

# Le Système d'Information sur les Evolutions du lit de la Loire

Didier REINBOLD  
Lydia SACCO

S.I.E.L.

\*DIREN Centre  
Service du Bassin Loire - Bretagne

Elisabeth LAURIOL  
Équipe Pluridisciplinaire Plan Loire

Conférence présentée à la 5<sup>ème</sup> rencontre Régionale IGN  
de cartographie Informatique (Angers - octobre 1999)

\*Direction Régionale de l'Environnement

## LA LOIRE UN FLEUVE DÉSTABILISÉ

La Loire a subi, principalement depuis la fin des années 1950, une évolution rapide de son lit caractérisée par un enfoncement de un à plusieurs mètres. Cet enfoncement, dont la plus spectaculaire conséquence, à nos jours, fut l'effondrement partiel du pont Wilson à TOURS en 1978, est encore sensible.

## LES CAUSES

Les causes de cet enfoncement généralisé sont aujourd'hui bien connues :

### • Les extractions massives de granulats.

Ces extractions étaient réalisées directement dans le lit. On estime aujourd'hui que l'on a prélevé, dans le lit de la Loire, entre 1950 et 1980, un tonnage équivalent à plus d'un siècle d'apports naturels, de matériaux en provenance des parties amont du bassin, principalement de l'Allier et de la Loire entre Roanne et Nevers.

A partir de 1980, un protocole d'accord avec la profession des carriers a permis de progressivement réduire ces prélèvements. Les extractions dans le lit sont aujourd'hui arrêtées.

### • La réalisation de travaux lourds pour la navigation, principalement à l'aval d'Angers :

> construction d'épis en enrochements pour concentrer les écoulements et favoriser ainsi l'autocurage du chenal navigable,

> construction de digues basses (chevrettes) barrant l'entrée des bras secondaires,

> suppression de seuils rocheux, dont notamment le seuil de Bellevue à l'amont immédiat de Nantes,

> dragages enfin pour l'entretien du chenal navigable,

## LES CONSÉQUENCES

Les conséquences de cet enfoncement sont multiples :

> Tout d'abord, l'enfoncement du niveau de l'eau à l'étiage, c'est à dire pendant la période de basses eaux qui est observée généralement en juillet et août.

Bien que le débit de la Loire soit artificiellement maintenu grâce aux lâchures des réservoirs situés à l'amont, le niveau en été est aujourd'hui de un à plusieurs mètres en dessous de celui qui était observé au début du siècle. Cette tendance s'est poursuivie dans les années récentes, malgré l'arrêt des extractions.

Elle s'accompagne d'une baisse de la nappe alluviale.

> Autre conséquence, moins évidente au premier abord : l'aggravation du risque d'inondation par l'augmentation du niveau lors des crues.

En effet, l'enfoncement s'est souvent fait sur un seul bras, au détriment des autres qui se sont petit à petit désactivés. Ces bras sont aujourd'hui parfois situés plusieurs mètres au-dessus du chenal actif et cette évolution paraît naturellement irréversible.

On constate de plus une explosion de la végétation sur les îles et les grèves : ces surfaces étant plus longtemps hors d'eau, une végétation pionnière peut s'y développer, et si aucune crue notable ne survient, elle est vite relayée par les saules et les peupliers.

Cette végétation, qui n'est plus entretenue aujourd'hui par les pratiques agricoles, peut ainsi provoquer une augmentation des niveaux de la Loire en crue estimée à 50 centimètres.



> Dans les secteurs où le lit est en contact direct avec les digues de protection contre les crues, l'enfoncement augmente leur risque de destruction par érosion.

> Dernière conséquence enfin, les impacts importants sur l'hydrosystème. Citons en quelques uns :

> l'impact sur les grands migrateurs avec la disparition progressive du saumon. L'enfoncement du lit, en favorisant la remontée d'un bouchon vaseux dans l'estuaire et en aggravant les conditions de passage au droit des seuils et des ponts, a contribué à accélérer un processus de déclin commencé avec la réalisation des grands aménagements,

> l'impact sur les frayères que constituent les boires et les bras secondaires, qui sont déconnectés du lit durant plusieurs mois,

> l'impact enfin sur les peuplements aquatiques.

### LE PLAN LOIRE

En 1994, à l'initiative du Ministère de l'Environnement, un programme global d'aménagement de la Loire a été décidé pour une période de 10 ans. A ce programme, appelé Plan Loire Grandeur Nature, ont été associés l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne et l'Établissement Public d'Aménagement de la Loire et de ses Affluents (ÉPALA).

Un volet important de ce Plan Loire Grandeur Nature vise à restaurer et à entretenir le lit de la Loire pour tenter d'arrêter le phénomène de chenalisation et, si possible, inverser la tendance.

Les travaux consistent principalement à supprimer la végétation arbustive par arrachage, abattage et scarification et à remobiliser le sable des bancs et des chenaux secondaires par ameublissement du sol, suppression de points hauts, enlèvement d'embâcles accumulées par les crues.

Parfois, des travaux sur d'anciens ouvrages liés à la navigation, sont également nécessaires pour mieux répartir les écoulements.

### LE SIEL

Compte tenu de la complexité de la dynamique fluviale et de l'importance du linéaire à couvrir, les travaux de restauration du lit impliquent la mise en place d'outils pour suivre les évolutions, définir les secteurs d'intervention et évaluer l'effet des travaux.

Le **Système d'Information sur l'Évolution du Lit** de la Loire (**SIEL**) a été ainsi mis en place progressivement

par la DIREN Centre, Service de Bassin Loire Bretagne, aidé par l'Équipe Pluridisciplinaire Plan Loire Grandeur Nature, équipe de spécialistes installée à Orléans, en appui des partenaires (État, Agence et EPALA) pour l'exécution du Plan Loire.

Les objectifs de ce système d'information sont de :

- > observer et mesurer les évolutions du lit,
- > définir les secteurs où des travaux de restauration ou d'entretien courant sont nécessaires et de mesurer leur impact,
- > comprendre, analyser et à terme prévoir les phénomènes d'évolution.

Le SIEL est bâti autour de :

- > relevés de la ligne d'eau,
- > relevés topographiques,
- > campagnes de prises de vues aériennes.

### LES RELEVÉS DE LIGNE D'EAU

Pour mesurer sur une courte période, une évolution significative de la ligne d'eau, il était nécessaire de créer un réseau d'observation fiable, dense et pérenne.

Dès 1988, le Service hydrologique Centralisateur de Bassin, intégré à la DIREN Centre en 1992, avait engagé une telle démarche en réhabilitant les anciennes échelles hydrométriques installées tout le long de la Loire dans les années 1850. Ce réseau restait toutefois insuffisant.

C'est pourquoi, à partir de 1994, des travaux de reprise du réseau de nivellement de précision ont été effectués en partenariat avec l'IGN :

- > reconnaissance préliminaire du réseau en 1994,
- > réobservation et complémentation entre le Bec d'Allier et Nantes en 1995 et 1996.

Aujourd'hui, ce travail est achevé et plus de 200 sites ont été choisis. Ils font l'objet d'observations régulières.



Une campagne de mesure de la ligne d'eau, à l'étiage, a lieu tous les ans. Elle est réalisée par le Service de Bassin, assisté par le Conseil Supérieur de la Pêche et les services locaux (DDE et SMN). La date des relevés est choisie en fonction du débit de la Loire afin de réaliser les campagnes dans des conditions de débit très voisines d'une année sur l'autre.

En crue, des mesures sont faites de l'amont vers l'aval, en suivant la progression du maximum.

Ces mesures, ainsi que le descriptif du réseau, sont stockés dans une base de donnée développée par le Service de Bassin. 4500 mesures entre le Bec d'Allier et Nantes y sont aujourd'hui enregistrées.

Des outils de calcul et des fonctions graphiques permettent d'exploiter et d'interpréter ces résultats.

### LES RELEVÉS TOPOGRAPHIQUES

Ce sont principalement des coupes en travers du lit (profils en travers). Contrairement aux relevés de la ligne d'eau, il n'existe pas aujourd'hui de réseau d'observations régulières.

Les données sont obtenues auprès des Directions Départementales de l'Équipement, Services de Navigation et d'autres intervenants qui effectuent ces relevés à l'occasion d'études ou de travaux.

Ces relevés sont rattachés en coordonnées géographiques (Lambert 2 en plan et altitudes normales), numérisés et stockés dans une base de donnée.

Ils peuvent alors être exploités par un logiciel spécifique dénommé RIVICAD, développé au niveau national, par plusieurs Ministères, EDF et des bureaux d'étude privés. Il permet de comparer des profils issus de différentes campagnes.

Plusieurs centaines de profils en travers sont aujourd'hui intégrés dans cette base. Ils permettent de connaître et de chiffrer l'évolution réelle de la géométrie du lit.

### LES IMAGES AÉRIENNES

Troisième composante du système, les images aériennes, constituent une source d'information considérable de par la richesse de leur contenu descriptif.

C'est à la suite d'une collaboration menée avec l'Institut hydrométéorologique de Varsovie que l'intérêt de l'image aérienne, pour un suivi de l'évolution du lit, est apparu : une prise de vue vidéo réalisée en continu, permettait ainsi d'obtenir, à faible coût, une vision immédiate de l'état du lit.

Pour pouvoir comparer des images du même site à des années différentes, les prises de vue doivent être faites pour des débits très voisins. C'est pourquoi, nous avons fait le choix de nous équiper de notre propre matériel de prise de vue.

Nous avons fixé un débit de référence, pour la prise de vue, de 60 m<sup>3</sup>/s à GIEN, correspondant au débit d'étiage soutenu par les ouvrages de régulation.

Ce débit peut être prévu 3 à 5 jours à l'avance à partir des informations collectées par le réseau Cristal, réseau télétransmis de surveillance de l'hydrologie du bassin. Nous disposons ainsi de quelques jours pour préparer la mission.

L'acquisition des images est faite à partir de moyens relativement légers (caméra CCD et appareil photo 24 x 36 muni d'un dos de 250 clichés). Les vols sont réalisés avec un Broussard, ancien appareil de surveillance de l'armée, offrant une grande souplesse d'utilisation.

Des prises de vue à l'étiage sont ainsi réalisées tous les ans, depuis 1995, sur tout ou partie de la Loire entre Nevers et Nantes.

### LES INTERPRÉTATIONS ET LES PRODUITS

L'interprétation des images par simple visualisation à l'écran sur un linéaire aussi important a vite montré ses limites. Les images étant sans échelle précise et déformées, il n'était pas possible de mettre en évidence et de chiffrer des évolutions en plan de l'ordre de quelques mètres.

C'est pourquoi, il a été mis en place tout un processus fabrication de mosaïques numériques orthorectifiées.

Des travaux méthodologiques, menés avec le concours de l'Équipe Pluridisciplinaire Plan Loire ont permis de :

- > définir la méthode pour orthorectifier et géoréférencer les images,
- > choisir un outil de traitement parmi ceux disponibles sur le marché,
- > automatiser les traitements.

La chaîne de fabrication des mosaïques est opérationnelle depuis deux ans. Elle passe par les étapes suivantes :

> fabrication d'une mosaïque numérique géoréférencée à partir des prises de vue de l'IGN. Les clichés originaux sont scannés. Ils sont redressés et géoréférencés à l'aide d'un modèle numérique de terrain issu de la BD Alti@ et de points d'amer, c'est à dire de points parfaitement identifiables sur la photo et qui sont représentés sur la carte numérique au 1/25000 (SCAN 25@). Cette chaîne de fabrication permet d'obtenir, à un coût plus faible que celui d'un orthophotoplan traditionnel, une mosaïque numérique au 1/25000, dite de référence, dont la définition (taille du pixel) est de 1 mètre et la précision en plan de l'ordre de 10 mètres.

> fabrication de mosaïques numériques au 1/10000 par numérisation, redressement et géoréférencement des prises de vue effectuées par la DIREN, en se recalant sur la mosaïque de référence. Ce travail peut être fait en interne par le service qui dispose du matériel et des logiciels nécessaires. Il est toutefois aujourd'hui largement sous traité, compte tenu du volume de mosaïques à produire.

Des traitements effectués à partir de ces mosaïques permettent de réaliser les produits qui suivent, produits qui font l'objet de spécifications détaillées :

#### LA CARTE DE SITUATION

C'est la mosaïque en couleur au 1/10000, habillée avec des éléments de repérage et en particulier le nom des îles, des communes et des lieux-dits.

#### LA CARTE D'ÉVOLUTION

Les zones d'évolution sont déduites de la comparaison des mosaïques utilisant des procédures d'algèbre d'image, d'un même secteur à des dates différentes.

Elles donnent un aperçu des érosions, des dépôts de sédiments et des autres types de changements. Cette carte peut, si les données sont disponibles, être complétée utilement par l'ajout des zones ayant fait l'objet de travaux.

## LA CARTE DES FORMES

Constituée à partir d'une interprétation visuelle, elle définit l'organisation du lit en grandes unités fonctionnelles : chenal principal, bras secondaires en eau à l'étiage ou hors d'eau, îles.

## LA CARTE DE L'ÉTAT D'OCCUPATION DU LIT MINEUR

Elle est constituée d'une représentation de toutes les zones interprétées à partir de l'image (zones de sable, en eau et végétalisées). Les zones de végétation y sont détaillées selon des groupements types. La définition des caractéristiques de ces groupements a fait l'objet d'une concertation entre les naturalistes ligériens pour aboutir à une "typologie simplifiée des communautés végétales". (forêt de bois dur, de bois tendre, prairies, etc...) à partir d'une photointerprétation complétée par des reconnaissances de terrain.

## LE BILAN ET LES PERSPECTIVES

Après deux années de mise en service opérationnelle de la chaîne de traitement, on dispose de :

> mosaïque de référence, au 1/25000, du Bec d'Allier à Montjean,

> mosaïques au 1/10000 en 1995, 1997 ou 1998, sur un linéaire total de 300 km,

> cartes de l'état d'occupation du lit mineur sur 75 km.

Les utilisations du SIEL sont en augmentation : le système a muri, la production se fait aujourd'hui à grande échelle, son contenu est mieux connu.

> La première utilisation est faite par les services gestionnaires de la Loire (Directions Départementales de l'Équipement et Services de Navigation), pour définir les interventions et assurer le suivi de l'effet des travaux.

> L'Équipe Pluridisciplinaire Plan Loire exploite également ces résultats, notamment pour l'analyse des évolutions morphologiques.

> Des bureaux d'études hydrauliques y font régulièrement appel pour la fourniture de données.

> Des conservatoires régionaux des espaces naturels sont également intéressés.

> Plusieurs organismes de recherche enfin mènent des travaux qui utilisent les données du SIEL. On peut citer l'Université de Tours, le CNRS, le CEMA-GREF, la division Études et Recherches d'EDF.

## LES PERSPECTIVES DE L'ÉVOLUTION DU SIEL

La poursuite du Plan Loire a été décidée jusqu'en 2006. Elle prévoit un volet important pour la réalisation des travaux d'entretien et de restauration du lit et confirme l'intérêt d'un outil de suivi.

La poursuite du SIEL et son extension à l'Allier et à la Loire à l'amont de Nevers semblent aujourd'hui acquises.

Des évolutions technologiques vont permettre d'améliorer le système : meilleure accessibilité aux produits par l'établissement d'un catalogue et développement d'un logiciel de consultation, augmentation des capacités de stockage et de traitement, voire ouverture sur Internet.

Le SIEL pourrait ainsi devenir une mémoire commune et partagée de l'évolution du lit.

Initié par la DIREN Centre et l'Équipe Pluridisciplinaire Plan Loire avec le soutien financier de l'agence de l'eau et de l'EPACA, il est aujourd'hui opérationnel.

Son avenir et son évolution dépendront de ses utilisateurs.

## BIBLIOGRAPHIE

> Étude de faisabilité sur l'utilisation de l'imagerie numérique pour le suivi morphologique du lit de la Loire - Rapport final - par Yann Callot, Professeur au département Géographie, Franck Ladner, étudiant en DEA, J.L. Drouot, Doctorant.

> Cartographie de l'évolution du lit de la Loire entre 1994 et 1995 à partir d'images vidéo-aériennes.

Méthodes de traitement d'images aériennes pour le suivi morphologique de la Loire - Rapport de stage - V. Aguiléra - DIREN Centre - Université Jean Monet.

> Méthodes de traitement d'images aériennes pour le suivi morphologique de la Loire - Travail de fin d'études - V. Aguiléra - DIREN Centre - ENTPE.

> Étude comparative des logiciels ERDAS-IMAGINE et ARCVIEWISPATIAL ANALYST par méthodes d'interprétation des mosaïques numériques de la Loire afin d'optimiser la chaîne traitement d'images du SIEL - E Branger - DIREN Centre - Université d'Orléans.

> Utilisation et apport des images aériennes pour le suivi morphologique du lit de la Loire : cartographie et interprétation - Rapport de stage - E. Branger - DIREN Centre - Université d'Orléans

> Élaboration d'un outil informatique de calcul d'altitude de bancs de sable pour le suivi morphologique du lit de la Loire. Rapport de stage S. TOUS - DIREN Centre - Université d'Orléans.

> Cahier des charges pour la réalisation de cartes simplifiées de la végétation du lit endigué de la Loire DIREN Centre/EPPLGN - juillet 1999.

> Cahier des charges pour la réalisation de mosaïques numériques orthorectifiées sur le lit de la Loire EPPLGN - 1997.

> Guide technique de réalisation de mosaïques numériques avec ERDAS - IMAGINE. EPPGN 1998.

> Guide technique pour l'interprétation d'images aériennes du lit de la Loire avec ERDAS - IMAGINE. EPPLGN 1998.