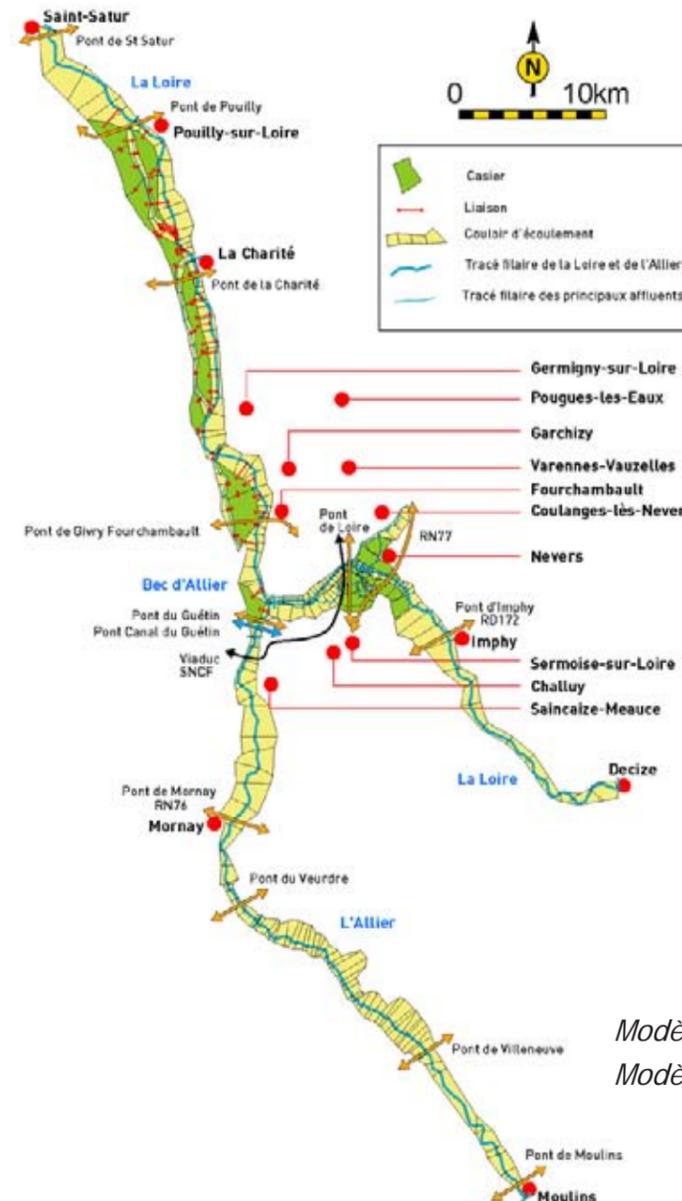
## Egrian a retenu deux modèles

Egrian a retenu la réalisation de deux modèles complémentaires de façon à tester, sur un secteur élargi, les impacts des aménagements et, sur le territoire de l'adn, les impacts détaillés.

## Le modèle 1D

De par sa construction en « linéaire d'écoulement » et en « bassins de stockage », le modèle dit « 1D » permet une modélisation étendue et donne une compréhension globale du territoire d'étude élargi.

Pour Egrian, c'est le modèle dit global qui est très étendu



## Le modèle 2D

Le modèle dit « 2D » prend en compte tous les détails du relief. Il est basé sur un relevé numérique de la topographie. Relativement lourd en calcul, il est plutôt réservé aux zones denses où le terrain varie d'un point à l'autre

Pour Egrian, c'est le modèle détaillé qui concerne l'adn

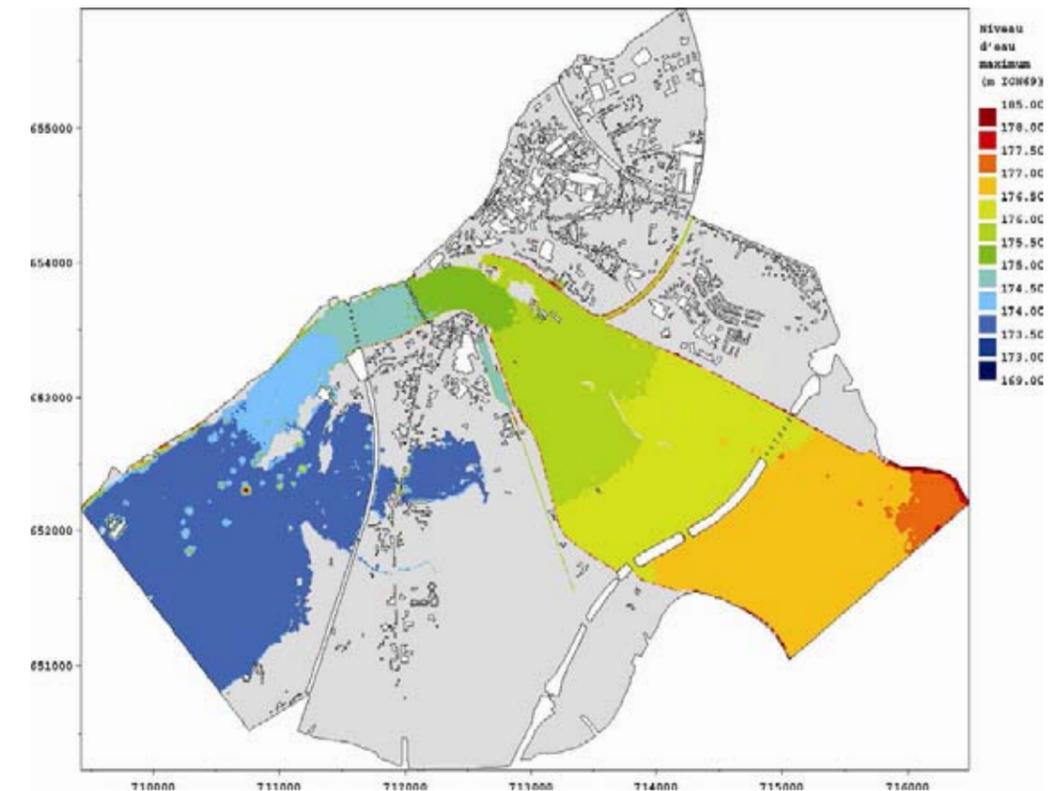


Figure 14 - Cartographie du niveau d'eau maximum pour la crue de décembre 2003

Etude EGRIAN - Modélisation bidimensionnelle

Modèle 1D  
Modèle global

Modèle 2D  
Modèle détaillé

# Le modèle global dit 1D

## Le modèle global sur un territoire étendu

Le modèle 1D adn 2008 construit par Hydratec représente la Loire de Decize à Saint-Satur, l'Allier de Moulins à la confluence et la Nièvre depuis Pont-Saint-Ours.

## Différentes entités hydrauliques

Dans ce modèle, les lits sont subdivisés en couloirs d'écoulement (les éléments filaires) et en secteurs de stockage (les casiers).

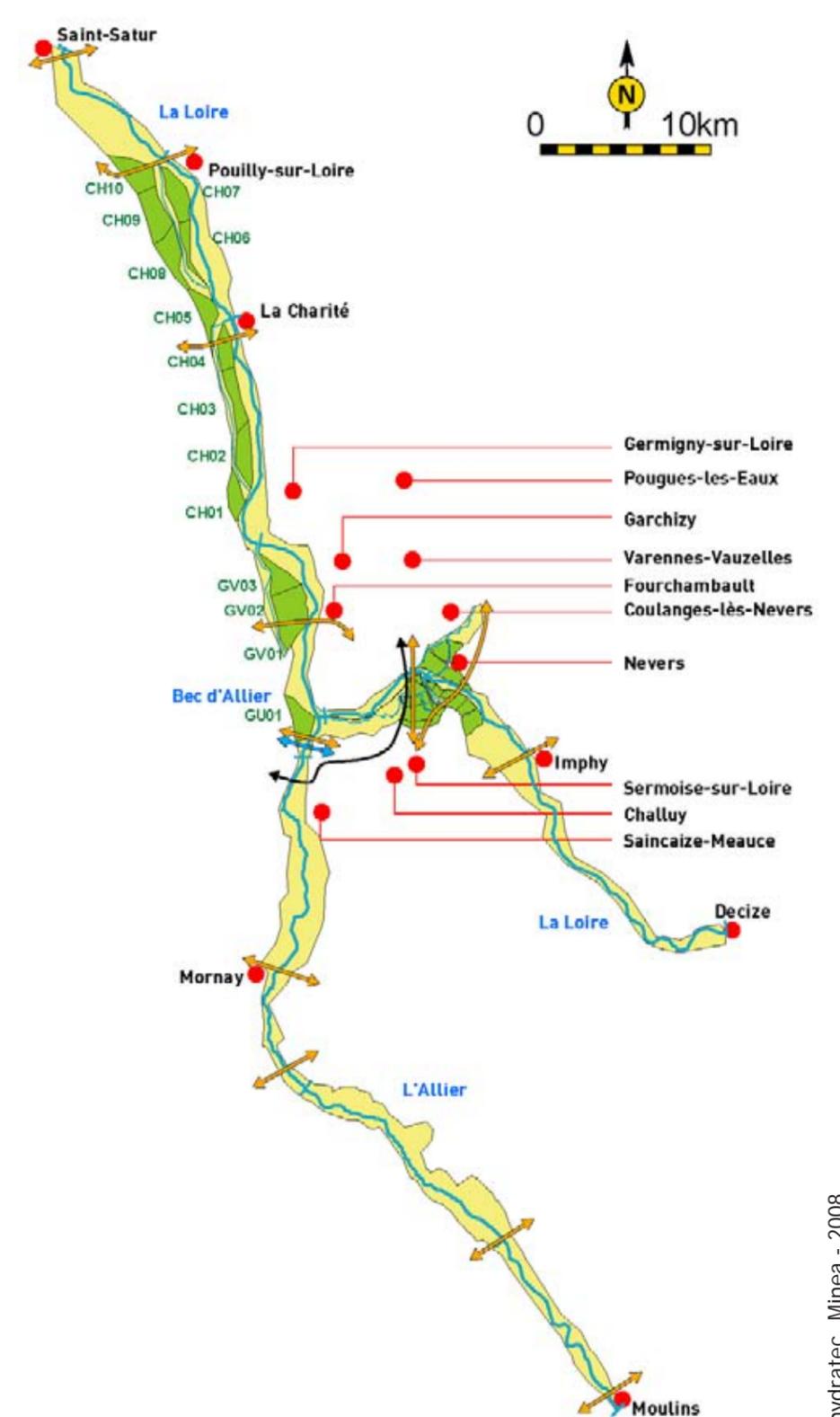
Des éléments hydrauliques spécifiques complètent cette maquette.

Entre ces espaces, des liaisons quantifient les écoulements dynamiques des flots. La mise en eau se fait à l'entrée du modèle ou aux extrémités en amont.

## La vision globale, amont/aval est indispensable

La modélisation globale est nécessaire pour la compréhension du fonctionnement du fleuve en crue et pour l'évaluation des impacts possibles des aménagements hydrauliques. Il est impératif de prendre en compte l'hydrologie en amont et de ne pas amplifier la crue en aval.

À l'échéance de juin 2008, Hydratec a réalisé ce modèle et l'a calé, en particulier pour la crue de 2003.



# Le modèle détaillé dit 2D

## Le modèle détaillé concerne les zones inondables de l'adn au niveau de Nevers, Sermoise et Challuy

La modélisation détaillée que Sogreah a construite est plus fine. Elle se centre sur les communes de l'adn entre la levée des Américains et le champ de tir. Elle permet d'évaluer l'aléa inondation de manière très précise.

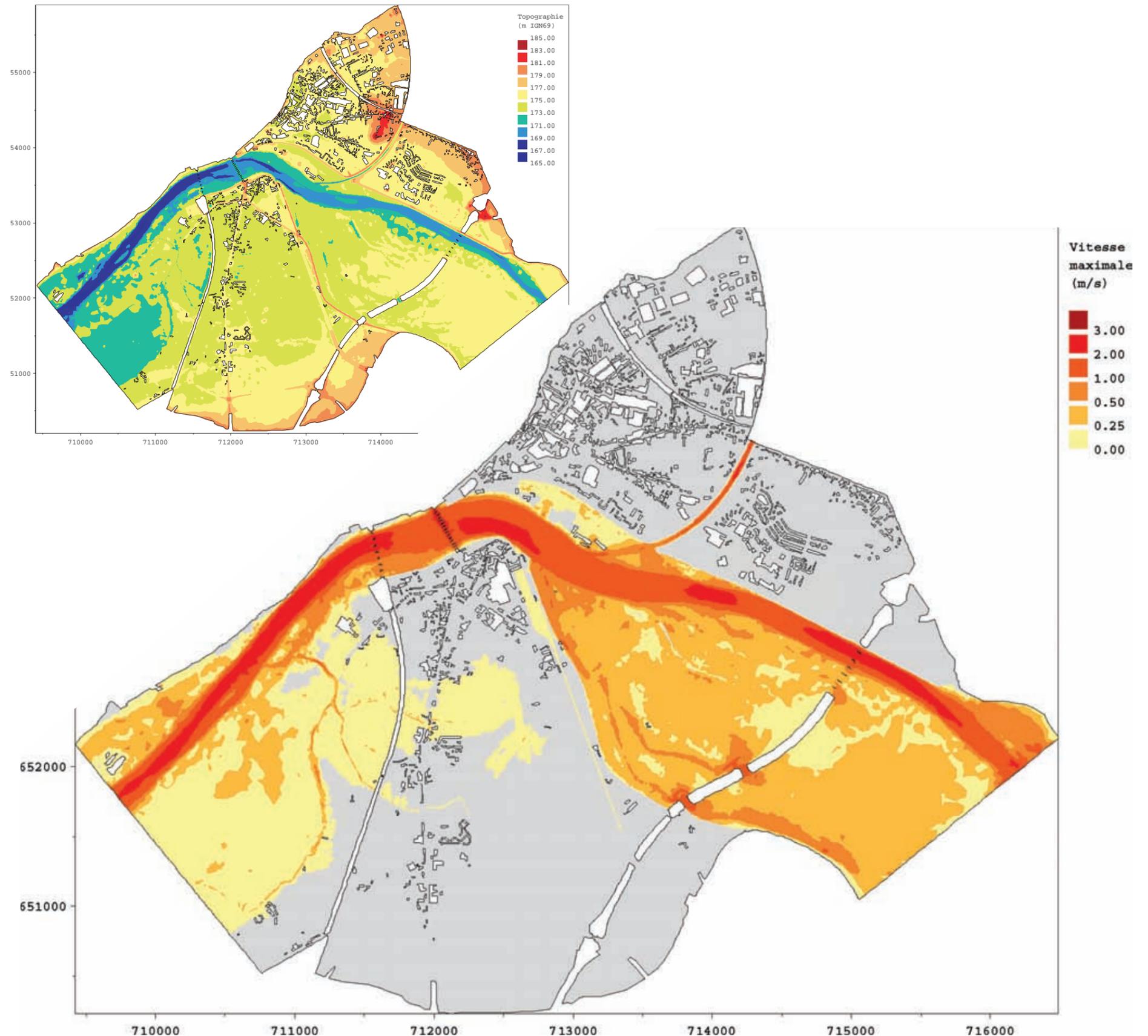
## Le modèle 2D est issu d'un modèle topographique

Les modèles dits « 2D » s'appuient sur un modèle numérique de terrain (MNT) qui prend parfaitement en compte tous les reliefs et obstacles aux écoulements. Le MNT est interprété pour construire la modélisation point par point.

Il est ensuite mis en eau à partir des données du modèle 1D. Cela permet de calculer très finement les paramètres de vitesse et de hauteur d'eau en tout point du modèle.

## Une vision fine pour comprendre l'inondation

La modélisation détaillée est la seule à pouvoir donner des vitesses et des hauteurs en tout point du secteur modélisé. Ce modèle met 2 jours pour calculer une modification, alors que le modèle global met moins de 5 minutes.



# Deux modélisations complémentaires

## Un premier modèle 1D, souple et étendu

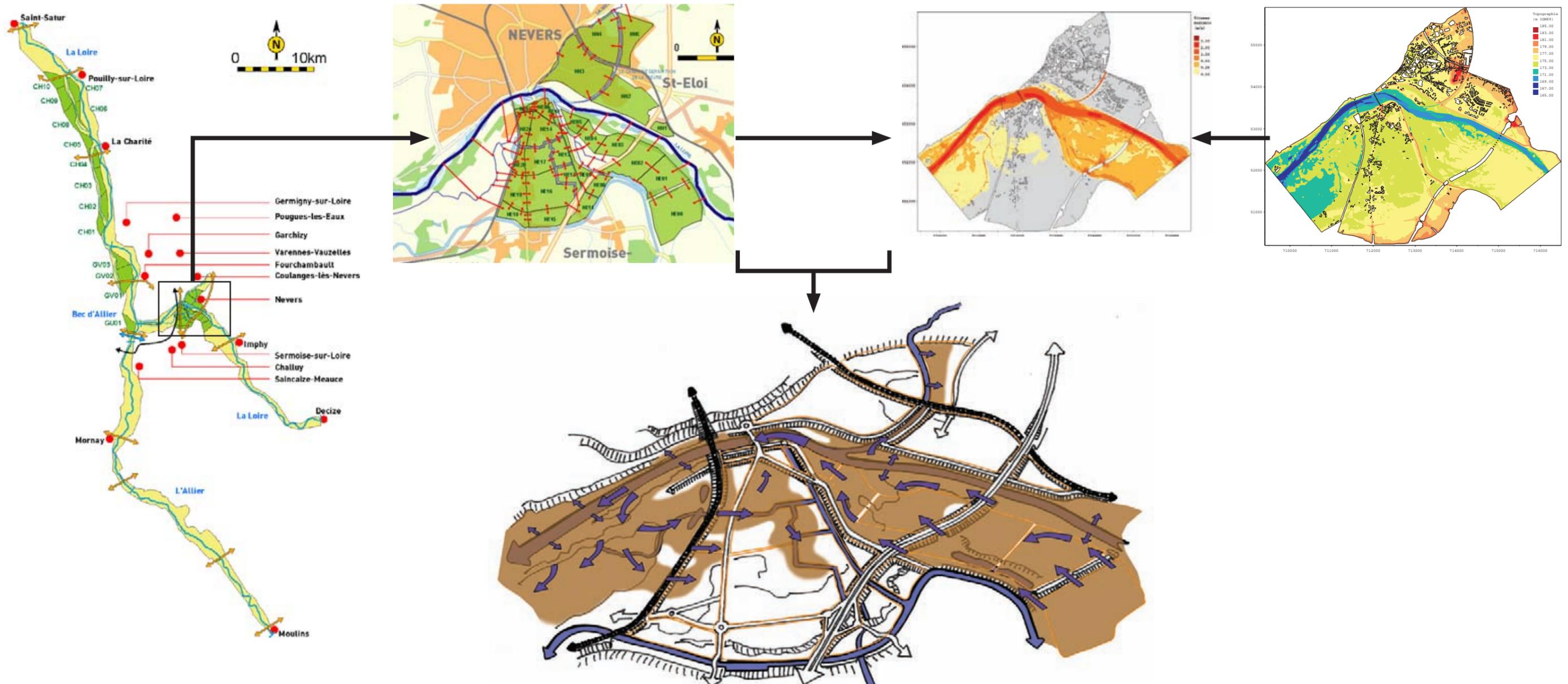
Le modèle 1D émet des hypothèses de construction qui donnent lieu à une maquette numérique représentant la réalité très fidèlement. Il a l'avantage d'être léger en calcul et permet donc une grande étendue et de multiples simulations de scénarios d'aménagement.

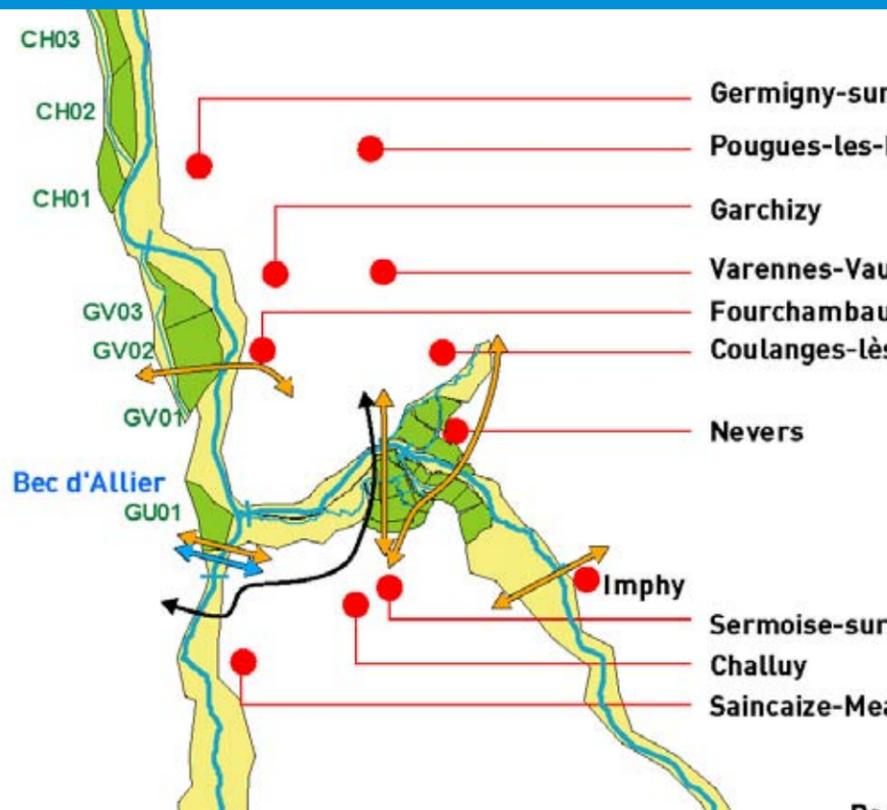
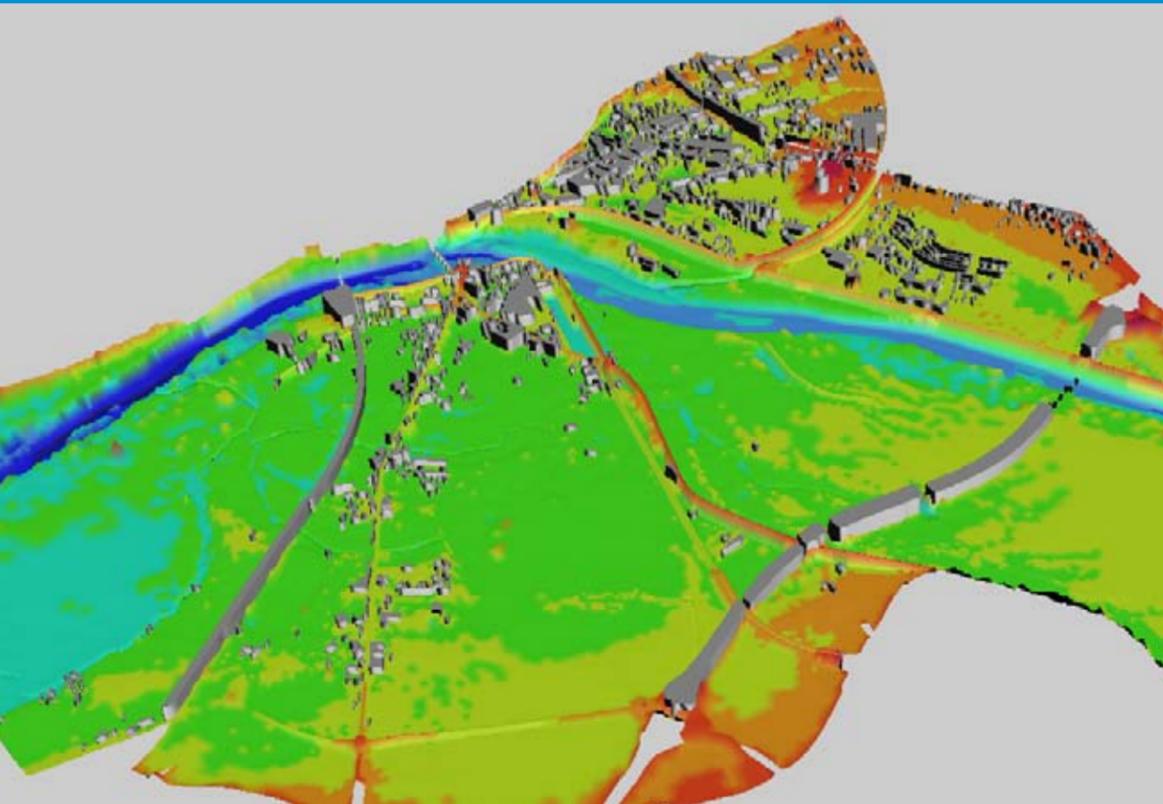
C'est également lui qui fournit les résultats hydrauliques aux limites. C'est indispensables pour la construction du modèle 2D.

## Un modèle fin pour des secteurs spécifiques

Le modèle 2D permet d'affiner les résultats sur des zones plus précises.

Il permet de savoir ce qu'il se passe en tout point donné tel que la hauteur d'eau pour déterminer quelles habitations seront touchées, au sous-sol, au rez-de-chaussée, aux étages. Il peut également calculer la vitesse de l'eau et donc permettre d'évaluer la résistance des bâtiments à un type de crue donnée.





Le risque  
d'inondation  
sur l'Agglomération  
de Nevers

Pourquoi  
et comment  
modéliser  
pour EGRIAN

# L'hydrologie alimente en eau les modèles



*Echelle de crue de la Jonction*

L'hydrologie s'intéresse à la formation des crues à partir des ruissellements sur un bassin versant

L'étude hydrologique de la Loire, de l'Allier, de la Nièvre et des petits affluents a pour but de déterminer les débits des eaux des crues de différentes forces en fonction du temps.

Six crues ont été retenues avec une évaluation de leur période de retour au Bec d'Allier :

- T= 50 ans.
- T= 70 ans.
- T= 100 ans.
- T= 170 ans.
- T= 200 ans.
- T= 500ans.

Des hydrogrammes (débit en fonction du temps) sont définis aux entrées des modèles. Ils alimentent en eau le modèle et rattachent le modèle EGRIAN au modèle Loire Moyenne.

Des crues réelles observées sont modélisées

Les crues récentes, dont on connaît les caractéristiques, sont quantifiées et injectées dans les modèles. Ce sont des crues écrêtées par le barrage de Villerest.

Pour caler les modèles, les crues récentes ont été prises, à savoir celles de 2001, 2003 et 2005.

Le modèle 2D dépend du modèle 1D

Pour le modèle détaillé 2D, c'est le modèle 1D global qui en déterminera les hydrogrammes d'entrée et de sortie.

# Niveaux à l'échelle de Nevers

## Niveaux relevés pour les crues observées

Les hauteurs d'eau atteintes à l'échelle de la Jonction lors de crues historiques et de crues récentes ont été relevées et figurent sur le schéma ci-contre. Pour les crues récentes, le barrage de Villerest a permis de limiter les niveaux d'eau.

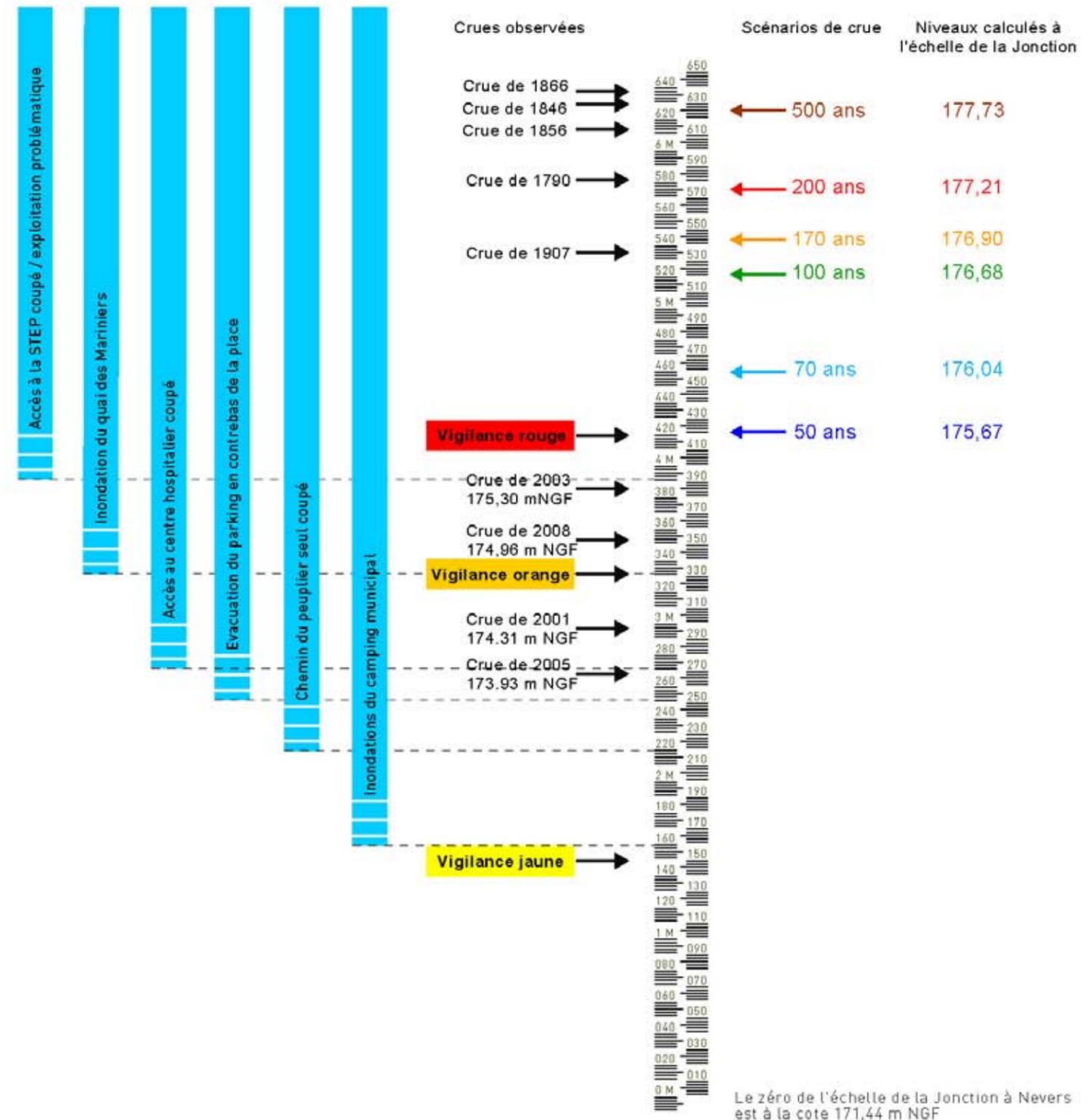
## Niveaux calculés pour les crues de référence

Les niveaux d'eau calculés par le modèle global à l'échelle de la Jonction pour les 6 crues de référence figurent sur le schéma ci-contre. L'effet de barrage de Villerest est pris en compte.



Nevers et le canal de l'embranchement lors de la crue de 2003

## Atteintes prévisibles à l'échelle de Nevers



Le zéro de l'échelle de la Jonction à Nevers est à la cote 171,44 m NGF

# Le barrage de Villerest

## Un barrage écrêteur de crue

Le barrage de Villerest, en amont de Roanne, dernier grand barrage français, a été mis en eau en 1984. Il est géré par l'Établissement Public Loire, avec pour objectifs d'écrêter les crues de la Loire et de soutenir les étiages.

## La gestion lors des crues

La gestion du barrage est de contrôler le débit sortant en ouvrant plus ou moins les vannes du barrage en fonction des débits à l'entrée de la retenue. Ainsi, au plus fort de la crue, le débit sortant est inférieur au débit entrant, ce qui atténue les niveaux maxima qui auraient été atteints à l'aval sans son action. Cet écrêtement est efficace si l'ouvrage n'est pas saturé par la crue.

## L'écrêtement, une action concrète

Lors de la crue de 2003, l'action du barrage a permis de réduire de 1 300 m<sup>3</sup>/s le débit de la Loire à Nevers et d'environ 1 m la hauteur de la crue. En novembre 2008, la réduction a été de 1 600 m<sup>3</sup>/s en sortie du barrage. Pour des crues relativement semblables en amont de Villerest, il est intéressant de comparer les débits à Nevers avec et sans barrage.



# L'hydrologie retenue pour EGRIAN avec Villerest



## Villerest protège bien Nevers

Au vu des débits caractéristiques de l'hydrologie mise au point pour l'étude « Loire moyenne », il apparaît que le barrage de Villerest protège de manière significative la Ville de Nevers.

L'écrêtement théorique permet, à l'aval immédiat du barrage, de réduire de moitié le débit pour des crues comprises entre 2 000 et 4 000 m<sup>3</sup>/s, et de réduire d'environ 1 000 m<sup>3</sup>/s au Bec d'Allier les grandes crues du type de celles du XIX<sup>ème</sup> siècle.

Ainsi, l'écrêtement de débit de 1000 m<sup>3</sup>/s correspond à une diminution du débit de pointe de la Loire à Nevers de 18 à 30 %, pour les 6 crues de référence, tandis que cette diminution ne représente que 11 à 19 % du débit de pointe au Bec d'Allier.

La crue T=100 ans de 6 000 m<sup>3</sup>/s au Bec d'Allier est composée dans l'étude EGRIAN de 3 200 m<sup>3</sup>/s d'eau de la Loire à Decize avec l'action de Villerest (soit 1000 m<sup>3</sup>/s de moins que la crue naturelle) auxquels on ajoute les 2 850 m<sup>3</sup>/s d'eau de l'Allier à Moulins.

Le barrage de Villerest



Période de retour	Q Loire à Decize		Q Nièvre à Pont St-Ours	Q Loire à Nevers		Q Allier à Moulins	Q au Bec d'Allier	
	naturel	avec Villerest		naturel	avec Villerest		naturel	avec Villerest
50 ans	3 200	2 200	103	3 300	2 300	2 130	5 200	4 200
70 ans	3 550	2 550	103	3 620	2 620	2 550	6 000	5 000
100 ans	4 200	3 200	103	4 280	3 280	2 850	7 000	6 000
170 ans	4 450	3 450	103	4 500	3 500	3 150	7 500	6 500
200 ans	4 800	3 800	103	4 870	3 870	3 350	8 000	7 000
500 ans	5 450	4 450	103	5 500	4 500	4 170	9 500	8 500

Les débits ci-dessus sont exprimés en m<sup>3</sup>/s

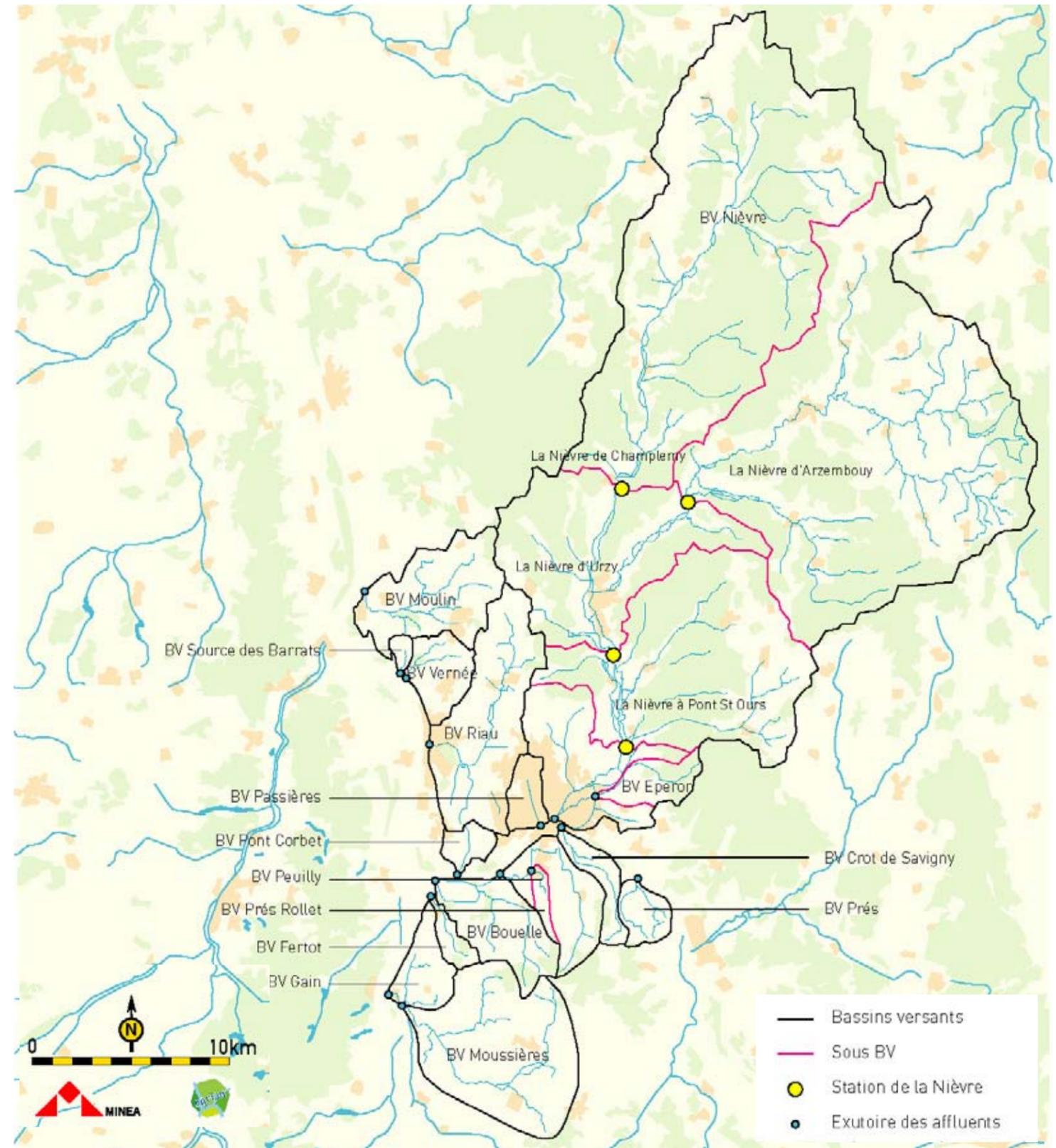
# La Nièvre et les petits affluents de la Loire

## 19 bassins versants étudiés

Les bassins versants de la Nièvre et des petits affluents de la Loire répartis sur l'ensemble de la zone d'étude ont été localisés et étudiés.

A partir de leurs caractéristiques physiques et hydrologiques, les débits de crue ont été déterminés.

Dans toutes les modélisations EGRAN, la prise en compte du débit de la Nièvre est celui d'une crue centennale, soit  $103 \text{ m}^3/\text{s}$



# Objectifs des modèles hydrauliques

Une modélisation hydraulique est une maquette numérique qui représente virtuellement les vallées avec les différents lits des rivières (mineur, endigué et majeur).

## Modéliser permet de comprendre et d'évaluer

Modéliser permet de comprendre le déroulement des crues et d'évaluer les impacts comparés d'un ou des aménagements envisagés.

Pour EGRIAN, deux objectifs conduisent à construire des modèles hydrauliques :

- Être capable d'élaborer un diagnostic de l'inondation des différentes crues en fonction de leur probabilité de survenance.
- Tester et comparer des aménagements possibles (scénarios) capables de réduire les niveaux et les vitesses des eaux lors des crues (aléas).

## Egrian a retenu deux modèles

Egrian a retenu la réalisation de deux modèles complémentaires de façon à tester, sur un secteur élargi, les impacts des aménagements et, sur le territoire de l'adn, les impacts détaillés.

### Le modèle 1D

De par sa construction en « linéaire d'écoulement » et en « bassins de stockage », le modèle dit « 1D » permet une modélisation étendue et donne une compréhension globale du territoire d'étude élargi.

Pour Egrian, c'est le modèle dit global qui est très étendu

### Le modèle 2D

Le modèle dit « 2D » prend en compte tous les détails du relief. Il est basé sur un relevé numérique de la topographie. Relativement lourd en calcul, il est plutôt réservé aux zones denses où le terrain varie d'un point à l'autre

Pour Egrian, c'est le modèle détaillé qui concerne l'adn

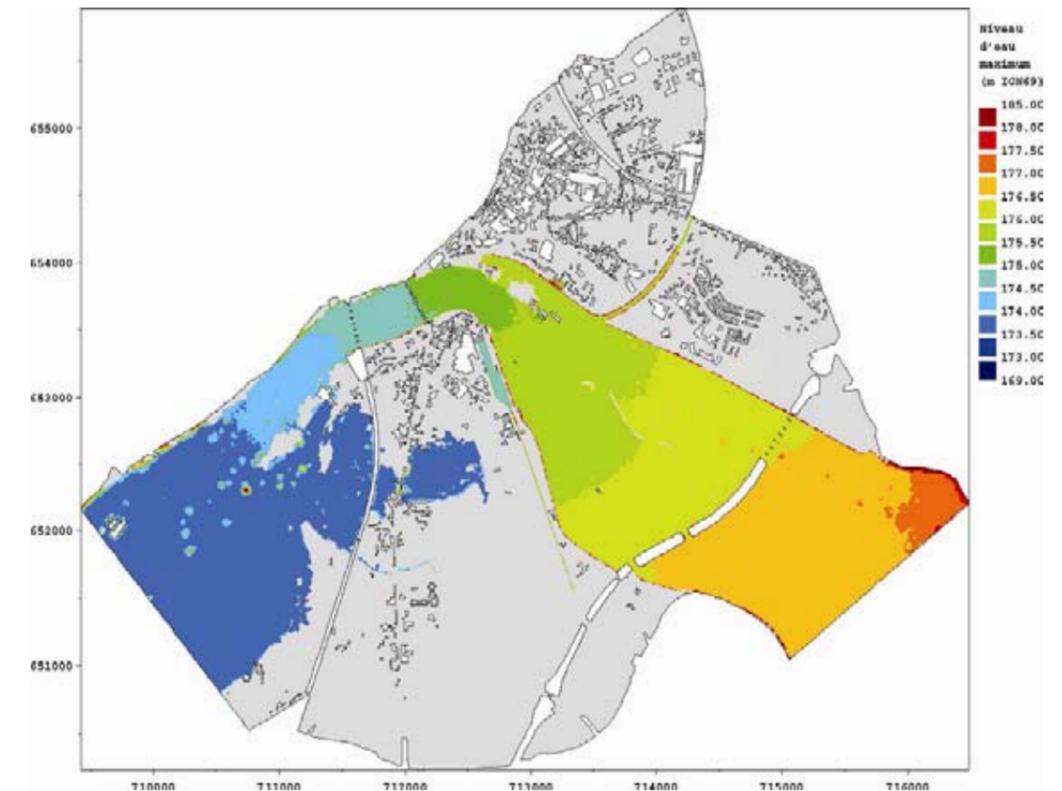
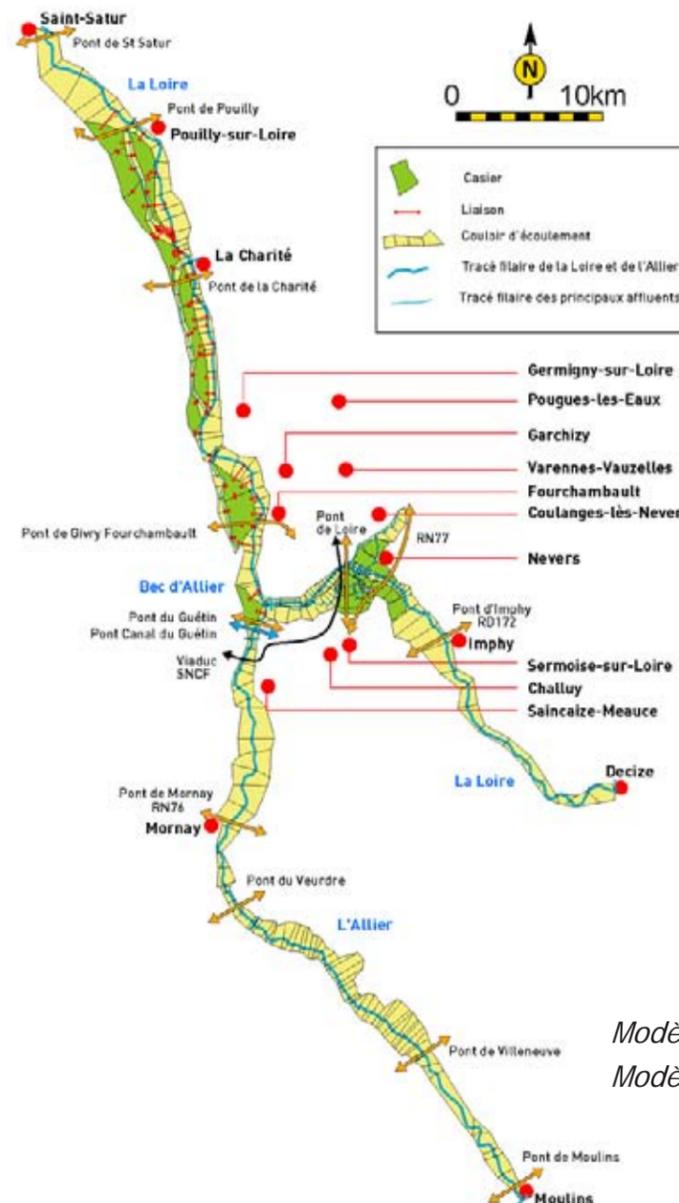


Figure 14 - Cartographie du niveau d'eau maximum pour la crue de décembre 2003

Etude EGRIAN - Modélisation bidimensionnelle

Modèle 1D  
Modèle global

Modèle 2D  
Modèle détaillé

# Le modèle global dit 1D

## Le modèle global sur un territoire étendu

Le modèle 1D adn 2008 construit par Hydratec représente la Loire de Decize à Saint-Satur, l'Allier de Moulins à la confluence et la Nièvre depuis Pont-Saint-Ours.

## Différentes entités hydrauliques

Dans ce modèle, les lits sont subdivisés en couloirs d'écoulement (les éléments filaires) et en secteurs de stockage (les casiers).

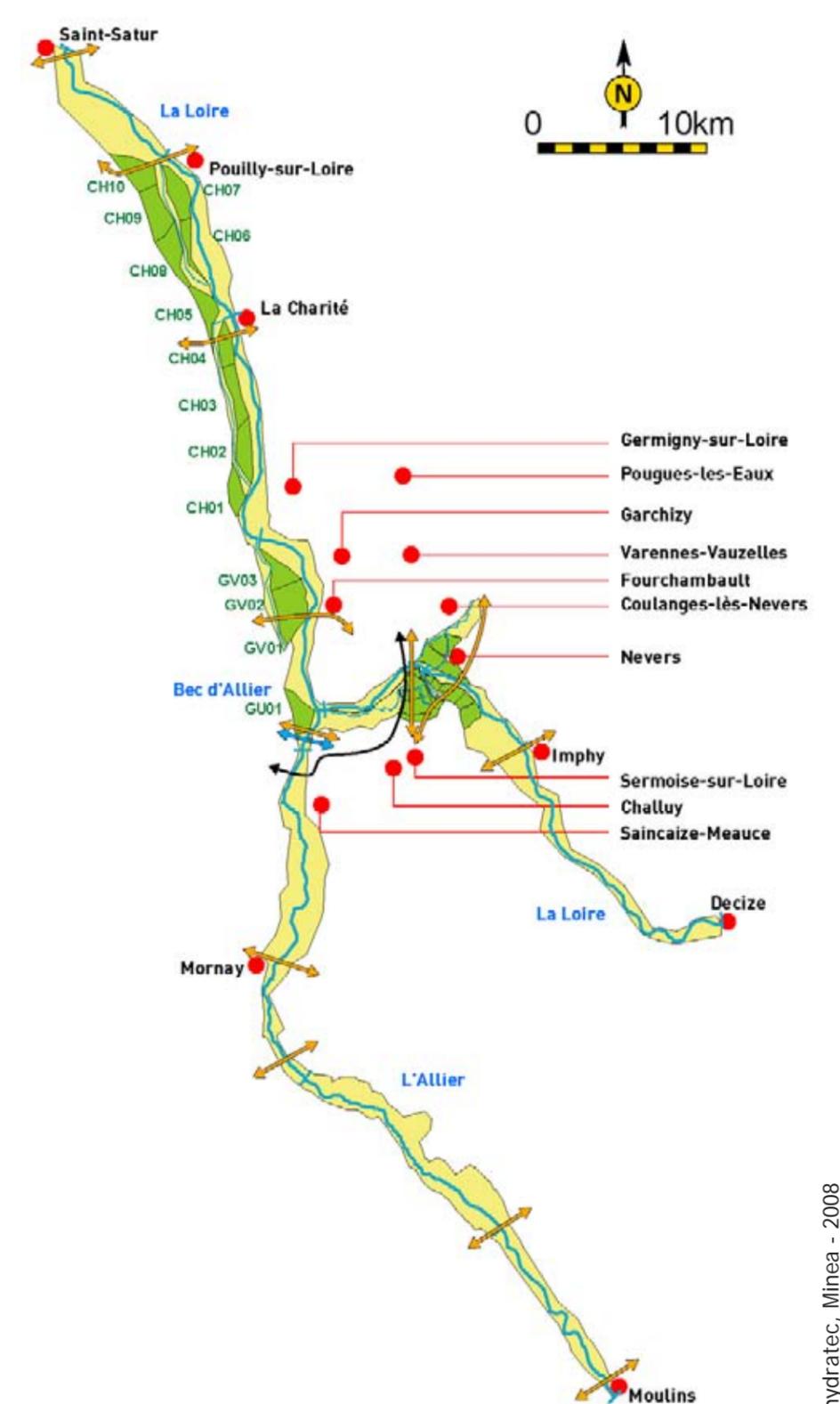
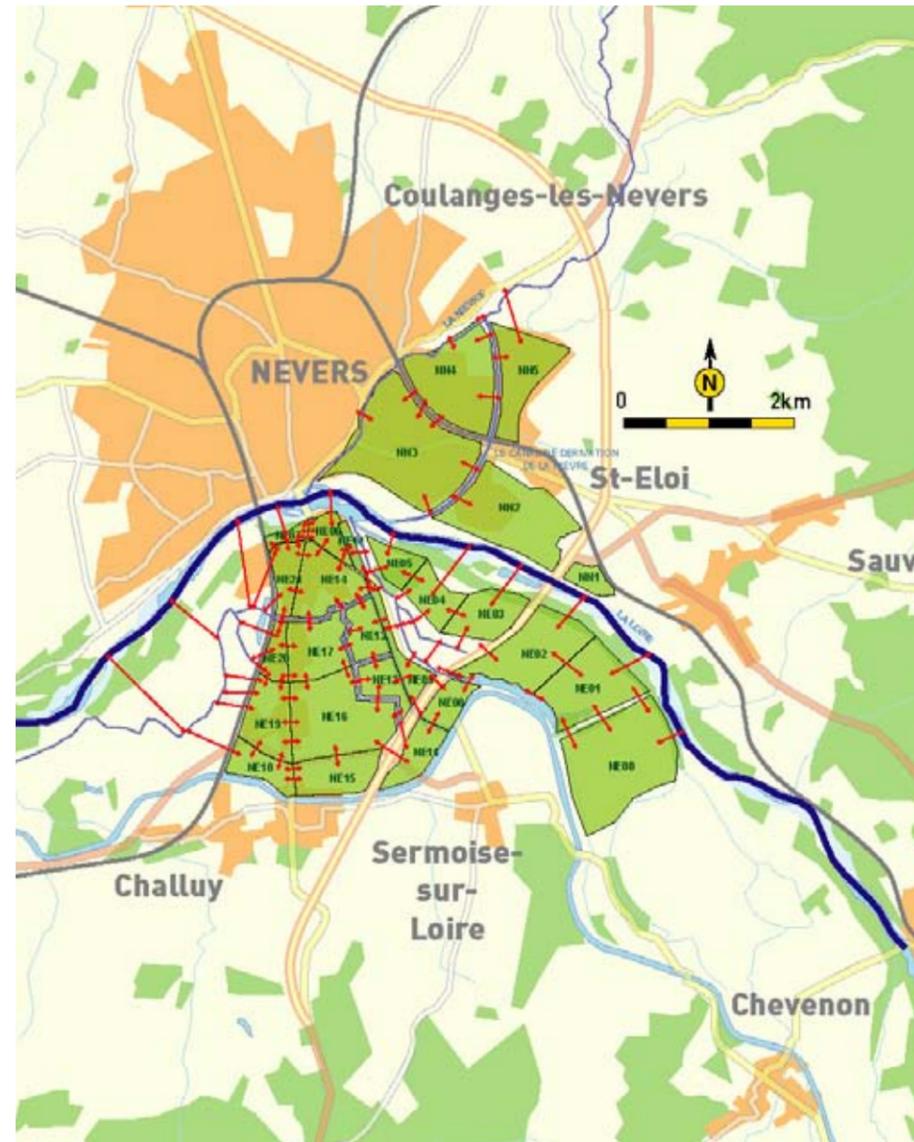
Des éléments hydrauliques spécifiques complètent cette maquette.

Entre ces espaces, des liaisons quantifient les écoulements dynamiques des flots. La mise en eau se fait à l'entrée du modèle ou aux extrémités en amont.

## La vision globale, amont/aval est indispensable

La modélisation globale est nécessaire pour la compréhension du fonctionnement du fleuve en crue et pour l'évaluation des impacts possibles des aménagements hydrauliques. Il est impératif de prendre en compte l'hydrologie en amont et de ne pas amplifier la crue en aval.

À l'échéance de juin 2008, Hydratec a réalisé ce modèle et l'a calé, en particulier pour la crue de 2003.



# Le modèle détaillé dit 2D

## Le modèle détaillé concerne les zones inondables de l'adn au niveau de Nevers, Sermoise et Challuy

La modélisation détaillée que Sogreah a construite est plus fine. Elle se centre sur les communes de l'adn entre la levée des Américains et le champ de tir. Elle permet d'évaluer l'aléa inondation de manière très précise.

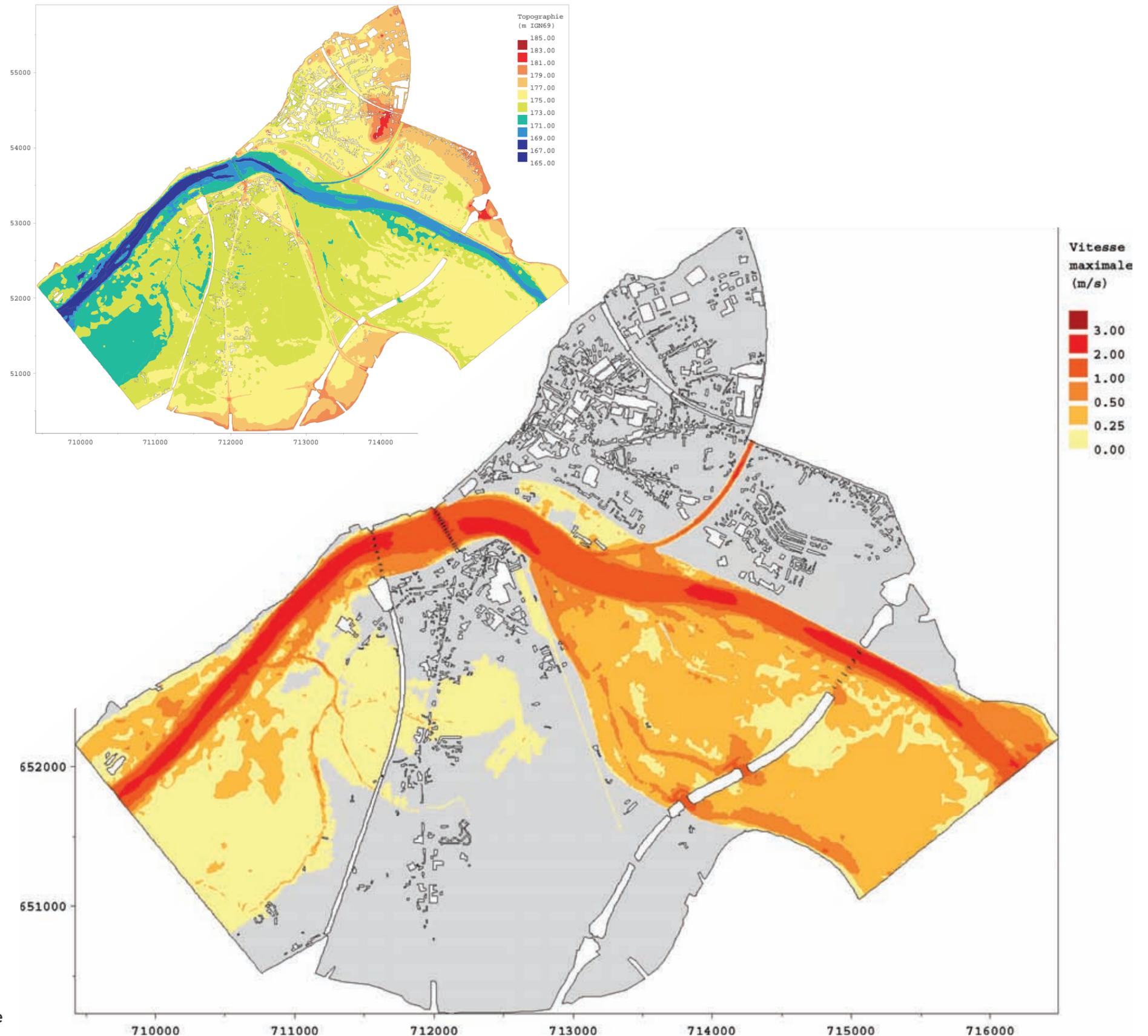
## Le modèle 2D est issu d'un modèle topographique

Les modèles dits « 2D » s'appuient sur un modèle numérique de terrain (MNT) qui prend parfaitement en compte tous les reliefs et obstacles aux écoulements. Le MNT est interprété pour construire la modélisation point par point.

Il est ensuite mis en eau à partir des données du modèle 1D. Cela permet de calculer très finement les paramètres de vitesse et de hauteur d'eau en tout point du modèle.

## Une vision fine pour comprendre l'inondation

La modélisation détaillée est la seule à pouvoir donner des vitesses et des hauteurs en tout point du secteur modélisé. Ce modèle met 2 jours pour calculer une modification, alors que le modèle global met moins de 5 minutes.



# Deux modélisations complémentaires

## Un premier modèle 1D, souple et étendu

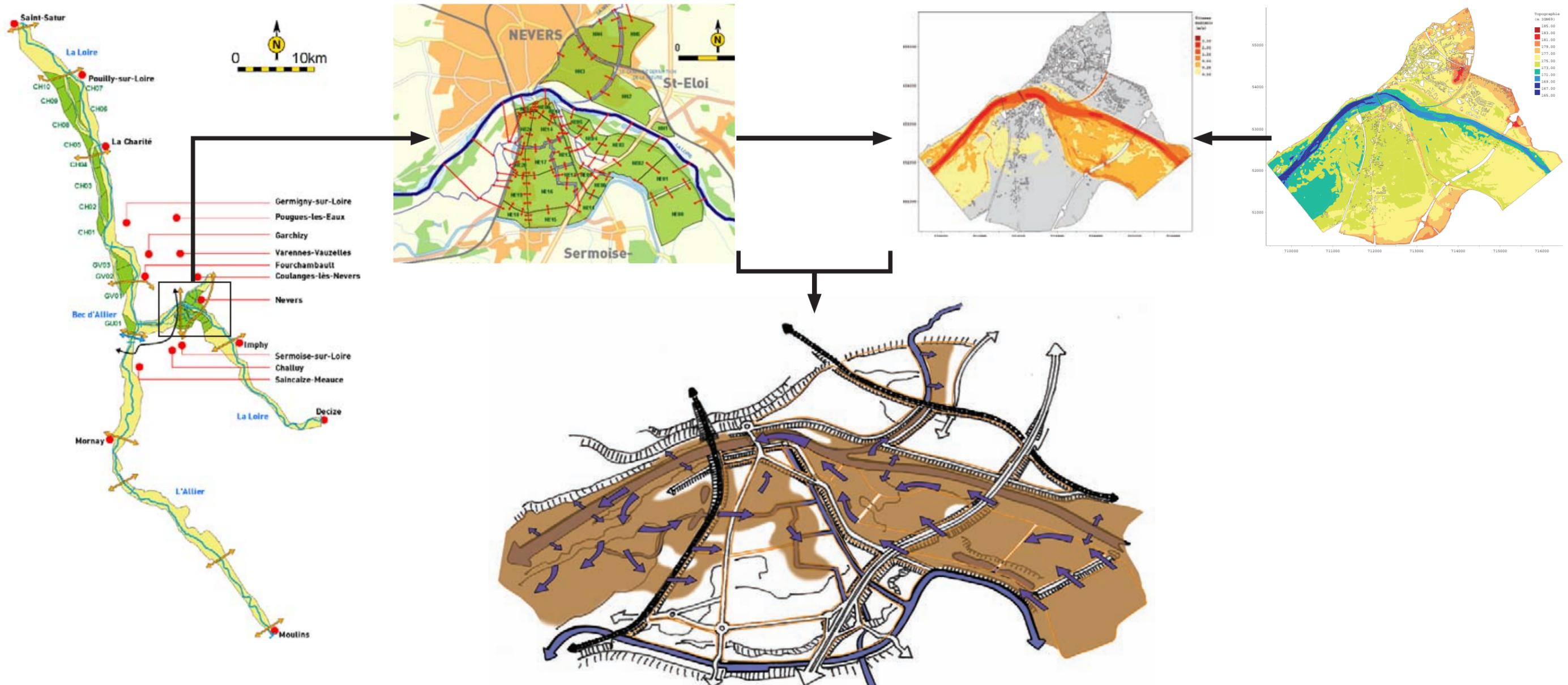
Le modèle 1D émet des hypothèses de construction qui donnent lieu à une maquette numérique représentant la réalité très fidèlement. Il a l'avantage d'être léger en calcul et permet donc une grande étendue et de multiples simulations de scénarios d'aménagement.

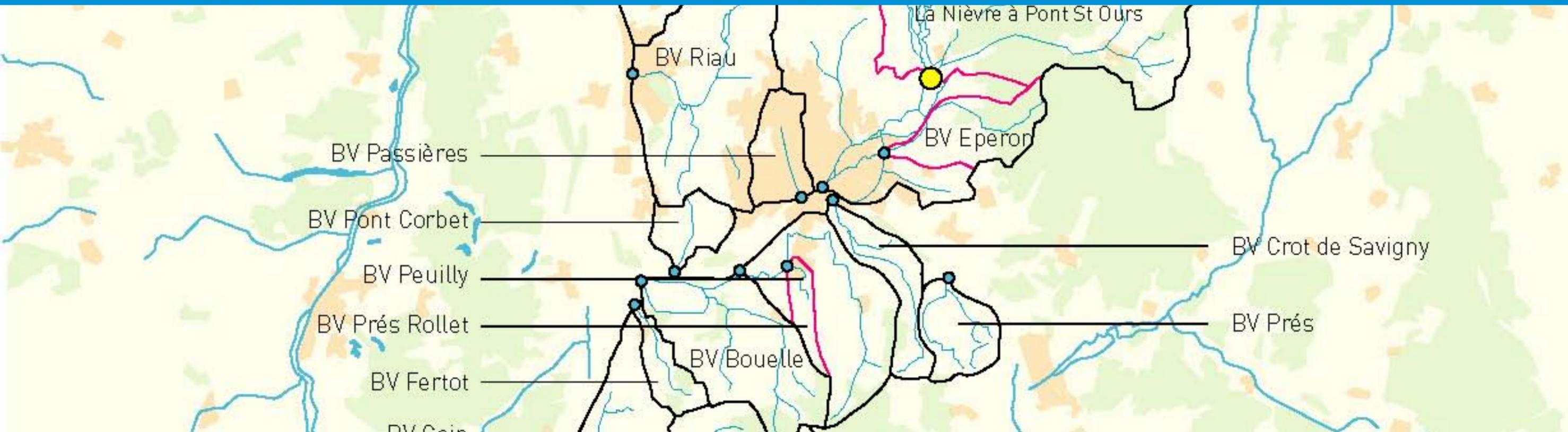
C'est également lui qui fournit les résultats hydrauliques aux limites. C'est indispensables pour la construction du modèle 2D.

## Un modèle fin pour des secteurs spécifiques

Le modèle 2D permet d'affiner les résultats sur des zones plus précises.

Il permet de savoir ce qu'il se passe en tout point donné tel que la hauteur d'eau pour déterminer quelles habitations seront touchées, au sous-sol, au rez-de-chaussée, aux étages. Il peut également calculer la vitesse de l'eau et donc permettre d'évaluer la résistance des bâtiments à un type de crue donnée.





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

Hypothèses  
 d'hydrologie  
 pour les modèles  
 de l'étude EGRIAN

# L'hydrologie alimente en eau les modèles



*Echelle de crue de la Jonction*

L'hydrologie s'intéresse à la formation des crues à partir des ruissellements sur un bassin versant

L'étude hydrologique de la Loire, de l'Allier, de la Nièvre et des petits affluents a pour but de déterminer les débits des eaux des crues de différentes forces en fonction du temps.

Six crues ont été retenues avec une évaluation de leur période de retour au Bec d'Allier :

- T= 50 ans.
- T= 70 ans.
- T= 100 ans.
- T= 170 ans.
- T= 200 ans.
- T= 500ans.

Des hydrogrammes (débit en fonction du temps) sont définis aux entrées des modèles. Ils alimentent en eau le modèle et rattachent le modèle EGRIAN au modèle Loire Moyenne.

Des crues réelles observées sont modélisées

Les crues récentes, dont on connaît les caractéristiques, sont quantifiées et injectées dans les modèles. Ce sont des crues écrêtées par le barrage de Villerest.

Pour caler les modèles, les crues récentes ont été prises, à savoir celles de 2001, 2003 et 2005.

Le modèle 2D dépend du modèle 1D

Pour le modèle détaillé 2D, c'est le modèle 1D global qui en déterminera les hydrogrammes d'entrée et de sortie.

# Niveaux à l'échelle de Nevers

## Niveaux relevés pour les crues observées

Les hauteurs d'eau atteintes à l'échelle de la Jonction lors de crues historiques et de crues récentes ont été relevées et figurent sur le schéma ci-contre. Pour les crues récentes, le barrage de Villerest a permis de limiter les niveaux d'eau.

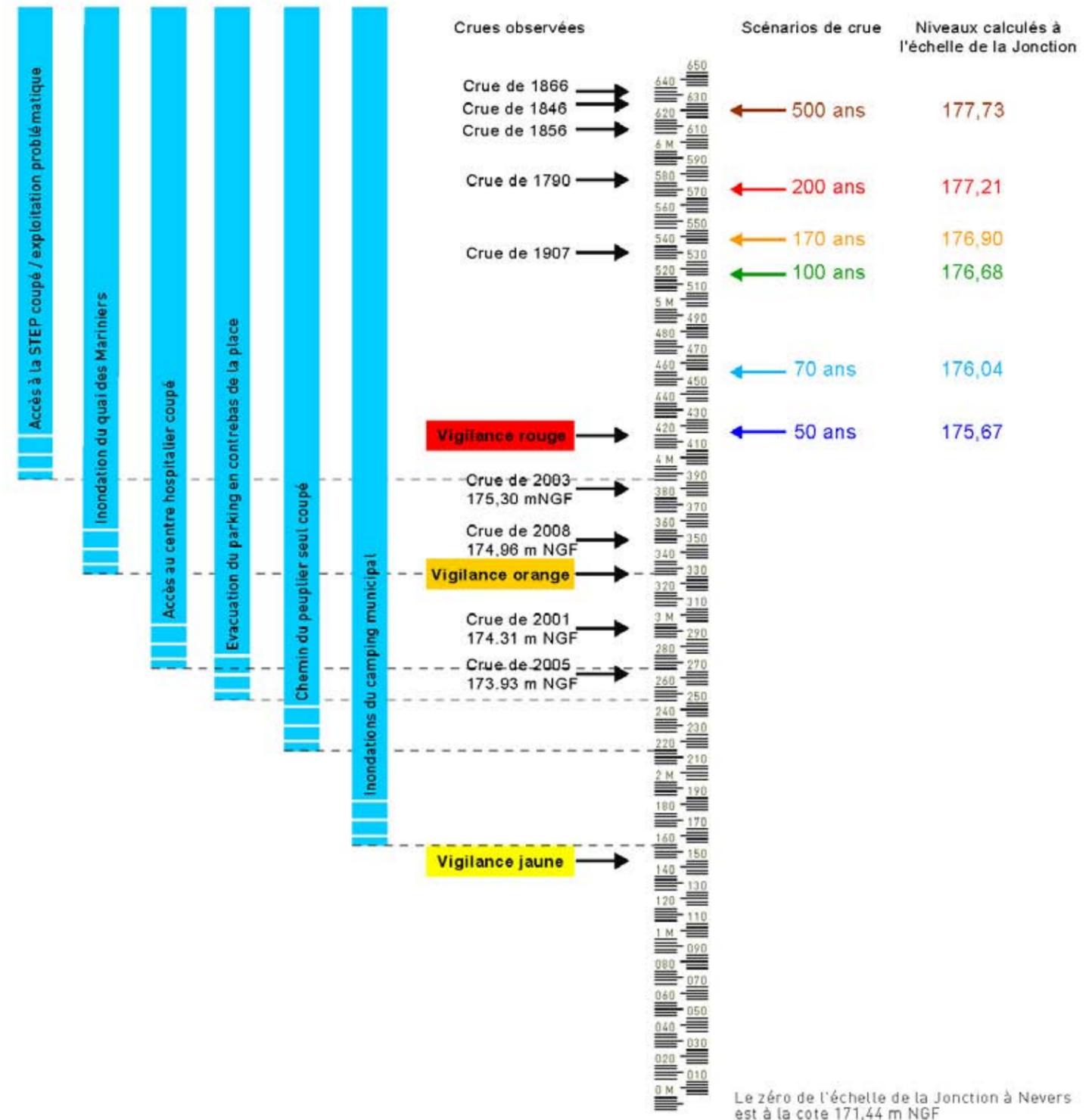
## Niveaux calculés pour les crues de référence

Les niveaux d'eau calculés par le modèle global à l'échelle de la Jonction pour les 6 crues de référence figurent sur le schéma ci-contre. L'effet de barrage de Villerest est pris en compte.



Nevers et le canal de l'embranchement lors de la crue de 2003

## Atteintes prévisibles à l'échelle de Nevers



Le zéro de l'échelle de la Jonction à Nevers est à la cote 171,44 m NGF

# Le barrage de Villerest

## Un barrage écrêteur de crue

Le barrage de Villerest, en amont de Roanne, dernier grand barrage français, a été mis en eau en 1984. Il est géré par l'Établissement Public Loire, avec pour objectifs d'écrêter les crues de la Loire et de soutenir les étiages.

## La gestion lors des crues

La gestion du barrage est de contrôler le débit sortant en ouvrant plus ou moins les vannes du barrage en fonction des débits à l'entrée de la retenue. Ainsi, au plus fort de la crue, le débit sortant est inférieur au débit entrant, ce qui atténue les niveaux maxima qui auraient été atteints à l'aval sans son action. Cet écrêtement est efficace si l'ouvrage n'est pas saturé par la crue.

## L'écrêtement, une action concrète

Lors de la crue de 2003, l'action du barrage a permis de réduire de 1 300 m<sup>3</sup>/s le débit de la Loire à Nevers et d'environ 1 m la hauteur de la crue. En novembre 2008, la réduction a été de 1 600 m<sup>3</sup>/s en sortie du barrage. Pour des crues relativement semblables en amont de Villerest, il est intéressant de comparer les débits à Nevers avec et sans barrage.



# L'hydrologie retenue pour EGRIAN avec Villerest



## Villerest protège bien Nevers

Au vu des débits caractéristiques de l'hydrologie mise au point pour l'étude « Loire moyenne », il apparaît que le barrage de Villerest protège de manière significative la Ville de Nevers.

L'écrêtement théorique permet, à l'aval immédiat du barrage, de réduire de moitié le débit pour des crues comprises entre 2 000 et 4 000 m<sup>3</sup>/s, et de réduire d'environ 1 000 m<sup>3</sup>/s au Bec d'Allier les grandes crues du type de celles du XIX<sup>ème</sup> siècle.

Ainsi, l'écrêtement de débit de 1000 m<sup>3</sup>/s correspond à une diminution du débit de pointe de la Loire à Nevers de 18 à 30 %, pour les 6 crues de référence, tandis que cette diminution ne représente que 11 à 19 % du débit de pointe au Bec d'Allier.

La crue T=100 ans de 6 000 m<sup>3</sup>/s au Bec d'Allier est composée dans l'étude EGRIAN de 3 200 m<sup>3</sup>/s d'eau de la Loire à Decize avec l'action de Villerest (soit 1000 m<sup>3</sup>/s de moins que la crue naturelle) auxquels on ajoute les 2 850 m<sup>3</sup>/s d'eau de l'Allier à Moulins.

Le barrage de Villerest



Période de retour	Q Loire à Decize		Q Nièvre à Pont St-Ours	Q Loire à Nevers		Q Allier à Moulins	Q au Bec d'Allier	
	naturel	avec Villerest		naturel	avec Villerest		naturel	avec Villerest
50 ans	3 200	2 200	103	3 300	2 300	2 130	5 200	4 200
70 ans	3 550	2 550	103	3 620	2 620	2 550	6 000	5 000
100 ans	4 200	3 200	103	4 280	3 280	2 850	7 000	6 000
170 ans	4 450	3 450	103	4 500	3 500	3 150	7 500	6 500
200 ans	4 800	3 800	103	4 870	3 870	3 350	8 000	7 000
500 ans	5 450	4 450	103	5 500	4 500	4 170	9 500	8 500

Les débits ci-dessus sont exprimés en m<sup>3</sup>/s

# La Nièvre et les petits affluents de la Loire

## 19 bassins versants étudiés

Les bassins versants de la Nièvre et des petits affluents de la Loire répartis sur l'ensemble de la zone d'étude ont été localisés et étudiés.

A partir de leurs caractéristiques physiques et hydrologiques, les débits de crue ont été déterminés.

Dans toutes les modélisations EGRIAN, la prise en compte du débit de la Nièvre est celui d'une crue centennale, soit  $103 \text{ m}^3/\text{s}$

