



**HAL**  
open science

## Le SIG : Aide à la connaissance et à la gestion des crues en Val de Loire

Stéphane Grivel, Emmanuele Gautier

### ► To cite this version:

Stéphane Grivel, Emmanuele Gautier. Le SIG : Aide à la connaissance et à la gestion des crues en Val de Loire. Giret, Alain. Le risque hydrologique: du concept à sa gestion. Actes du Colloque "Les rencontres de Géo 13", Université de Paris 13, le 28 octobre 2005, Éditions Le Manuscrit, 2007, 2-7481-8598-6. hal-01408176

**HAL Id: hal-01408176**

**<https://hal.science/hal-01408176v1>**

Submitted on 3 Dec 2016

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**LE SIG : AIDE A LA CONNAISSANCE ET A LA GESTION DES CRUES  
EN VAL DE LOIRE**

---

STEPHANE GRIVEL, EMMANUELE GAUTIER  
LABORATOIRE CEDETE (ORLEANS) & LABORATOIRE DE GEOGRAPHIE PHYSIQUE  
1 place A.Briand, 92195 Meudon Cedex, France  
[stephane.grivel@univ-orleans.fr](mailto:stephane.grivel@univ-orleans.fr), [emmanuele.gautier@cnrs-bellevue.fr](mailto:emmanuele.gautier@cnrs-bellevue.fr)

**RÉSUMÉ**

*Un Système d'Information Géographique (SIG) a été spécialement conçu pour comprendre et suivre l'évolution hydro-morphodynamique de la Loire à travers un corridor expérimental en Loire moyenne. Cette base de données pluridisciplinaire s'intéresse tout particulièrement aux crues du fleuve depuis 2002. L'extension spatiale, les conditions hydrologiques, les hauteurs d'eau et les impacts géomorphologiques de ces crues sont suivis très précisément. Il s'agit de comparer des crues de différentes intensités et d'en cerner les modes de fonctionnement. En décembre 2003, est survenue une crue de récurrence trentennale avec un débit de  $3\,450\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ , qui peut être considérée comme la troisième plus importante depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle. Son analyse couplant le terrain et le SIG, apporte des résultats pertinents dans le contexte actuel d'évolution de la Loire. Cet article aborde ainsi l'utilisation et l'apport de cet outil SIG à l'étude et la gestion des crues ligériennes, et met en avant les diverses méthodes de couplage de l'analyse spatiale.*

**MOTS CLES :** *crue - dynamique fluviale – prévention – gestion – environnement – SIG - Loire*

**ABSTRACT**

**GIS : a tool dedicated to study and management of floods in the Loire Valley**

*A Geographic Information System (GIS) has been specially developed in order to understand and follow the hydro-morphodynamic evolution of the Loire River through an experimental reach in the Middle Loire valley. This pluri-disciplinary data base particularly focuses on the river's floods since 2002. Spatial extension, hydrological conditions, water levels and geomorphological impacts in relation to floods are accurately monitored. The object is to compare various hydrologic events and to establish their way of functioning. In December 2003, a large flood occurred, with a discharge of  $3,450\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  (return period of 30 years), that can be considered as one of the highest hydrologic events since the beginning of the 20<sup>th</sup> century. This flood was analysed on the fields and using the GIS, and delivers representative results concerning the Loire river's present evolution. This article covers the use and benefits of the GIS as a tool in the study and management of regional floods, and it highlights the various methods of spatial analysis.*

**KEY WORDS :** *flood - fluvial dynamics – mitigation – management – environment – GIS - Loire River*

## Introduction

Les risques naturels sont au cœur de bon nombre de débats sociopolitiques à travers le monde, tout particulièrement en France où le risque d'inondation représente l'un des risques naturels majeurs. Le plus long fleuve de France, la Loire, en est certainement une des meilleures représentations en menaçant plus de 300 000 personnes situées en zone inondable. Pourtant, les dernières crues catastrophiques de la Loire qui datent du 19<sup>ème</sup> siècle, ont laissé à la mémoire collective le temps, plus d'un siècle, de s'estomper et d'oublier ce risque hydrologique. Connaître les crues et les risques associés en Val de Loire est devenu une nécessité civile et même gouvernementale, avec la mise en place du Plan Loire Grandeur Nature (1994-2005). Cet article propose une analyse fine d'une crue récente importante, décembre 2003, à travers l'utilisation réfléchie d'un Système d'Information Géographique, outil informatique entièrement voué à la connaissance spatiale et fonctionnelle des crues et de leurs impacts en Val de Loire. Cette démonstration concerne la plaine d'inondation d'un secteur expérimental en Loire moyenne (65 km<sup>2</sup>)<sup>1</sup>.

## Caractéristiques et problématiques

La Loire, longue de 1 012 km drainant un bassin 115 000 km<sup>2</sup> (fig. 1), est considérée comme l'un des derniers « fleuves sauvages d'Europe ». Cette reconnaissance écologique européenne cache pourtant mal la diversité et l'ancienneté d'aménagements embrassant le cours du fleuve. Levées, digues, épis, quais, déversoirs, centrales nucléaires et grands barrages ont été installés au cours des siècles le long de ce fleuve occupé par les sociétés humaines depuis l'Antiquité (Gautier *et al.*, sous presse ; fig. 1). L'agriculture dans la plaine d'inondation, la navigation commerciale et la protection contre les crues ont constitué des facteurs majeurs en matière d'aménagement du cours ligérien (de *Liger*, la Loire).

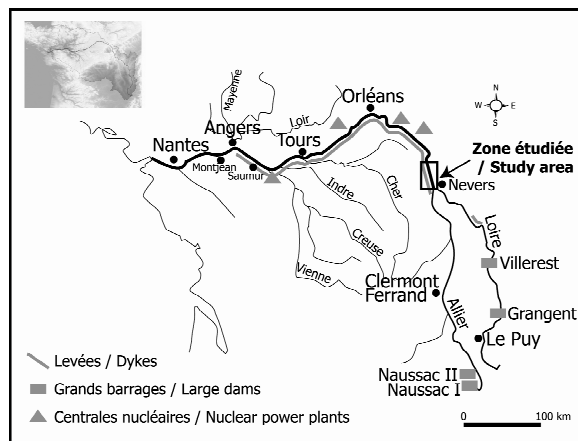


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude  
*Location of the study area*

<sup>1</sup> Les données de débit citées dans le présent article font référence à la station de jaugeage de Givry-Fourchambault (Nièvre) en aval immédiat de la confluence la Loire et de son affluent principal, l'Allier.

Malgré cela, la Loire se caractérise par une hydrologie relativement naturelle et capricieuse avec ses périodes de basses eaux en été et ses hautes eaux centrées sur les hivers. Le débit moyen de la Loire à la station de référence de Givry en Loire moyenne est de  $320 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Les crues peuvent survenir à n'importe quelle période de l'année suivant les conditions météorologiques favorables à ces phénomènes. La taille du bassin versant en est principalement la cause puisqu'il collecte et évacue des précipitations aussi bien d'origine océanique que méditerranéenne. Le risque d'inondation est donc très fort dans la vallée de la Loire et peut se résumer en trois types de crues. Des crues dites cévenoles prenant forme dans les hauts bassins de la Loire et se caractérisant par leur rapidité de montée et de décrue. Des crues dites océaniques, localisées de la Loire moyenne à son bassin inférieur, et qui se différencient par leur lenteur et leur étendue dans le temps. Enfin, les crues dites mixtes, les plus catastrophiques, se forment par conjonction des deux types de crues précédentes et peuvent s'abattre sur tout le Val de Loire, comme en atteste l'historique des crues, avec par exemple au cours du 19<sup>ème</sup> siècle trois événements supérieurs à  $7\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (1846, 1856 et 1866, fig. 2) (Dacharry, 1974 et 1996). Or en l'espace de vingt ans seulement, trois crues de récurrence centennale sont passées en Loire moyenne engendrant pertes humaines et désastres socio-économiques. Depuis 1866, on ne note que sept crues supérieures à  $3\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  ; la dernière en décembre 2003 est au centre de cet article. Le lit majeur de la zone étudiée, à hauteur de Pouilly-sur-Loire (Nièvre) à 150 km en amont d'Orléans, est nettement dissymétrique. La rive droite du fleuve est caractérisée par des coteaux calcaires abrupts propices à la vigne (Pouilly fumé) laissant peu de possibilité d'extension aux crues. Contrairement à la rive gauche qui correspond à une plaine d'inondation très étendue pouvant atteindre quatre kilomètres de large. L'inondation de la plaine dans notre secteur d'étude est contrôlée par des levées discontinues, construites aux 18<sup>ème</sup> et 19<sup>ème</sup> siècles. La fonction première de ces ouvrages n'était pas la réduction des inondations dans la plaine, mais l'amélioration des conditions de navigation (Teman, 2005). Ces levées sont séparées par des « déversoirs » qui assurent l'entrée progressive de l'eau dans la plaine (fig. 4). De ce fait, la vulnérabilité de ce secteur est assez importante du fait de l'existence de ces déversoirs qui restaurent l'inondabilité de la plaine afin de protéger les villes situées en aval (Cosne, Gien, et surtout Orléans, Tours...). Trois communes berrichonnes de rive gauche sont ainsi fortement exposées au risque d'inondation (Couargues, Herry et La Chapelle-Montlinard).

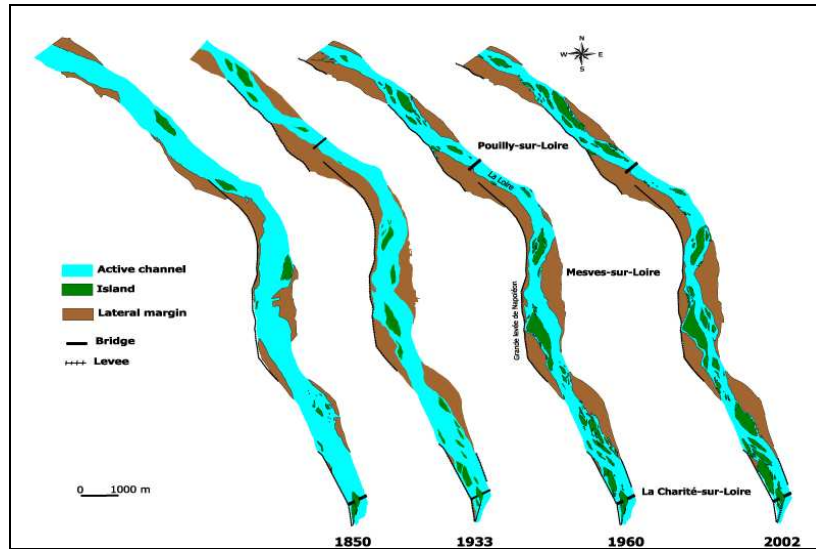


Figure 2 : Evolution du lit de la Loire entre La Charité-sur Loire et Tracy-sur-Loire (Cher) de 1850 à 2002  
*Fluvial bed evolution of the Loire River between La Charité-sur Loire and Tracy-sur-Loire (Cher)*

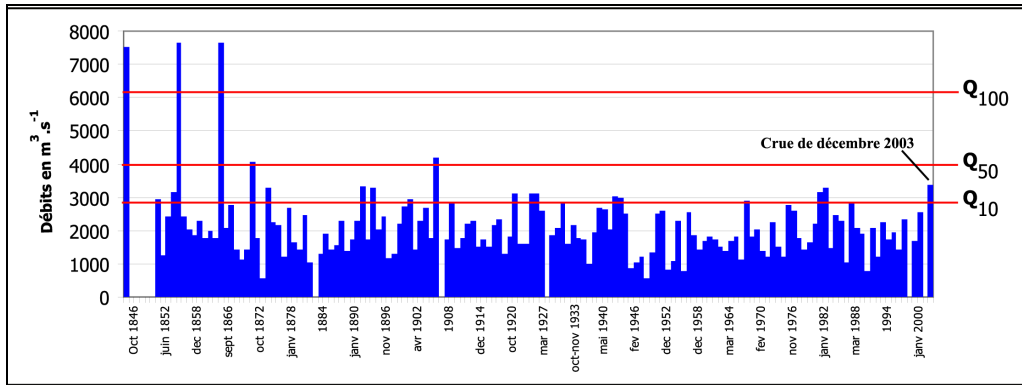


Figure 3 : Débits maximaux annuels de la Loire depuis 1846 (Données hydrologiques DIREN de Bassin et Réseau CRISTAL)  
*Maximal annual discharges of the Loire River since 1846. (Hydrologic data : Diren de Bassin and Réseau Cristal)*

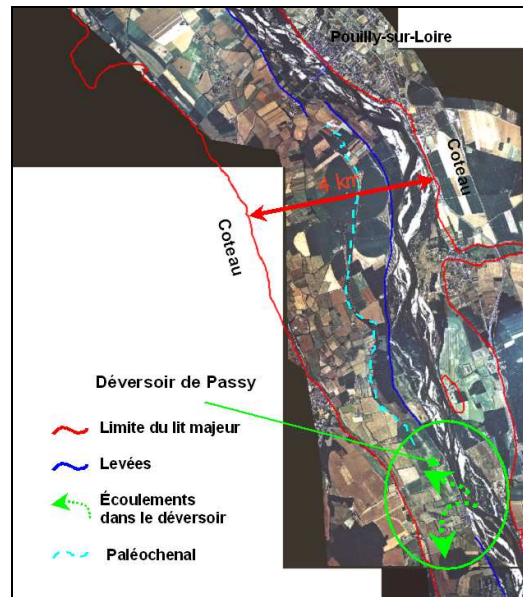


Figure 4 : Aménagements de la plaine dans la zone d'étude  
*Fluvial engineering works of the floodplain in the study area*

### Chronique d'une crue annoncée

Chronologiquement, une dépression importante venant de la Mer Méditerranée s'est attardée quarante-huit heures au dessus du Massif Central. Pour conséquence, d'importantes précipitations se sont abattues sur les hauts bassins cévenols de la Loire et de l'Allier les 1<sup>er</sup> et 2 décembre 2003. Le vaste réseau de surveillance du bassin de la Loire, CRISTAL de la DIREN Centre, est mis en alerte et délivre des bulletins d'information réguliers. L'équipe du Laboratoire de Géographie Physique de Meudon (CNRS UMR 8591) est de son côté à pied d'œuvre sur le terrain pour étudier la crue annoncée en Loire moyenne dans les jours à venir. L'hydrogramme de crue montre parfaitement l'évolution des débits sur dix jours (fig. 3). Il s'agit clairement d'une crue dite cévenole, puisque la montée et la décrue sont rapides dans le temps, avec concomitance des crues de la Loire et de l'Allier. Le débit de plein bord est atteint sur le secteur étudié le 4 décembre 2003 et la crue pointe son pic le 6 décembre au soir (fig. 5 et 6). La décrue s'amorce. La crue est arrivée dans un contexte de longue sécheresse (sécheresse et canicule de 2003). Les nappes étaient très basses et n'étaient pas remontées depuis près de 8 mois. En quelque sorte la sécheresse de 2003 a fortement limité l'intensité et les conséquences de la crue de décembre 2003. L'article d'Aurélié Woudstra complète très bien celui-ci en mettant en lumière l'impact sociologique de cette crue et la paralysie engendrée dans la plaine d'inondation, pour une crue qui était annoncée plusieurs jours avant son expansion dans ce secteur de la Loire moyenne. Nous nous attarderons ici sur les impacts morpho-dynamiques de la crue de décembre 2003.

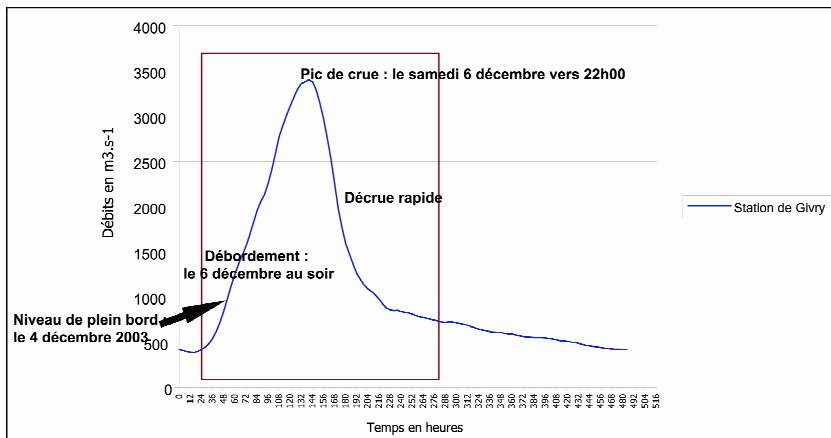


Figure 5 : Hydrogramme de la crue de décembre 2003 (Données hydrologiques : Diren de Bassin et Réseau Cristal)  
*Hydrogram of the December 2003 flood (Hydrologic data: Diren de Bassin, Réseau Cristal)*



Figure 6 : Déraillement de l'inondation pendant la crue de décembre 2003 :

- (a, b, c) : vue est-ouest de la butte de Pouilly-sur-Loire (Nièvre) vers la commune de Couargues (Cher, hameau de La Martinaterie) : a) niveau de plein bord le 5 décembre ; b) débordement le 6 ; c) extension maximale de l'inondation le 7
- (d) Site isolé des Vallées (commune de Couargues, Cher) (photographies a, b, c : les auteurs ; d : M. Louchart, pilote de l'aéroclub de Cosne-sur-Loire)

***Progress of the inundation during the December 2003 flood:***

*(a, b, c) : East-West view from the hill of Pouilly-sur-Loire (Nièvre) to the village of Couargues (Cher, La Martinaterie hamlet) : a) bankfull stage level December 5<sup>th</sup>; b) overbank level, December 6<sup>th</sup>; c) maximal extension of the inundation 7<sup>th</sup> December*

*(d): Isolation of Les Vallées village (Couargues, Cher)*

*a, b, c : pictures of the authors ; d) M. Louchart, pilot of the Flying club of Cosne-sur-Loire*

### **La mise en œuvre du SIG**

Les travaux de terrain se sont focalisés sur le suivi de l'expansion de la crue par observations directes et en réalisant des relevés précis au GPS différentiel (permettant des précisions centimétriques et des recalages avec les côtes IGN69) : limites de la tâche de l'inondation, hauteurs d'eau, ce travail de terrain a été relayé par l'exploitation sous un Système d'Information Géographique (SIG).

Sous le SIG-Crue, une base de données riche et variée permet de répondre à ces interrogations géomorphologiques et environnementalistes. Des couches thématiques ont été créées à partir des relevés et des mesures de terrain. Ces couches d'information sont interactives et se découpent en plusieurs points :

- la tâche d'inondation maximale, du 7 décembre 2003, montre clairement les surfaces inondées lors de cette crue et révèle les secteurs épargnés dans la plaine d'inondation. Il est tout à fait possible de récréer la chronologie de l'expansion spatiale de cette tâche depuis le 5 décembre jusqu'à la décrue ;
- la localisation et l'orientation des écoulements dans la plaine d'inondation ;
- les hauteurs d'eau tout au long de la courbe de progression de la crue à l'aide des levés au DGPS ;
- des liens dynamiques vers des photographies et des mini-séquences vidéos afin de visualiser et vulgariser l'ampleur de l'événement ;
- des couches d'information complémentaire réalisées par Aurélie Woudstra pour son approche socio-géographique, donnant une dimension sociale à cet SIG-Crue (typologie du mitage de la plaine d'inondation, gestion de la crise...).

### **L'apport du SIG dans la compréhension du fonctionnement hydrologique de la plaine**

La morphologie du lit a profondément évolué depuis le fin du 19<sup>ème</sup> siècle. D'un chenal unique en 1850 qui occupe plus de 75 % de l'espace disponible entre le coteau de rive droite et les levées de rive gauche, nous sommes passés aujourd'hui à un chenal réduit qui ne représente plus que 40 % de cet espace, parcouru d'un réseau de bras secondaires et encombré par de très nombreuses îles (fig.2). La végétalisation du lit de la Loire et la croissance des îles fluviales s'amorcent largement dans la première moitié du 20<sup>ème</sup> siècle (Grivel et Gautier, soumis). Les changements environnementaux, qu'ils soient humains comme l'arrêt de la navigation en Loire et le recul des usages agro-pastoraux, ou hydro-climatiques avec la diminution de l'activité des crues, posent de véritables interrogations quant au devenir du fleuve. Cette modification significative du lit ligérien est très importante, car les cartes d'aléas actuelles ont été établies en référence à la crue de 1846. Les Plus Hautes Eaux Connues en 1846 se sont écoulées dans des conditions différentes d'aujourd'hui. Il est donc essentiel de tenir compte de la réactualisation de ces cartes d'aléas au regard d'une approche originale en Loire moyenne : le suivi de la crue de décembre 2003. Le SIG propose donc une cartographie inédite de l'extension et du nivellement de la crue et constitue un document précieux dans la réactualisation des Plans de Prévention du Risque d'Inondation (PPRI) (fig. 7). Cette cartographie de la tâche d'inondation montre des zones d'habitats épargnées correspondant aux constructions les plus anciennes, bâties sur des buttes alluvionnaires naturelles. Ce point reste tout à fait pertinent puisque la totalité de la plaine d'inondation est considérée en zone inondable, constituant un frein au développement raisonné de cet espace. Des autorisations de construire des hangars agricoles sont par exemple refusées dans ce contexte de zone inondable.

Cette cartographie revêt une autre dimension avec l'insertion des hauteurs d'eau qui pourront servir ultérieurement à une modélisation de la crue dans le lit majeur afin d'en comprendre le fonctionnement.



Le sens et la chronologie des écoulements dans la plaine d'inondation sont révélés par la remise en eau d'un paléochenal et par l'influence du déversoir de Passy. Cette crue a été l'occasion de retrouver et de valider la localisation d'anciens chenaux qui avaient été repérés par télédétection et par l'utilisation d'un Modèle Numérique de Terrain –Laser<sup>2</sup>. L'analyse du déroulement de la crue révèle un fonctionnement complexe. En premier lieu, la remontée du niveau de la nappe a provoqué la remise en eau très rapide (en 2 h environ, le 6 décembre au soir, immédiatement avant le pic de crue) des parties les plus profondes d'un paléo-chenal qui court dans la plaine en rive gauche sur plusieurs km, parallèlement à la Loire (fig. 4). D'autre part, le déversoir de Passy a provoqué l'entrée de l'eau dans la plaine dans deux directions : vers l'amont et vers l'aval, où il va remettre en fonction l'ensemble de ce paléo-chenal, qui va alors canaliser une partie des écoulements (fig. 4). Enfin, l'inondation s'est étendue à toute la plaine. La remise en fonction de ces diverses annexes hydrauliques est tout à fait intéressante en matière de risque hydrologique et le SIG permet de bien spatialiser le fonctionnement (fig. 8).

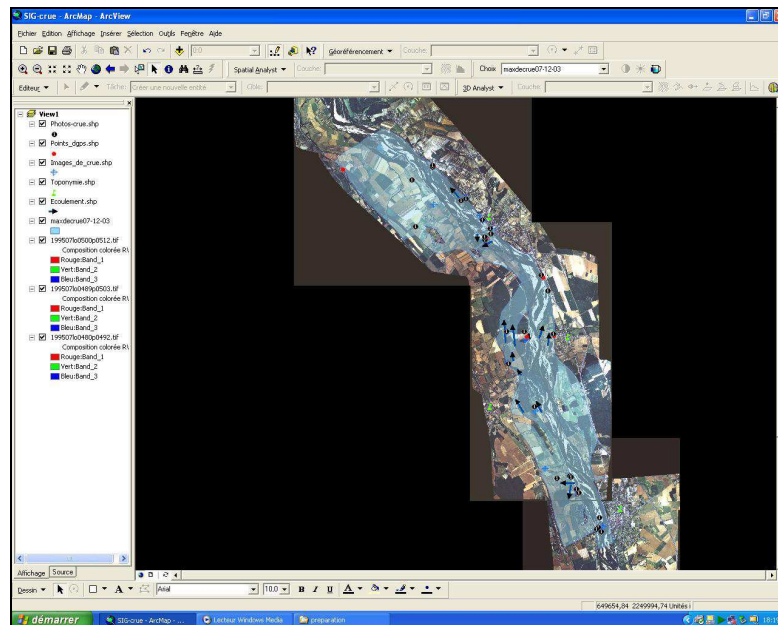


Figure 7 : Le SIG-Crue : cartographie et spatialisation de la crue de décembre 2003  
*Flood GIS : cartography of flood extension*

<sup>2</sup> MNT laser réalisé à partir des semis de points levés par un système aéroporté en 2002, programme commandé par la DIREN Centre



Figure 8 : Inventaire des annexes hydrauliques en activité dans le SIG  
*Inventory of active hydraulic annexes within the GIS*

Le SIG consacré à la crue devient ainsi un véritable outil d'interprétation et également un support pédagogique informatisé en constituant une base de données iconographique. L'information et les enseignements tirés de la crue sont indispensables pour tout travail de prévention et de cyndinique dans ce contexte de risque hydrologique. Bien plus qu'un outil au service de l'Homme, le SIG est une « arme » contre l'oubli, les erreurs et les carences d'une gestion du risque. En somme, cette analyse spatiale apporte des données essentielles et montre toute la complexité d'un tel risque hydrologique : de nombreux facteurs se conjuguent pour déterminer l'ampleur d'une crue. La complexité du fonctionnement du fleuve dans son lit majeur invite à s'interroger sur l'interprétation qu'en font les sociétés humaines en y étant directement confrontées.

### **Impacts morphodynamiques et enseignements**

Cette approche à moyenne échelle reste donc pertinente pour comprendre la dynamique de la crue. Il était également essentiel d'évaluer les impacts de cette forte crue sur la morphologie du fleuve, par rapport aux problématiques actuelles d'évolution de la Loire : la dégradation du lit mineur par enfoncement du chenal principal, réduction de la bande active et végétalisation. Une crue aussi importante a-t-elle eu la capacité morphogénique suffisante pour enrayer la tendance actuelle d'évolution de la Loire ? A-t-elle permis une régénération importante du lit fluvial ?

Les îles, îlots, francs-bords (marges du fleuve), bancs, et bras secondaires constituent les formes fluviales de la Loire moyenne. Ces formes sont particulièrement intéressantes car elles enregistrent les perturbations environnementales que le fleuve a subi depuis le 18<sup>ème</sup> siècle. Les périodes de grandes crues de la Loire, liées au Petit Age Glaciaire en Europe occidentale, constituent un facteur environnemental majeur dans les modifications morphologiques du fleuve. On parle de crues morphogènes, de crues capables de modeler la morphologie des

formes fluviales et redistribuer les cortèges sédimentaires et floristiques (Amoros et Petts, 1993 ; Schumm, 1977). Toute la problématique d'évolution du fleuve repose sur le rôle des crues dites morphogènes qui sont finalement, on l'a vu, des événements rares depuis le 19<sup>ème</sup> siècle (fig. 3). Or cette crue de décembre 2003 est, de part son débit, « potentiellement morphogène ». Sa rapidité d'expansion et de décrue a-t-elle joué en cette faveur ?

L'outil SIG permet d'intégrer de nouvelles données en matière d'évolution du fleuve. La quantification et la qualification des impacts de la crue sur le lit et ses formes sont directement mesurées. Ainsi, le suivi des flux solides (intégration des prélèvements de MES entre La Charité-sur-Loire et Pouilly-sur-Loire) et la dynamique des processus sédimentaires ont été évalués. Il apparaît des zones d'érosion importantes sur quelques sites sensibles : les queues fines d'îles avec des reculs pouvant atteindre 100 m, érosions localisées des berges non protégées (5 à 8 m de recul sur le plus long franc-bord de Mesves-sur-Loire). La remobilisation des sédiments de certains petits bras secondaires reste très localisée au bras de chute essentiellement.

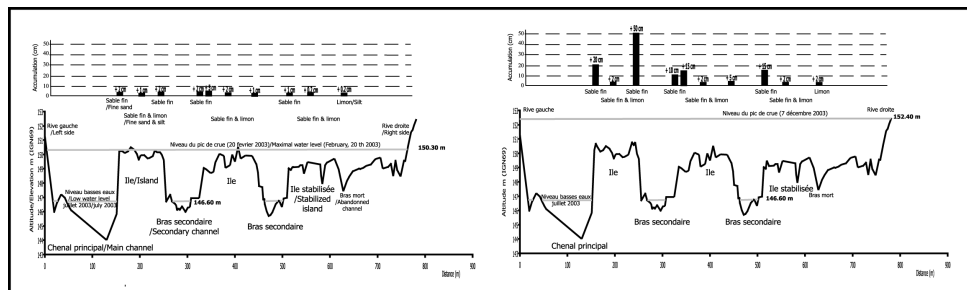


Figure 9 : Comparaison de la distribution sédimentaire entre deux événements hydrologiques différents : profil transversal du lit de la Loire en février 2003 (à gauche), et en décembre 2003 (à droite), les Îles des Loges (commune de Couargues en rive gauche, Cher et Pouilly-sur-Loire, Nièvre en rive droite)  
*Comparison of the sedimentary distribution during two hydrologic events: cross-section of the fluvial bed in February 2003 (left) and December 2003 (right), “Les Loges” islands (Couargues, Cher, on the left side and Pouilly-sur-Loire, Nièvre, on the right side)*

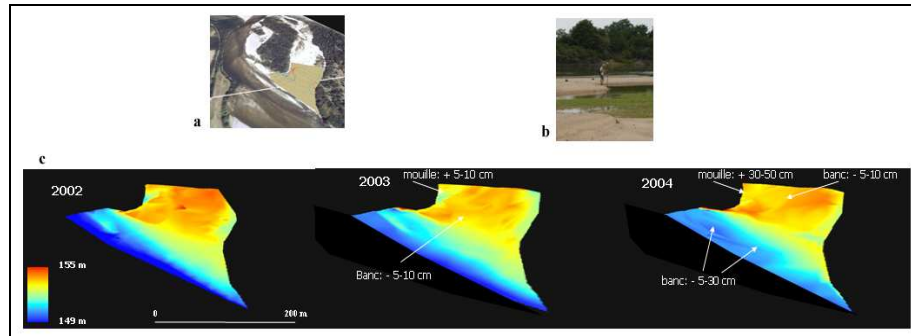


Figure 10 : Suivi topographique de la connexion amont du bras secondaire des Barreaux  
 - (a) : Distribution du semis de points altitudinaux  
 - (b) : Levés par DGPS (précision centimétrique)  
 - (c) : Les MNT du site : 2002 (avant les crues), 2003 (après la crue de février 2003) et 2004 (après la crue de décembre 2003)  
**Topographic survey of an inlet connexion of a secondary channel "Les Barreaux"**  
 (a) : Distribution of elevation points  
 (b) DGPS surveys (cm precision)  
 (c) DEM of the site: 2002 (before floods), 2003 (after the February 2003 flood) and 2004 (after the December 2003 flood)

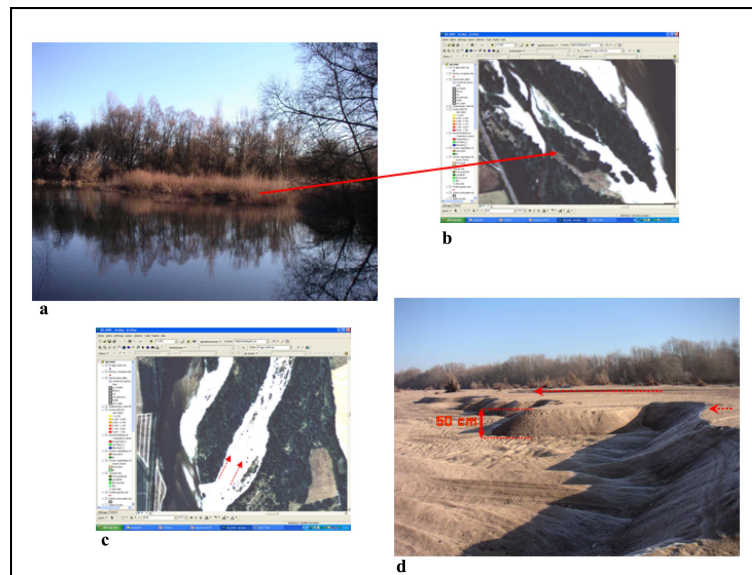


Figure 11 : Spatialisation des impacts morpho-sédimentaires de la crue de décembre 2003  
 - (a, b) : Maintien de la végétation malgré le passage de la crue. Exemple du bras de Passy (La Chapelle-Montlinard)  
 (c, d) Limite du talus de progradation du banc sableux. chenal des Barreaux  
**Spatial distribution of morphodynamic impacts of the December 2003 flood**  
 - (a, b) Preservation of vegetation in spite of the flood. Example of secondary channel "Passy" (La Chapelle-Montlinard)  
 - (c,d) Limit of progradation of the sand bar: secondary channel "Les Barreaux"

Plus précisément, la comparaison de deux événements hydrologiques différents apporte des éléments de réponses aux problématiques environnementales actuelles de la Loire. Ainsi, de quelle manière une crue de récurrence 3-4 ans, comme celle de février 2003 avec un débit de  $2\,000\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  est-elle différente de la crue trentennale ? Le suivi de l'évolution topo-sédimentaire de plusieurs zones avant et après chaque événement hydrologique a été mené. Pour cela, des relevés de points altitudinaux à l'aide d'un GPS Différentiel et une station totale ont été effectués et permettent de suivre les modifications topographiques d'une année à l'autre et d'une saison à l'autre (zones de dépôts et d'érosion, suivi du profil de pente des bras secondaires...). Des prélèvements sédimentaires viennent coupler l'analyse et de suivre les différences de distributions sédimentaires sur les îles après les crues. A partir d'un profil topo-sédimentaire, joignant une rive à l'autre, et équipé de pièges à sédiments (trappes de 50 cm et 1m, paillassons au niveau du sol), il est possible de comparer, après chaque crue, la distribution sédimentaire sur ces différents unités fluviales (fig. 9). Ainsi, sur la figure 9 il apparaît une certaine homogénéité des dépôts après la crue de février 2003 sur l'ensemble des îles : des dépôts relativement faibles de l'ordre de 1 à 2 cm. La crue de décembre 2003 a provoqué des dépôts plus épais et fortement contrastés (fig. 9). La sédimentation est en effet importante sur les berges d'îles avec des dépôts de 20 à 80 cm. En revanche, à mesure que l'on s'éloigne du lit vif, les dépôts sont plus modérés voire faibles et plus fins. L'apport des Modèles Numériques de Terrain (M.N.T.) construits après chaque crue à l'aide d'un semis de points levés au DGPS complète l'analyse spatiale sous le SIG et renforce l'interprétation scientifique des événements hydrologiques (fig. 10). En effet, en prenant en exemple la connexion amont d'un bras secondaire, de nouveaux contrastes apparaissent à l'échelle d'une telle unité fluviale. Avec la crue de février 2003, l'impact reste modéré avec une érosion globale enregistrée de  $1\,800\text{ m}^3$  et une relative répartition homogène des dépôts et érosions au sein des micro-formes du bras (mouilles, banc, haut de banc). Pour la crue de décembre 2003, ce constat est démultiplié puisque le bilan global est une érosion de l'ordre de  $12\,000\text{ m}^3$ . Cette érosion s'enregistre sur les premières parties amont de la connexion correspondant au contact avec le chenal principal. En revanche on note un perchement du bras à partir d'un seuil clé et une faible érosion de l'ordre de 10 cm. Ceci se réalise au profit du comblement des mouilles latérales (chenaux de chute) avec plus de 30 cm de dépôt. Il existe donc un déséquilibre dès l'amont, mais la sédimentation reste le constat général. Une sédimentation active s'est largement produite dans les bras secondaires essentiellement par effet peigne des bancs déjà végétalisés par des pousses de Saule et de Peuplier (espèces pionnières, fig. 11). La crue de décembre de 2003 n'a donc pas eu pour les bras secondaires ce rôle morphogène attendu qui aurait pu entraîner une remise en mouvement des sédiments dans les bras secondaires et leur « réinjection » dans le chenal principal. Par ailleurs, comme nous l'avons vu plus haut, l'érosion des berges n'a été que très localisée. La végétalisation active relayée par une forte sédimentation se poursuit donc malgré le passage de cette crue importante.

## Conclusion

L'étude approfondie de cette crue s'intègre dans la démonstration d'une thèse concernant les temps de réajustement du fleuve depuis le 18<sup>ème</sup> siècle et les facteurs agissant sur l'évolution de la Loire (Grivel, en cours). Un constat principal est à souligner : les crues théoriquement morphogènes (type décembre 2003 : débit trentennal) n'inversent pas la tendance d'évolution actuelle du fleuve au comblement des bras végétalisés. Le fleuve s'avance progressivement vers un chenal unique enchâssé dans une forêt-galerie.

Le SIG-Loire a été développé sur un corridor-test. A l'échelle de ces 20 km de Loire et au fil des zooms très fins sur les formes fluviales, le suivi des crues et de leurs impacts morphologiques, écologiques et sociaux demeure unique en Val de Loire. L'approche géographique par l'analyse sous SIG montre toute la pertinence à suivre une crue aussi importante que décembre 2003. Une telle approche peut aider à l'amélioration des connaissances et de la gestion efficace du risque hydrologique dans le bassin ligérien. L'expérience vécue pour cette crue trentennale était d'une certaine manière un entraînement et une préparation bien venue en attendant une crue plus importante, la centennale tant redoutée et souvent oubliée. Aux gestionnaires du fleuve, aussi divers soient-ils, au monde scientifique et à la protection civile d'en tenir compte ; et aux populations riveraines d'en conserver une trace. Le Plan Loire Grandeur Nature prend malheureusement fin à une période, 2005, où tous les éléments étaient réunis pour centraliser la connaissance, les projets et les actions qui émergeaient dans l'ensemble du bassin ...

#### Remerciements

Les travaux du Laboratoire de Géographie Physique (CNRS UMR 8591) sur la Loire s'inscrivent dans la Zone Atelier du Bassin de la Loire (Cnrs Insu) qui fédère 32 laboratoires Cnrs, grands établissements et équipes de recherche d'universités, 25 partenaires institutionnels publics, 10 autres partenaires et 4 laboratoires étrangers.

La recherche est également soutenue par la Réserve Naturelle Nationale du Val de Loire (Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, Diren Bourgogne et Conservatoires des Espaces Naturels Bourguignons). La Base de Données photographiques (SIEL) a été mise à notre disposition par la Diren Centre ; les données hydrologiques par la Diren de Bassin Loire Bretagne et le Réseau Cristal.

**Bibliographie**

- AMOROS (C.), PETTS (G.E.), 1993.- « Hydrosystèmes fluviaux », *Masson*, 300 p.
- DACHARRY (M.), 1974.- « Hydrologie de la Loire en amont de Gien », Paris, *N.A.L.*, 2 vol., 619 p.
- DACHARRY (M.), 1996.- « Les grandes crues historiques de la Loire », *La Houille Blanche*, 6/7, p.47-53.
- GAUTIER (E.), BURNOUF (J.), CARCAUD (N.), CHAMBAUD (F.), GARCIN (M.), **SOUS PRESSE**.- « Les interrelations entre les sociétés et le fleuve Loire depuis le Moyen Âge ». *Ecologie*.
- GAUTIER (E.), GRIVEL (S.), sous presse.- « Multi-scale approach of the Middle Loire River islands: evolution rhythms and links with hydrological events », *IAHS press*, ICCE IAHS Symposium 'Sediment Dynamics and Hydromorphology' Dundee, Scotland 2006
- GRIVEL (S.), en cours.- « Les îles de la Loire moyenne : dynamique, évolution et enjeux de gestion », thèse de doctorat, Université Paris VIII
- SCHUMM (S.A.), 1977.- « The fluvial system », *John Wiley & Sons*, 338 p.
- TEMAN (S.), 2005.- Perception et gestion du risque d'inondation par les ingénieurs de la Loire, à travers l'étude des aménagements fluviaux réalisés entre Nevers et Cosne sur Loire au 18<sup>ème</sup> et 19<sup>ème</sup> siècle.», mémoire de D.E.A., Université Paris VIII
- WOUDSTRA (A.), 2005.- « Gestion et perception de la crue de décembre 2003 en Loire moyenne », mémoire de maîtrise, Université Paris I