DE LA CARTE OUTIL À LA CARTE SOURCE

Représentation et gestion du fleuve Loire aux 18e–19e siècles

par Saïda Temam et Stéphane Grivel

Laboratoire Dynamiques sociales et Recomposition des espaces,
CNRS UMR 7533, Université Paris 8, Département de géographie
2 rue de la Liberté 93526 Saint-Denis Cedex
Courriels : sayatabner@yahoo.fr / stephane.grivel@univ-paris8.fr

Afin de comprendre le fonctionnement et l'aménagement actuels de la Loire, nous avons été amenés à utiliser une grande diversité de sources. Notre étude se faisant sur un pas de temps long (du 18e siècle à nos jours) croise des sources actuelles (relevés de terrain) avec des données archivistiques. Notre démarche a permis de réaliser une diachronie représentative de la Loire et de reconstituer ainsi son évolution (formation d'îles), les déplacements de son lit et les effets des héritages (aménagement, politiques de gestion, technique). Les cartes anciennes des 18e et 19e siècles ont servi de base à un système d'information géo-historique tendant à démontrer graphiquement cette évolution, ses manifestations et ses effets.

La recherche pluridisciplinaire entreprise sur la Loire pour comprendre son fonctionnement et son aménagement nous amène à utiliser des sources aussi diverses que variées[1]. Sur un pas de temps large, du 18e siècle à nos jours, le croisement de sources actuelles issues de relevés de terrain et de données archivistiques (manuscrits, plans, cartes et schémas) permet de réaliser une diachronie de la Loire. Notre objectif est à la fois de comprendre l'évolution morpho-dynamique du fleuve (formation d'îles, déplacements du lit) et d'observer les héritages laissés par les sociétés, du point de vue notamment des aménagements (digues, levées), des politiques de gestion, des techniques et des vulnérabilités. Nous nous proposons de montrer la méthodologie mise en œuvre dans ce travail sur le fleuve Loire en décrivant chacune des sources potentiellement utilisables pour l'étude diachronique. Cette approche géo-historique, initiée par le travail de Roger Dion (Dion 1934,1961) sur le val de la Loire, permet de comprendre comment les cartes anciennes, confrontées à des sources modernes comme les photographies aériennes, peuvent constituer de véritables outils d'analyse. La zone étudiée concerne la Loire bourbonnaise, nivernaise et moyenne (de Decize à Orléans) (fig. 1).

Grâce à une représentation cartographique de synthèse (SIG), nous essaierons de comprendre si les «anciens» ouvrages fluviaux ont influé sur la dynamique de la Loire. Ne seraient-ils pas la raison aggravante des inondations du fleuve car leur fonction première n'était pas celle de protéger les sites contre les inondations ? Un système d'information géographique (SIG) historique, dont nous énumérerons les étapes de développement, permet de retracer l'évolution morpho-dynamique du fleuve et des aménagements fluviaux. Nous nous demanderons si les ouvrages fluviaux ont eu un effet amplifiant sur les crues en renforçant le corsètement du lit, ce qui favorise la montée des eaux et accentue la vulnérabilité des sites.

1) Ce programme de recherche a été soutenu à l'origine par le comité Zone Atelier du Programme Environnement, vie et société (PEVS) du CNRS. Coordonné par le CNRS et le BRGM, il a été lancé en 2001 pour «observer, dans le long terme (de 15 000 ans BP jusqu'à l'actuel), un anthroposystème complexe développé sur le bassin versant de la Loire » (Rapport ZAL (Zone Atelier du bassin versant de la Loire) 2002). La coordination de la Zone Atelier est assurée par Nathalie Carcaud (Université d'Angers/ UMR 6590 Espaces géographiques et sociétés) et Joëlle Burnouf (Université Paris I Sorbonne/ UMR 7041 ARSCAN). Les travaux de thèse sont réalisés grâce au soutien financier de l'Établissement public Loire et en collaboration avec la DIREN Centre et la Maison des sciences de l'homme Paris-Nord.

Pour la période étudiée, la dialectique société-fleuve est visible, pour une très grande part, dans les réalisations cartographiques. En effet, l'œuvre des ingénieurs, qui retient notre attention, se compose de représentations graphiques symbolisant la perception du «fleuve» tant à travers les modes de représentation du milieu naturel que dans l'identification des marques de l'occupation humaine. Autant de contenus qui permettent aux géographes environnementalistes de reconstituer l'évolution des savoirs, des sciences et pratiques ayant influencé l'aménagement du fleuve. De ce fait, la démarche diachronique induit une étude sur un pas de temps long et le recours aux données anciennes.

L'étude du corpus de cartes datant du 18e siècle conservé par la Section des cartes, plans et photographies des Archives nationales (F14 10 066 : fleuves et rivières) révèle une observation attentive du fleuve et de son fonctionnement avec une précision telle que les cartes peuvent servir de base à un système d'information géographique qui démontre graphiquement l'évolution de la Loire. Des cartes ont été exploitées avec d'autres supports, comme les Atlas de Trudaine (18e siècle) ou les plans géographiques de l'ingénieur Grenier (19e siècle), et remises dans leur contexte grâce aux textes manuscrits et plans d'ingénieurs issus des archives de l'École nationale des Ponts et Chaussées, des Archives départementales de la Nièvre et du Service hydraulique et des voies Navigables de Decize. Nous décrivons ici tout le protocole méthodologique qui nous a permis d'insérer les différents supports cartographiques dans un système d'information géographique après avoir, au préalable, présenté les différentes sources et leur classement typologique en tenant compte de leur fiabilité et lisibilité, conditions nécessaires à leur traitement informatique. L'interprétation, le traitement et le classement des cartes dont la fonctionnalité première était d'être des cartes «outils» pour les ingénieurs nous permettent d'obtenir des cartes «sources» pour le chercheur et de reconstituer graphiquement l'évolution du fleuve. À partir de ces cartes outils sont donc construites des cartes de terrain et d'analyse spatiale témoignant de cette évolution, que des relevés et mesures de terrain confirmeront.

1 Typologie des sources cartographiques : le 18e siècle, un siècle repère

Jusqu'à la fin du 16e siècle, la Loire fut gérée essentiellement par des marchands : la Communauté des marchands fréquentant la rivière de Loire (Mantellier 1867). Avec l'apparition des administrations d'État, celles des Turcies et levées à partir du 17e siècle et des Ponts et Chaussées au début 18e siècle, cette charge est confiée à des ingénieurs gestionnaires locaux qui entretiennent une correspondance suivie avec les instances dirigeantes du Ministère des Travaux publics. L'essentiel de notre étude s'appuie sur les différents documents émis par ces administrations et qualifiés de sources archivistiques. On peut observer différents types et générations de sources. Celles qui nous intéressent le plus restent les cartes anciennes qui sont multiples durant la période considérée, autant pour des raisons d'avancée dans les techniques cartographiques que par l'évolution des exigences et finalités attendues des documents graphiques représentant le fleuve. La carte est, pour l'essentiel, un outil d'aide à la gestion et à la compréhension d'un milieu qui doit être contrôlé pour être exploité. Chaque support, véritable mine d'informations, a été établi pour répondre à un objectif précis ; son histoire permet d'en déceler les apports et les limites en s'interrogeant sur ce que les hommes ont voulu transmettre comme information. Face à la diversité des supports, il était impératif de les classer selon leur finalité et leur précision en se référant à l'information exigée par notre étude. La typologie des sources était un préliminaire méthodologique facilitant leur exploitation.

1.1 Cartes des aménagements fluviaux pour une meilleure navigabilité du fleuve au 18e siècle

1.1.1 La carte de Cassini

Les feuilles de la carte de France de Cassini [2], dont les levés ont commencé en 1747 sous le patronage du roi pour être achevés en 1790 grâce au soutien d'une société privée, fournissent des données aléatoires qui rendent leur utilisation délicate pour notre étude. Elles donnent des représentations approximatives du relief, des voies de communication et de la couverture forestière. C'est pourquoi nous n'en avons pas vraiment tenu compte, si ce n'est pour l'observation générale du cours du fleuve et les éventuels points de repères spatiaux (bourgs, villes, villages) pouvant servir plus tard à l'exploitation informatique des cartes anciennes sélectionnées (Pelletier 2002).

2) L'échelle adoptée est d'une ligne pour cent toises, soit une échelle de 1 : 86 400 (une toise vaut 864 lignes).

1.1.2 Les Atlas de Trudaine

Les atlas des routes royales françaises au 18e siècle, dits « Atlas de Trudaine »[3] ont été réalisés entre 1745 et 1780 sur ordre de Charles Daniel Trudaine, administrateur des Ponts et Chaussée (fig. 2). Ils constituent t une documentation précieuse et très recherchée sur le paysage français du 18e siècle. Pour notre travail, l'atlas est un document important, dans la mesure où, lorsque les berges des fleuves sont figurées, les ouvrages fluviaux y sont représentés avec une précision certaine. Néanmoins quelques tronçons de la Loire sont seulement représentés avec les chemins de berge, car l'atlas s'attache surtout à figurer les chemins et axes terrestres de circulation. Ainsi, en comparant les cartes des atlas à celles du 19e siècle, on peut suivre l'évolution des aménagements et les déplacements du lit du fleuve (érosion des berges). La représentation précise des ruisseaux, étangs et autres bras du fleuve, sert aussi à notre étude, ainsi que la figuration des habitats, bois, cours d'eau secondaires, routes, édifices isolés (croix, calvaires, châteaux, moulins, usines, carrières) et les plans masse des ouvrages d'art proches des routes ou construits sur celles-ci. Tout cela constitue un apport considérable à la compréhension de l'aménagement de certains secteurs. La proximité des fermes, des zones cultivées et saturées (minutieusement représentées) et des autres bâtiments, peut expliquer l'établissement de certaines levées. Les cartes du 18e siècle ont une échelle en toises[4], ce qui les rend inexploitables dans le cadre d'un traitement informatique, mais utilisables comme compléments d'information sur les «ouvrages fluviaux» de l'époque. Leur utilisation est simplifiée par le fait que les noms des lieux géographiques (lieux habités, circonscriptions administratives, régions historiques, bois, cours d'eau, routes) ont été identifiés à l'aide des cartes IGN au 1 : 25 000, ce qui a facilité notre recherche de repères spatiaux pour identifier des secteurs ou lieux dont la toponymie a changé depuis le 18e siècle.

1.1.3 Cartes de 1755[5]

Des cartes du 18e siècle (fig. 3), conservées aux Archives nationales, représentent tout le cours de la Loire et de l'Allier sur de grandes planches. Pour la Loire, la partie couverte s'étend de la Mussy (en amont de Decize) jusqu'à Nantes. Ce corpus, dont on ne connaît pas l'auteur, utilise des échelles en toises qui varient d'une feuille à l'autre. Postérieur aux premières planches de l'Atlas de Trudaine, il a pour fonction de représenter l'occupation du sol en figurant les prairies, cultures, forêts, bois, marais, bancs de sables et villages. Les cartes de ce corpus sont extrêmement précieuses pour la précision des détails paysagers. Ce sont les meilleures que nous ayons pu consulter : les ouvrages fluviaux y sont représentés et nommés minutieusement, ce qui permet de les relier aisément aux rapports rédigés par les ingénieurs et de pallier ainsi la disparition des plans qui les accompagnaient. Elles apportent, comme les Atlas de Trudaine, des données sur l'occupation du territoire et sur l'évolution de l'aménagement des berges de la Loire. Comme leur échelle est proche de celle des fonds de cartes numérisés IGN Scan25, elles peuvent être utilisées dans notre système d'information géographique.

1.1.4 Les plans géométriques du cours de la Loire d'Auguste Grenier (1853)

Les plans géométriques du val de Loire, dressés par Auguste Grenier (fig. 4) sous la direction de l'ingénieur en chef des Ponts et Chaussées Zeiller, datent, pour l'essentiel, de la première moitié du 19e siècle et sont à l'échelle du 1 : 2 000. Ils ont été réalisés par les services de la navigation pour décrire les ouvrages et les infrastructures relatifs à la navigation fluviale (canaux, digues et levées), dont la structure administrative va périclitant[6]. Ils couvrent la haute Loire jusqu'au bec d'Allier. Leurs feuilles ont été numérotées et renvoient à un inventaire rédigé par les ingénieurs de l'époque, ce qui permet de situer géographiquement les plans et de connaître

3) Ils constituent une collection unique et homogène de 62 volumes totalisant plus de 3000 planches représentant les routes faites et à faire (et leurs abords immédiats) dans les vingt-deux généralités des pays d'élections régies par des intendants. Les pays d'États (Bourgogne, Provence, Languedoc et Bretagne), ainsi que les pays d'imposition (régions frontalières conquises sous Louis XIV), sont exclus de cette couverture cartographique, sauf la généralité de Metz (3 atlas) et le Haut-Cambrésis (3 atlas). Pour protéger les originaux, des reproductions numériques ont été effectuées par les Archives nationales ; elles sont consultables sous les cotes CP/F/14/*8443 à 8507 et sur Internet dans la banque d'images ARCHIM qui permet d'accéder à d'autres documents d'archives. Les objets représentés sur les cartes (édifices isolés, croix, calvaires, usines, carrières, jardins) ont été indexés par des descripteurs iconographiques et sont interrogeables par le champ «mots clés» de la banque d'images. Des informations complémentaires importantes (échelle, transcription ou résumés des légendes, renvois des planches de cartes aux planches d'ouvrages d'art et vice-versa) figurent dans le champ « notes ».

4) Ancienne mesure valant 1,949 mètres.

5) Ces cartes ne comportent ni date ni auteur. Nous leur avons attribué une date d'après les informations recueillies dans les rapports d'ingénieurs qui relataient la construction du pont de Nevers et le décrivaient après sa reconstruction en 1745 par l'ingénieur Régemorte.

6) Les fonds archivistiques des multiples services de la navigation (celui de Saint-Satur est partagé entre celui de Decize et de Nevers) ont confié, pour un temps, leurs archives au Service de la navigation de Decize.

les ouvrages et infrastructures représentés (nommés dans la case «observations»). Comme pour l'Atlas Trudaine, les planches ne représentent que des tronçons de fleuve, le plus souvent aménagés, mais leur exploitation informatique semble difficile à cause de leur échelle.

1.2 Cartes de crues pour un risque d'inondation rationalisé : les cartes de Coumes[7]

La carte de 1850 (fig. 5), dite de Coumes, est extraite d'une campagne de relevés réalisée entre 1848 et 1854 sur le cours de la Loire entre Vorey (Haute-Loire) et Saint-Nazaire (Loire-Atlantique). Cette carte d'ingénieur au 1 : 20 000 a été dressée après la grande crue historique de 1846 afin de mieux cerner l'espace inondable et ses enjeux. Elle est très précise, correcte et géométrique, et représente un grand nombre de détails (berges, bancs, végétation spontanée, cultures, pâtures, aménagements). On peut ainsi la comparer à des documents modernes, tels que les photographies aériennes (ortho-photoplans et photographies aériennes). De telles cartes atteignent un stade intermédiaire entre le cadastre napoléonien et la carte IGN. Elles ont été réalisées avec la documentation des Archives de la Guerre, du Cadastre et avec celle recueillie par les ingénieurs de la Loire. Avec les cartes de Coumes, on entre dans une nouvelle ère de la gestion de la Loire : désormais des cartes sont réalisées pour apporter une connaissance cartographique actualisée et pour rationaliser le risque (Le Bourhis 2007). Tels sont les objectifs de la stratégie mise en place par les ingénieurs, qui aboutit, après les trois grandes crues historiques de 1846, 1856, 1866, au grand programme de lutte contre les inondations du Second Empire, qui se fonde, notamment, sur une cartographie de l'ensemble du cours de la Loire. Les cartes sont assimilables au plan de prévention du risque d'inondation, que nous connaissons actuellement. Y sont représentés le parcellaire, les voies de communication, les ports, villes, faubourgs, les ponts et traversées (bacs), l'état des bancs de sable, des berges, chemins de halage, les levées, canaux et ouvrages de navigation. Tous détails utiles à notre étude car ils donnent l'état des ouvrages fluviaux et du lit du fleuve à une époque précise avec les limites de la crue historique de 1866. C'est un instrument de travail très bien conservé, qui complète les cartes du 18e siècle et élargit notre connaissance de l'état du fleuve au 19e siècle.

1.3 Les archives complémentaires

Aussi précis que puissent être les supports cartographiques utilisés, leur exploitation ne peut être faite que si on les lit avec les documents manuscrits qui informent sur le contexte de leur réalisation. Les sources iconographiques ont en effet un message et un objectif précis, et ne sont pas lisibles et compréhensibles par tous. D'où l'importance de connaître leur contexte et le motif de leur réalisation. Les manuscrits peuvent servir d'accompagnements explicatifs, d'index à la carte, et aider à comprendre les conceptions des ingénieurs qui ont construit les aménagements fluviaux étudiés. Ils apparaissent comme le reflet des avancées techniques et scientifiques de l'ingénieur dans la maîtrise des fleuves et rivières. Les sources imprimées, ouvrages techniques et théoriques sur les eaux et leur aménagement, s'attachent aux conceptions techniques définies par la perception de la nature telle qu'on l'avait à l'époque : une nature transformable par la technique (Serna 1996).

1.3.1 Les sources émanant des administrations de la période moderne

Pour mener à bien notre étude de cas, les vastes corpus de documents fournis par les Archives nationales et les Archives de l'École nationale des Ponts et Chaussées ont été précieux. Une source documentaire massive est à notre disposition pour comprendre le rapport entre les sociétés humaines et le fleuve. Pour la période moderne, le fleuve, source de richesse, est géré par des administrations mises en place par le gouvernement royal. Les sources documentaires émanent des représentants officiels de ce pouvoir à l'échelle locale, les ingénieurs au service de la Couronne. Les documents peuvent être normatifs (textes législatifs et réglementaires), administratifs (correspondances, rapports), techniques (procès-verbaux de visites, projets de travaux), financiers (devis, comptes, bilans) (Maillard 2004).

1.3.2 Plans, dessins, rapports et devis des ingénieurs

Ces outils de travail, souvent des cartes ou des schémas, se trouvent la plupart du temps à l'intérieur des cartons d'archives regroupant les sources manuscrites de la série F14 Travaux publics des Archives nationales[8]. Nous nous sommes principalement intéressés aux documents officiels issus des

7) Documents disponibles sur demande ou téléchargeables sur le site Internet de la DIREN Centre (http://www1.centre.ecologie.gouv.fr).

8) Une séparation a été faite entre les rapports manuscrits et les cartes conservés sous la même cote F14 Fleuves et rivières de la Section des cartes et plans des Archives nationales. Cette séparation cause bien des désagréments et empêche souvent une lecture et interprétation des cartes, sachant que leurs légendes se trouvent dans les rapports écrits si difficilement repérables dans le pléthorique corpus de la série F14 Travaux publics.

techniciens de l'administration des Turcies et levées et, dès 1772, de celle des Ponts et Chaussées. C'est sur l'avis et le rapport d'étude de ces techniciens que s'appuient les décisions royales. On part du principe que les rapports d'ingénieurs sont fiables, puisqu'ils n'ont d'autre but que de renseigner sur la situation réelle du fleuve à des niveaux purement techniques. Or ces techniciens ne manquent pas de rappeler qu'ils ne conseillent telle ou telle réalisation qu'en fonction des intérêts qu'on leur demande de préserver et selon les techniques disponibles. Leur principal souci reste d'assurer un bon écoulement des eaux du fleuve. Les rapports accompagnés de cartes et plans servent à illustrer les observations de terrain. Quand les ingénieurs émettent des avis, ils savent –du moins dans les cas étudiés— qu'ils ne seront pas pris en compte s'ils ne répondent pas aux exigences du moment. Ces dernières sont essentiellement inspirées, pendant la période qui nous intéresse, par la volonté d'améliorer la navigation, en prescrivant la construction de nouvelles digues, levées, ponts et ports marchands. Dans ce contexte, les apports des Archives départementales et les rapports des ingénieurs locaux ont été essentiels, car ils nous ont apporté des renseignements complémentaires sur les travaux et les avis donnés par les localités.

1.3.3 Les décrets, instructions et textes réglementaires du pouvoir royal

Les volontés de l'État sont exprimées dans les lettres et instructions de Colbert (Clément 1861-1882) qu'il faut compléter par l'ouvrage d'E.Vignon (Vignon 1862) où figurent les textes officiels émanant du pouvoir royal. Vignon les a, pour la plupart, analysés, pour faire ressortir les véritables intentions des aménagements fluviaux entrepris : la protection de la vallée contre les inondations et crues du fleuve ; et le resserrement du lit pour faciliter la navigation. Boislisle a étudié, pour la fin du règne de Louis XIV, la correspondance échangée entre les contrôleurs généraux des finances successifs et les intendants des généralités (Boislisle 1874-1893). Le rôle de l'intendant est essentiellement celui d'un représentant de l'État, qui, au niveau local, doit faire accepter les projets émis par les instances supérieures. L'intendant est aussi un conciliateur chargé du renseignement[9], dont les rapports sont très précieux qu'il s'agisse de la récolte du blé ou des conflits entre riverains.

1.3.4 Les projets, plaintes et revendications des civils

D'autres documents, beaucoup moins officiels, émanant de particuliers, de propriétaires terriens, de villageois, qui demandent des travaux sur le fleuve, complètent ces informations. Ils nous renseignent sur les rapports de force qui peuvent exister au niveau local, ou sur les conséquences qu'ont les décisions d'aménagement prises par le pouvoir central. Les dossiers présentés par les habitants sont à manier avec précaution dans la mesure où leur objectif principal reste la défense d'intérêts particuliers, alors que les intendants vont dans le sens de l'intérêt général. Comprendre ces convergences ou divergences importe beaucoup dans l'analyse de l'aménagement du fleuve à différentes échelles, car souvent les affaires sont confuses et énigmatiques quand les documents qui pourraient les éclairer ont disparu.

1.3.5 Les sources imprimées

Au même titre que les rapports, les manuels et livres techniques imprimés nous éclairent sur la mentalité et les savoirs de l'ingénieur des 18e et 19e siècles. De plus, ils nous permettent de comprendre des notions, des termes, des techniques évoqués sans être explicités par les ingénieurs. La multiplication des traités et écrits dans le domaine de l'hydraulique fluviale, rédigés par les ingénieurs et scientifiques des 18e au 19e siècles, révèle un cheminement scientifique progressif à visée politique et pratique, dans la mesure où commence à émerger la conception du territoire et de son aménagement. Les cours d'eau semblent être la clé de voûte de cette nouvelle politique de maîtrise de l'espace (Picon 1992). Connaître l'histoire des «corrections fluviales » et de l'hydraulique permet de replacer notre travail sur les aménagements fluviaux dans un contexte éclairant sur la finalité de leur construction et l'idéologie présidant à leur instauration. Grâce aux manuels qui retracent les avancées techniques, nous pourrons comprendre la fonction de chaque ouvrage, depuis de sa forme jusqu'à son effet sur les eaux du fleuve.

L'architecture hydraulique de Bélidor, publiée en 1737 et consacrée à l'aspect technique de la construction des ouvrages fluviaux, amorce cette approche scientifique sans réellement accorder de place à la dynamique fluviale. On reste dans la compilation des connaissances avec, en arrière-plan, l'émergence de l'idée d'une nature des Lumières, survalorisée et omniprésente, qui va être mise en perspective dans les écrits suivants (Ehrard 1994). Avec Philippe Buache, le bassin versant et le rôle de l'eau sur le modelé terrestre ne sont plus ignorés ; le champ d'étude est élargi en incorporant tout le contexte naturel : toutes les composantes déterminant le fonctionnement d'un fleuve. Sont ainsi posées les bases d'un nouveau savoir sur lequel vont se fonder les travaux postérieurs. À partir de la seconde

9) Durant le règne très centralisateur et absolutiste de Louis XIV, les intendants sont les yeux et les oreilles du roi. À l'époque napoléonienne, les préfets prendront le relais.

moitié du 18e siècle, des avancées théoriques viennent s'ajouter à la conception réformée et rationalisée initiée par Philippe Buache : on commence à prendre en compte le lien société-fleuve au travers de l'aménagement. Il s'agit notamment de comprendre le fleuve pour mieux le domestiquer, le contrôler et l'exploiter. En 1769, la publication de l'ouvrage de Jean-Isaye Silbergschlag en est une illustration. Ce traité pratique d'aménagement des rivières se présente comme un ouvrage scientifique qui détaille les modes d'écoulement des eaux fluviales et leurs conséquences sur le fonctionnement morphodynamique des rivières. L'observation des aspects dynamiques et morphologiques permet de savoir quel est le meilleur moyen d'établir des digues afin d'éviter les ravages des eaux. Ce traité est complété par des annexes iconographiques représentant les différents types d'aménagements fluviaux avec leur appellation. Savoir et savoir-faire technique s'entremêlent pour appliquer la science à la technique dans le but ultime de préserver les activités économiques et les populations (Daumas 1964).

Avec la publication des *Recherches sur les constructions les plus avantageuses des digues* (1767) et du *Traité élémentaire d'hydrodynamique* (1771) de Charles Bossut, une nouvelle pierre est posée. Ces travaux se veulent didactiques. Ils présentent le socle théorique sur lequel viennent s'appuyer des pratiques de terrain. Ils se consacrent également à l'analyse de la dynamique fluviale, tandis que les annexes s'avèrent aussi riches que celles des précédents ouvrages. Le *Traité pratique des digues le long des fleuves et des rivières* (1773) de Bourdet les complète[10]. Ce n'est qu'avec Dubuat et ses *Principes hydrauliques* que se dessine un véritable programme de recherche en hydrologie expérimentale . La volonté de lier la théorie scientifique à la réalité des cours d'eau s'explique par le besoin constant et concret de les gérer, mais elle ne fait pas encore partie de la nouvelle donne des ingénieurs, car une dichotomie subsiste entre les avancées scientifiques pures et les techniques de gestion des fleuves et rivières. Pour Antoine Picon, les ingénieurs des Ponts et chaussées n'optent pas encore pour une mathématisation des savoirs techniques, leur savoir restant encore très empirique (Picon 1992). Cette constatation affecte notre travail de reconstitution du savoir de l'ingénieur, car ce savoir s'est visiblement établi sur des observations différentes de celles exposées dans les manuels. Cependant la lecture de ces sources imprimées fournit le contexte théorique dont nous avons besoin pour évaluer les travaux, les choix et partis pris des ingénieurs.

De toute évidence, de nombreux travaux restent méconnus comme ceux de Guglielmini[11] traduits en 1722. En 1738, D. Brenouilli publie *l'Hydrodynamica.* L'*hydrodynamique* (1743) de Clairaut est complétée en 1744 par le traité de d'Alembert sur le mouvement des fluides et la formule complète d'écoulement des fluides énoncée par Euler (1754), qui restent des théories issues des mathématiques, indépendantes des observations de terrain (Cœur 2001). Ce n'est qu'à partir de la première moitié du 19e siècle qu'un «nouvel espace technologique» va se constituer (Picon 1992, p.81). La démarche de l'ingénieur ne s'appuie plus sur de «l'à-peu-près», mais sur des principes scientifiques observés qui font office de loi après vérification et évaluation de l'erreur. En arrière-plan se développe la transmission d'un savoir technique grâce à un enseignement spécifique s'appuyant, pour une grande part, sur la publication de traités techniques. Mais cette évolution du mode d'enseignement ne s'est faite que progressivement et tardivement. Il faut attendre le 19e siècle pour que les grandes écoles d'ingénieurs[12] proposent un enseignement technique supérieur (Daumas 1964).

2 Exploitation informatique des cartes anciennes : le système d'information géographique historique

La mise en relation des différentes sources cartographiques a été développée à l'aide d'un système d'information géographique (SIG). Un SIG est un outil d'analyse spatiale reposant sur la superposition de données iconographiques, qualitatives et quantitatives, toutes géoréférencées dans le même système de projection. Ce géoréférencement permet de caler parfaitement des couches d'information (cartes, photographies aériennes ou couches thématiques ...) et des documents aux échelles différentes mais compatibles. Pour notre étude, l'élaboration du SIG a reposé sur plusieurs étapes clés.

10) Archives de l'École nationale des Ponts et Chaussées, 8. 4902.
11) Dubuat L., 1779, Principes d'hydraulique, Paris, Imprimerie de Monsieur. Ouvrage dans lequel sont traités le mouvement de l'eau dans les rivières, les canaux et les tuyaux de conduite ; l'origine des fleuves et de l'établissement de leur lit ; l'effet des écluses, des ponts et des réservoirs, du choc de l'eau ; de la navigation tant sur les rivières que les canaux étroits. Archives des Ponts et Chaussées, 8. 2367
12) Scientifique détenteur, en 1694 à l'Université de Bologne, d'une chaire d'hydrométrie ; il publie, en 1697, le Della natura dei fiumii, cité par Cœur 2001, p.124.

2.1 Le fonds iconographique et la constitution du fonds spatio-temporel

Il s'agissait de compiler des documents servant de fonds de carte dans notre base de données : des cartes et des photographies aériennes (fig. 7). La DIREN Centre de Bassin Loire-Bretagne [13] (située à Orléans) a mis à notre disposition, dans le cadre de la collaboration scientifique, sa base de données SIEL (système d'information sur l'évolution du lit de la Loire[14].). Nous avons utilisé quatre documents rectifiés à partir du Scan25 et géoréférencés en Lambert II étendu : la carte dite de Coumes de 1850 (les planches ont été scannées par la DIREN Centre en 1999, à une résolution de 400 dpi et les planches numériques mises en conformité géographique à partir du Scan25®), des ortho-photoplans de 1960 et des photographies aériennes de 1960 à 2005[15].

Pour compléter les données du SIEL, nous avons réalisé le calage et le géoréférencement des fonds cartographiques anciens des Archives nationales. Les cartes datant du 18e siècle[16] ont été sélectionnées en raison de la précision et de la représentation des informations : détails des éléments naturels et anthropiques composant le lit et les berges du fleuve. D'autre part, l'échelle de certaines planches était, à quelques centimètres près, conformes au 1 : 25 000 des fonds de cartes IGN numériques (Scan25®), sur lequel furent géoréférencées (Lambert II étendu) les images aériennes et les cartes de Coumes.

2.2 La digitalisation des éléments d'intérêt et la création des fichiers vectoriels

À partir du fonds iconographique constitué, on a réalisé la digitalisation des éléments intéressants qui sont au centre de nos objectifs d'études : aménagements fluviaux, îles, chenaux, berges. On a ainsi créé des couches thématiques sous forme de fichiers vectoriels. Il existe de nombreuses formes d'aménagements fluviaux, que nous avons représentées en figuré linéaire. On trouve ainsi des levées, des chevrettes, des enrochements de berges, d'anciens quais de navigation, des vestiges de pieux (anciens ponts ou pêcheries). Toutes ces formes d'aménagements, dont la chronologie d'apparition n'est pas toujours aisée à déterminer (Temam 2005), figurent dans le SIG avec des liens dynamiques vers des figures et des photographies.

La digitalisation repose essentiellement sur le zonage, sous forme de polygones, des formes fluviales pour chaque année étudiée (fig. 8). Un polygone représente une forme particulière du fleuve. Il convient, dès le départ, de bien différencier les types de formes afin d'obtenir une cohérence dans des documents qui ne sont pas graphiquement identiques. Le protocole de zonage s'est appuyé, dans un premier temps, sur la distinction des formes dites «mobiles» et celles végétalisées, la végétation étant un facteur distinctif (Gautier et *al.* 2001) (fig. 9). La typologie des formes fluviales que nous avons retenue a permis de réaliser la digitalisation des formes dans le SIG. Les unités fluviales nues (sans végétation), qu'elles soient sur le document analysé en eau ou à sec, témoignent de mécanismes actifs de submersion et de remaniement des sédiments, mécanismes qui sont suffisamment fréquents pour limiter la croissance d'une végétation pérenne (Schumm 1977). Elles entrent donc dans la classification des formes mobiles ou «bande active», qui est composée du **bras principal** et des **chenaux secondaires**, au sein desquels on trouve les **bancs** occupés ou non par une végétation saisonnière. Du fait des différences de niveau d'eau sur les documents, il n'est pas possible de délimiter de façon fiable les contacts bancs-chenaux. La présence d'une végétation pérenne détermine les formes dites «stabilisées». Dès lors qu'une forme est colonisée

13) En France, les écoles les plus importantes furent l'École du génie de Mézières (1748), dont le modèle d'enseignement servit en partie de modèle à l'École Polytechnique en 1794, l'École royale des Ponts et Chaussées (1775) et celle des Mines (1783). L'ouvrage d'Antoine Léon, Histoire de l'enseignement technique (PUF, 2e éd., 1968 ; Que sais-je ? N° 938), en donne une vue d'ensemble. Sur l'enseignement spécifique des ingénieurs au 18e siècle, on trouve d'importantes monographies comportant des bibliographies très complètes, dans les 4e et 5e parties de l'ouvrage publié sous la direction de René Taton, L'enseignement des sciences au XVIIIe siècle, Paris, 1964.

14) Direction régionale de l'environnement, représentation régionale du Ministère de l'Écologie et du développement durable.

15) À partir de 1994, dans le cadre du Plan Loire grandeur nature, un programme de restauration et d'entretien du lit de la Loire a motivé la réalisation d'un outil informatique au service des gestionnaires du fleuve : le Service de bassin Loire-Bretagne de la DIREN Centre, le Ministère de l'Environnement, l'Établissement public Loire et l'équipe pluridisciplinaire du Plan Loire collaborent pour mettre en place un outil efficace, le SIEL (système d'information sur l'évolution du lit) facilitant la visualisation des espaces d'intervention, la mesure des transformations du lit et surtout l'analyse des impacts des travaux sur ce dernier, pour une période s'étendant de 1850 à nos jours. Cette modélisation a mis en évidence la réelle dégradation du lit du fleuve, qui se traduit notamment par un enfoncement du cours principal de un à plusieurs mètres.

16) Documents disponibles sur demande ou téléchargeables sur le site Internet de la DIREN Centre (http://www1.centre.ecologie.gouv.fr).

par une végétation permanente et bien installée, nous sommes dans le cas d'une unité fluviale dont les modes de submersion, d'érosion-sédimentation et les rythmes d'évolution diffèrent de ceux des chenaux et des bancs : il s'agit alors des îlots, îles et des francs-bords. **Les îles** sont donc des formes végétalisées (végétation pérenne arbustive et arborée) et encadrées par deux chenaux actifs (en eau ou à sec suivant les périodes de prises de vue). **Les francs-bords** sont les marges latérales végétalisées (végétation pérenne) du fleuve, situées entre les levées (rive gauche) ou les pieds de coteau (rive droite) et la bande active (fig. 10).

2.3 La caractérisation des données vectorielles

Pour identifier chaque élément du lit de la Loire et chaque aménagement fluvial, nous avons créé des tables de caractérisation. C'est le principe même d'un SIG que de pouvoir visualiser les caractéristiques d'une zone spécifique en cliquant simplement sur le figuré qui la symbolise spatialement. Les informations contenues dans ces tables constituent le fondement même de l'analyse spatiale. En somme, nous avons créé des thèmes qualitatifs et quantitatifs qui permettent l'interprétation fine de l'évolution du lit de la Loire et de son aménagement. Une charte graphique et cartographique a été spécialement déterminée pour mettre en valeur ces thèmes (fig. 11).

2.4 L'analyse spatiale, les éléments de calculs sous le logiciel d'analyse spatiale

Le logiciel d'analyse spatiale recèle des fonctions et des extensions permettant une large gamme de calculs sur les éléments digitalisés (aménagements, formes fluviales) : paramètres morphométriques, taille et surface, longueur. Le géoréférencement permet la superposition de l'emprise spatiale d'un même élément à différentes dates ; il est ainsi possible de calculer des surfaces d'érosion et d'accrétion des berges, par extraction des zones différentielles (Finlayson et Montgomery 2003). En somme, tous les éléments digitalisés sont suivis dans chaque source iconographique et cette méthode permet de déterminer leur évolution précise : érosion des berges, déplacement du chenal principal, création, disparition ou prolongement des aménagements fluviaux. La comparaison des cartes anciennes entre elles délivre alors des informations inédites sur l'évolution spatiale des éléments cartographiés.

3 Résultats : obtention de premières cartes d'analyse spatiale

3.1 Glissement de fonction des ouvrages

On a obtenu une typologie évolutive et causale de l'aménagement de la Loire nivernaise et moyenne (fig. 12). Trois types d'aménagement se retrouvent dans la zone étudiée. Ils se situent quasiment tous à proximité d'un port ou chantier de navigation. Ce sont ces mêmes ouvrages régulateurs, visant à diriger les eaux des fleuves soit vers les ports soit loin de la berge pour éviter son érosion, qui finissent par devenir des ouvrages de protection contre les crues. C'est le cas notamment des levées qui furent construite au 18e siècle pour corseter le lit du fleuve et qui, prolongées, deviennent des barrières permettant de faire face à la montée des eaux en temps de crue. Il apparaît clairement que l'aménagement de ces secteurs, établi progressivement et de façon empirique, —des ouvrages (digue, levée, chevrette, épi, batardeau, pont) aux modifications des berges (chantier, appontement, champ d'expansion des eaux)-- s'explique en très grande partie par les intérêts générés par la navigation fluviale. Le 18e siècle est le siècle d'une industrie métallurgique en pleine croissance et d'un commerce fluvial s'intensifiant sur l'ensemble de la Loire. L'idée du poids des grands propriétaires terriens nivernais peut affleurer, mais les intérêts de l'agriculture ne semblent pas prioritaires. Un ouvrage n'est construit en général que parce qu'il garantit la navigabilité du fleuve et la pérennité des infrastructures portuaires et industrielles (fig. 13). S'il advenait qu'il protégeât les terres des inondations, ce n'était qu'un avantage supplémentaire. Le maintien du commerce reste la clé et la motivation de cet aménagement, un commerce qui est, à l'époque, très dépendant de la Loire. Les seuls canaux actifs aux 17e et 18e siècles sont ceux du Loing, de Briare et d'Orléans ; ils ne permettent qu'une navigation entre Loire et Seine. Ceux qui faciliteront la navigabilité du secteur ne seront construits qu'au 19e siècle.

3.2 Évolution du lit : déplacement et rétrécissement

3.2.1 Les conceptions d'aménagements des fleuves

Le rôle de l'ingénieur et l'action de son œuvre sur le fleuve sont marquants durant les 18e et 19e siècles. Les ingénieurs Régemorte et Bouchet incarnent cet ingénieur du 18e siècle, qui expérimente de nouvelles techniques pour l'utilisation pragmatique de la ressource du fleuve et met en place un schéma cohérent et durable d'aménagement. Leurs connais-

sances empiriques sont étayées par une connaissance approfondie du fonctionnement hydrologique et morphodynamique du fleuve et par une observation fine de l'impact, souvent négatif, des ouvrages anciens, ce qui leur permet de poser les principes d'un aménagement adapté à la Loire. Un siècle avant Comoy, Régemorte condamne tout endiguement qui viserait à trop resserrer le lit du fleuve, chenal d'écoulement des eaux. Il préconise de laisser un champ d'expansion assez large entre l'ouvrage et la berge, pour qu'en cas de crue les eaux ne débordent pas. Quant à Bouchet, il considère qu'un endiguement général de la Loire, dans les conditions décrites par Régemorte, apporterait de nombreux avantages pour la navigation. Il considère que les eaux du fleuve, s'écoulant dans un chenal unique et par la simple force du courant, charrieraient les sables et limons qui «obstruent» le lit. Le but recherché est de faire du fleuve, un « canal naturel » sécurisé pour une navigation florissante. Tout ouvrage envisagé ou demandé doit entrer dans la logique de ce projet qui perdure jusqu'à la fin du 19e siècle, aboutissant ainsi à un prolongement des levées dans un secteur qui ne contenait que des ouvrages discontinus. Mais les prescriptions émises par les ingénieurs du 18e siècle ne furent suivies qu'à moitié car les levées discontinues furent prolongées et exhaussées sans tenir compte du besoin de laisser des zones de décharge de l'inondation (tableau 1).

Les ouvrages de régulation des eaux au 18e siècle	**Les ouvrages de défense au 19e siècle**	**Les ouvrages de liaison 18e - 19e siècles**
• **Levée** • **Digue** • épi • Chevrette • Batardeau	• **levée** • **digue** • levée route • déversoir	• ponts • pont canal • canal • levée route • quai et port

Tableau 1 : Typologie évolutive des aménagements fluviaux de la Loire

Ces ouvrages viennent-ils conforter la confiance de l'ingénieur du 19e siècle, témoin des ravages causés par les trois grandes crues successives du siècle (1846, 56, 66) ? Après cette crise environnementale, il ressort de l'analyse des rapports de l'époque que l'ingénieur fait face mais n'est pas aveuglé par l'inefficacité de la solution apportée, car la cause principale des inondations reste l'inadaptabilité des ouvrages fluviaux et leur manque d'entretien. L'idée de l'endiguement continu perdure, mais à la condition que les levées soient déplacées bien à l'arrière de la berge pour laisser un chenal principal plus large comme l'ingénieur Régemorte le réclamait. Si le choix a été fait d'exhausser, malgré tout, les levées c'est que celles-ci permettent de faire face aux crues ordinaires, annuelles, et que ce serait un investissement technique et financier perdu si elles venaient à être détruites. Ainsi ce n'est pas vraiment l'ouvrage qui est remis en cause mais la façon dont il est employé, construit, disposé sur les berges du fleuve ; l'ouvrage peut permettre la formation de brèches au sein desquelles s'insinuent les eaux de crue. Mauvaise disposition, manque d'étanchéité et discontinuité, autant de désavantages pour un ouvrage qui doit assurer le maintien de la sécurité des terres riveraines. Mais l'ingénieur dénonce d'autres faits : la perte de la mémoire des crues et du risque par les ingénieurs concepteurs d'ouvrage, les lois étatiques d'assèchement des zones humides et d'essartement des bois en bord de ruisseau et de la forêt alluviale, ce qui facilite le dévalement des eaux de crues sur les pentes. L'argument médiatique du 19e siècle sur la déforestation et l'aggravation des inondations est approfondi dans les analyses des inspecteurs divisionnaires de la Loire. Mais au-delà de l'analyse faite par les ingénieurs, notre travail de reconstitution du chenal principal du fleuve confirme, dans un premier temps, l'impact des aménagements anciens sur le cours du fleuve, observé dès le 18e siècle mais pas réellement démontré. Il semble par ailleurs que le cours a été forcé au 19e siècle dans le secteur nivernais afin de répondre aux impératifs de la navigation ; le chenal principal a en effet moins de méandres qu'au 18e siècle.

3.2.2. Les modifications morphologiques liées aux aménagements fluviaux

Les conceptions d'aménagement, depuis le 18e siècle, ont provoqué une métamorphose de la morphologie du lit fluvial. Le tracé de la Loire s'est en effet considérablement modifié et a suivi de grandes phases de basculement, enregistrées depuis le 18e

siècle (fig. 14). Le chenal principal est passé successivement d'une rive à l'autre. Ces phases de basculement du chenal principal traduisent à la fois la capacité «naturelle» de divagation du fleuve et l'influence des levées qui contraignent fortement cette capacité à divaguer. Lorsque le tracé est bloqué par des digues, un déséquilibre se crée et le tracé est alors détourné pour retrouver l'équilibre géométrique indispensable. Les levées installées très tardivement au cours du 19e siècle ont fortement contraint le corridor fluvial et son tracé.

Les francs-bords ont été formés grâce à la présence des levées de la rive gauche. En effet, 95 % des francs-bords ont pris comme point d'appui des levées (fig. 15) construites au cours des 18e et 19e siècles. Celles-ci ont constitué d'excellentes bases pour le développement de ces marges du fleuve qui ont cru latéralement et participé à la rétraction du chenal principal (Grivel 2008). Ce sont ces mêmes levées que l'on retrouve sur le terrain, certaines éloignées de plusieurs centaines de mètres du lit vif actuel (fig. 16). Grâce à l'utilisation du SIG et à l'exploitation des diverses sources iconographiques, il a été possible de montrer le lien très fort unissant les aménagements fluviaux anciens, les modifications du tracé de la Loire et le rétrécissement du fleuve.

3.3 Réalisation de cartes de terrain : ciblage des secteurs «tests»

Tous ces résultats théoriques vont être mis à l'épreuve du terrain grâce au SIG historique qui permet de repérer sur le territoire actuel les aménagements anciens dont la concentration est observable à proximité des villes-ports ou des lieux d'appontement sur un linéaire de 150km (avec une prospection rive gauche-rive droite) délimitée par huit secteurs, cibles d'aménagements. La préparation du terrain se fait en reportant sur les fonds de cartes IGN numériques (Scan25®) les ouvrages identifiés sur les cartes anciennes et cités par les rapports d'ingénieurs. La carte obtenue permet de localiser des données dans l'espace et d'enregistrer les données relevées sur le site (coordonnées GPS). L'approche du terrain complète cette diachronie, en partant d'une observation sur «papier» pour aboutir à une observation *in situ* confirmée par la sédimentologie et le sondage des sols au GPR qui s'attache à mettre en lumière des aménagements quasi invisibles car enfouis, cachés sous la végétation, le sable ou dans le fond de l'ancien lit et dont seule la source archivistique atteste la présence.

Conclusion

L'approche du géographe environnementaliste consiste à mettre en perspective des questions environnementales actuelles sur une trame historique. Dans le cadre de notre étude géo-historique, nous avons tenté de comprendre l'état actuel de l'anthroposystème de la Loire en reconstituant tous les facteurs enclenchants ou déclenchants ayant provoqué des modifications sur le cours du fleuve. Il apparaît graphiquement, grâce à l'exploitation des cartes, que les aménagements ont eu un impact sur la dynamique et la morphologie du lit du fleuve. De ces observations théoriques, il reste à faire la vérification concrète sur le terrain.

Notre source principale a été la «carte» laissée par les ingénieurs, qui nous est apparue comme le reflet de la conception de l'hydrosystème. Lorsque se met en place une carte aidant à la prise de décision des ingénieurs et permettant aux chercheurs de reconstituer l'aménagement et l'évolution du corridor fluvial de la Loire à une époque donnée, la carte outil devient la carte source. Entre les lignes des cartes se lit en filigrane l'évolution de la perception du fleuve par l'ingénieur. D'un fleuve à conquérir pour la navigation, la Loire devient un fleuve dont il faut quantifier, cartographier les débordements. On passe alors de la carte technique visant à situer les aménagements à des cartes préventives visant à saisir l'aléa que représente la crue. Le risque n'est plus seulement lu au travers des aménagements mais également au travers des représentations cartographiques, préludes à la mise en place d'une politique de gestion de l'inondation.

Les cartes de la Loire ont occupé une place essentielle dans l'aménagement du fleuve et reflété les changements de gestion au cours des siècles. De simples outils pour les ingénieurs et gestionnaires du fleuve, les cartes deviennent des documents de travail précieux. L'exploitation de chacune d'entre elles et leur comparaison mettent au jour des informations essentielles sur l'évolution du fleuve et la logique spatiale de l'installation des aménagements fluviaux anciens. En nous intéressant aux cartes du fleuve depuis le 18e siècle, nous voulions montrer leur diversité et les moyens de les exploiter.

Bibliographie

Andriamahefa H., 1999, *Les hydro-écorégions du bassin de la Loire : morphologie, hydrologie, pressions anthropiques sur les cours d'eau et les bassins vers*ants, St-Étienne, Université J. Monnet, 272 p.

Bélidor B. F. de, 1737, *L'architecture hydraulique ou l'art de conduire, d'élever et de ménager les eaux pour les différents besoin de la vie*, Paris*, 1ère éd. 1737-1739 et 4e éd. 1819.*

Boislisle A.-M., 1874-1893, *Correspondances des contrôleurs généraux des finances avec les intendants, 1683-1715*, Paris, Imprimerie nationale, 3 vol.

Bossut C., 1764, *Recherches sur la construction la plus avantageuse des digues***,** Paris , Barrois, Firmin-Didot, 68p.

Bossut C., 1771, *Traité élémentaire d'hydrodynamique,* Paris, C.-A., Jombert, 2e édition 1775.

Bourdet, 1773, *Traité pratique des digues le long des fleuves et des rivières*, Imprimerie Royale. Archives de l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées, MS, 8. 4902.

Buache P., 1752, «Essai de Géographie Physique», *Mémoires de l'Académie royale des sciences,* 1752, p.399-416.

Clément P., 1861-1882, *Lettres, instructions et mémoires de Colbert,* Paris, Imprimerie impériale puis nationale, 10 vol.

Coeur D., 1991, « Aux origines du concept moderne de risque naturel en France : le cas des inondations fluviales (XVIIe-XIXe siècle) » dans *Histoire et mémoire des risques naturels,* Éditions MSH Alpes, p.118-137.

Daumas M., 1962, *Histoire générale des techniques*, Paris, PUF, 4 vol.

Deserrey, 1774, *Traité des rivières et des torrens augmenté du traité des canaux navigables,* Imprimerie royale. 4.4870.

Dion R., 1934, rééd.1978, *Le val de Loire, étude de géographie régionale*, Marseille, Laffitte.

Dion R., 1961, *Histoire des levées de la Loire*, Paris, Aubenas.

Dubuat P., 1769*, Principe d'hydraulique* : *ouvrage dans lequel on traite du mouvement de l'eau dans les rivières, les canaux et les tuyaux de conduite ; de l'origine des fleuves et de l'établissement de leur lit ; de l'effet des écluses, des ponts et des réservoirs, du choc de l'eau ; de la navigation tant sur les rivières que les canaux étroits*, Imprimerie royale. 8. 2367.

Ehrard J., 1994, *L'idée de nature en France dans la première moitié du 18e siècle*, Paris, Albin Michel, 861p.

Finlayson D.P. et Montgomery D.R., 2003, "Modeling large-scale fluvial erosion in geographic information systems", *Geomorphology*, 53, p.147-164.

Gautier E., Bacchi M., Barbier J., Berton J.-P., Chambaud F., Couderchet L., Denis A., Dieu N., Grosbois C., Grivel S., Les *îles de la Loire, dubBec d'Allier à Gien : rythmes d'évolution, enjeux de gestion*, Thèse de doctorat en géographie physique, Université Paris 8, 518p

Gustavsson M., Kolstrup E. et Seijmonsbergen A.C., 2006. «A new symbol-and-GIS based detailed geomorphological mapping system: renewal of a scientific discipline for understanding landscape development», *Geomorphology*, 22 p.

Josselin D., Kunesch S., Lewis N., Moine A., Négrel, P., Oberti D., Petelet-Giraud E., Rousseau O. et De Sède M.-H., 2001, *La détermination d'un espace de liberté pour le système fluvial ligérien : identification et spatialisation des unités morphodynamiques et écologiques fonctionnelles dans les vals libres et endigués de la Loire, enjeux et acteurs sociaux*, PNRZH Loire, 211 p.

Kondolf M.G., Piegay H., 2003, *Tools in fluvial geomorphology*, Chichester, Royaume Uni, J. Wiley and Sons.

Le Bourhis J.-P., 2007, «Du savoir cartographique au pouvoir bureaucratique : les cartes des zones inondables dans la politique des risques (1970-2000)», *Genèses,* 2007/3, n°68, p.75-96.

Maillard B., 2004, «Pour une histoire des fleuves et des rapports hommes/fleuves : les sources écrites de la période moderne (XVIIe et XVIIIe siècles)», dans *Fleuves et marais, une histoire au croisement de la nature et de la culture,* Paris, p. 35-41.

Mantellier P., 1867, « Histoire de la communauté des marchands fréquentant la rivière de Loire et fleuve descendant en icelle », *Mémoires de la Société archéologique et historique de l'Orléanais, t. VII, 500p., t. VIII, 1868, 558p., t. X, 1869, 404p.*

Pelletier M., 2002, *Les carte des Cassini,* Paris, CTHS.

Picon A., 1992, *L'invention de l'ingénieur moderne, l'École des ponts et chaussées 1747-1851*, Paris, Presses des Ponts et Chaussées.

Rapport ZAL, 2002, *Rapport d'activité 2002-2003 de la Zone Atelier Bassin Versant de la Loire,* 73 p.

Schumm S.A., 1977, *The fluvial system*, New York, John Wiley and Sons, 338 p.

Serna V., 1996, *La construction d'un paysage fluvial du Moyen Âge au siècle des Lumières : ol'exemple de la boucle de la Marne (Val-de-Marne)*, Thèse de doctorat : Art et Archéologie, Paris 1, 3 vol., 722p.

Silbergschlag J.-l., 1769, *Théorie des fleuves avec l'art de bâtir dans leurs eaux et de prévenir leurs ravages pour servir de suite à la seconde partie de l'architecture de Bélidor.* Archives des Ponts et Chaussées**,** 4.4748.

Silberschlag J.-l., 1769, *Théorie des fleuves avec l'art de bâtir dans leurs eaux et de prévenir leurs ravages*, pour servir de suite de l'architecture hydraulique de Belidor, Imprimerie royale, 4.4748.

Temam 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 18e et 19e siècles*, mémoire de diplôme d'étude approfondie, Département de géographie, Université Paris 8, 110p.

Viallet, 1780, *Mémoire intéressant sur la construction des canaux de navigation*, t. 2. Cote: 4. 4903. Viallet était sous- inspecteur des Ponts et Chaussées de la province de Champagne, membre de la Société littéraire de Chalons-sur-Marne).

Vignon E., 1862, *Données historiques sur l'administration des voies publiques en France aux dix septième et dix huitième siècles,* Paris, Dunod, 3 vol.

Figure 1 : Le site d'étude entre Decize et Orléans

Figure 2 : Extrait de l'Atlas de Trudaine (Aval de la Charité-sur-Loire : aménagements en rive gauche). 1 : 8 600. Source : Archives nationales

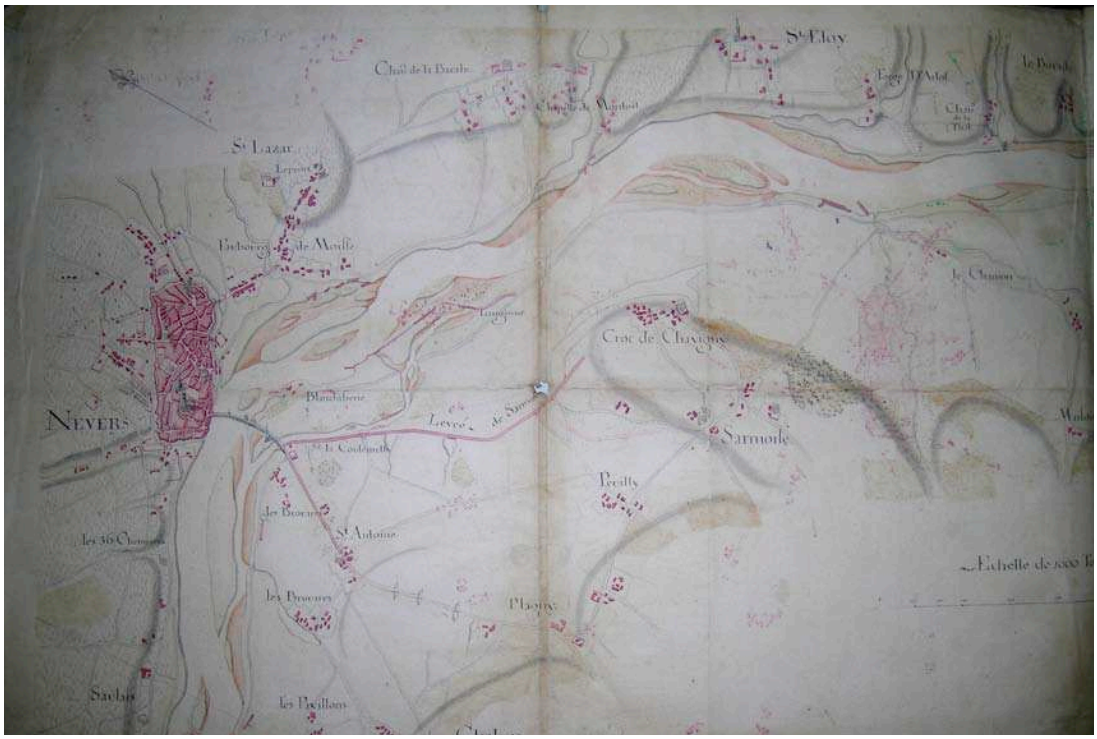

Figure 3 : Extrait des cartes du 18e siècle (secteur de Nevers). 1 : 40 000. Source : Archives nationales

Figure 4 : Plan géométrique de Grenier (secteur amont de la ville de Decize).
1 : 2 000. Source : Service Hydrologie et Voies navigables

Figure 5 : Extrait de l'Atlas de Coumes (secteur de Sully-sur-Loire. 1 : 20 000. Source : DIREN Centre

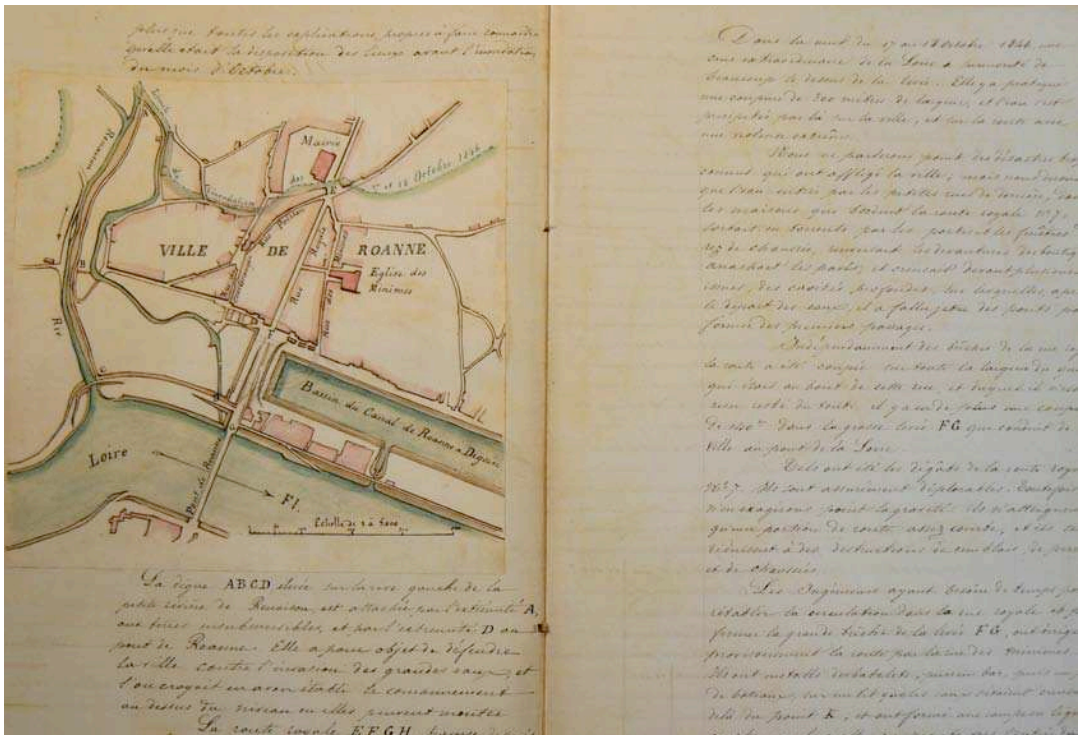

Figure 6 : Extrait de rapport d'ingénieur du 19e siècle. Source : Archives nationales, F14 7554

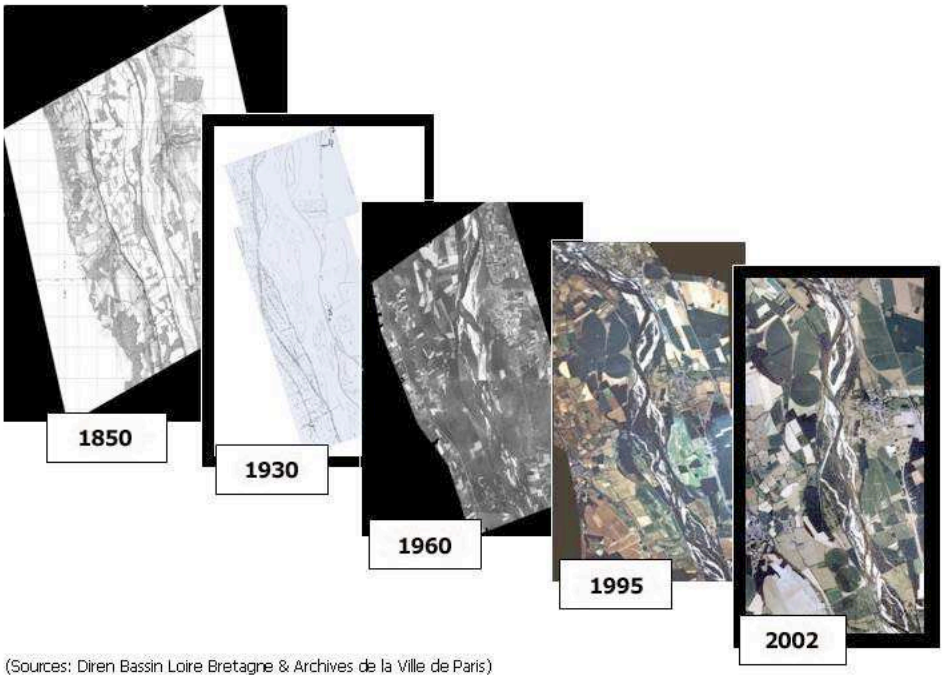

Figure 7 : Sélection des sources iconographiques utilisées dans le SIG. Source : © Stéphane Grivel

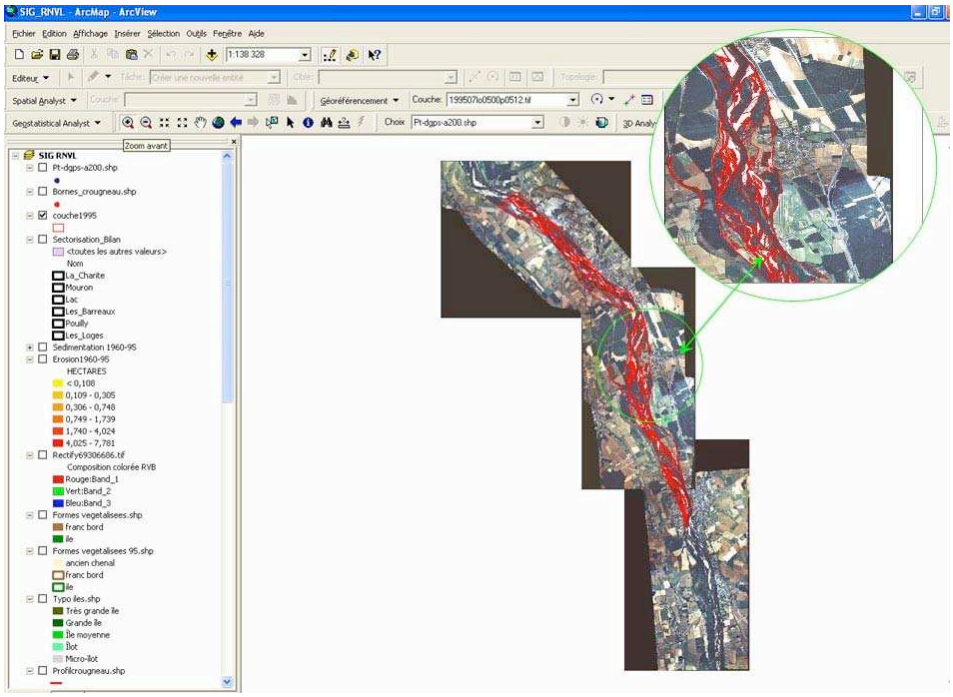

Figure 8 : Digitalisation du lit de la Loire et des ouvrages fluviaux. Source : © Stéphane Grivel et Saîda Temam

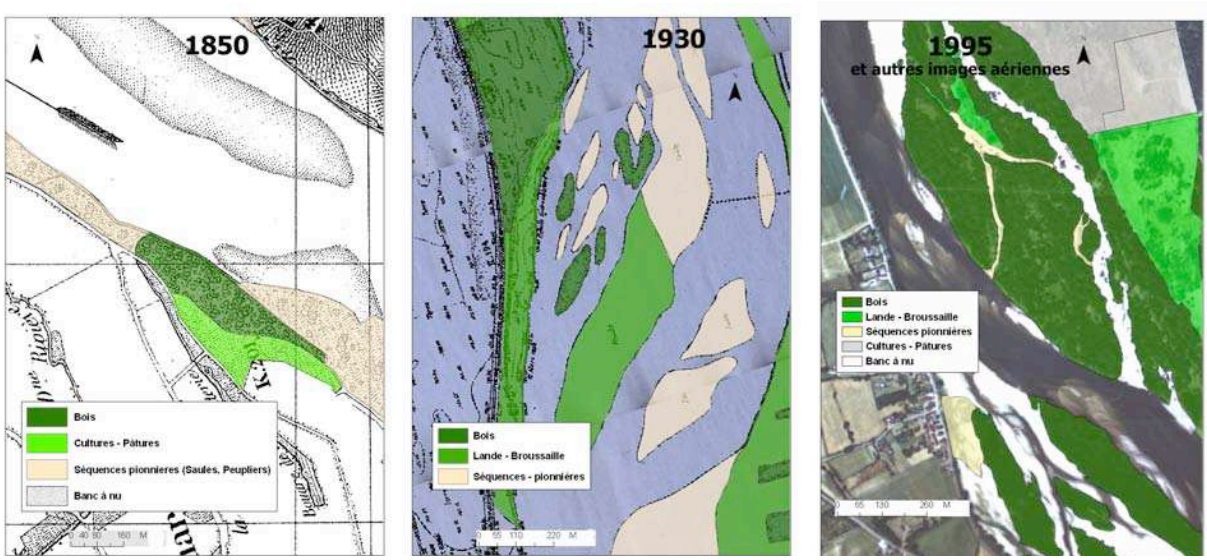

Figure 9 : Identification de l'occupation du lit sur les différentes sources. Source : © Stéphane Grivel

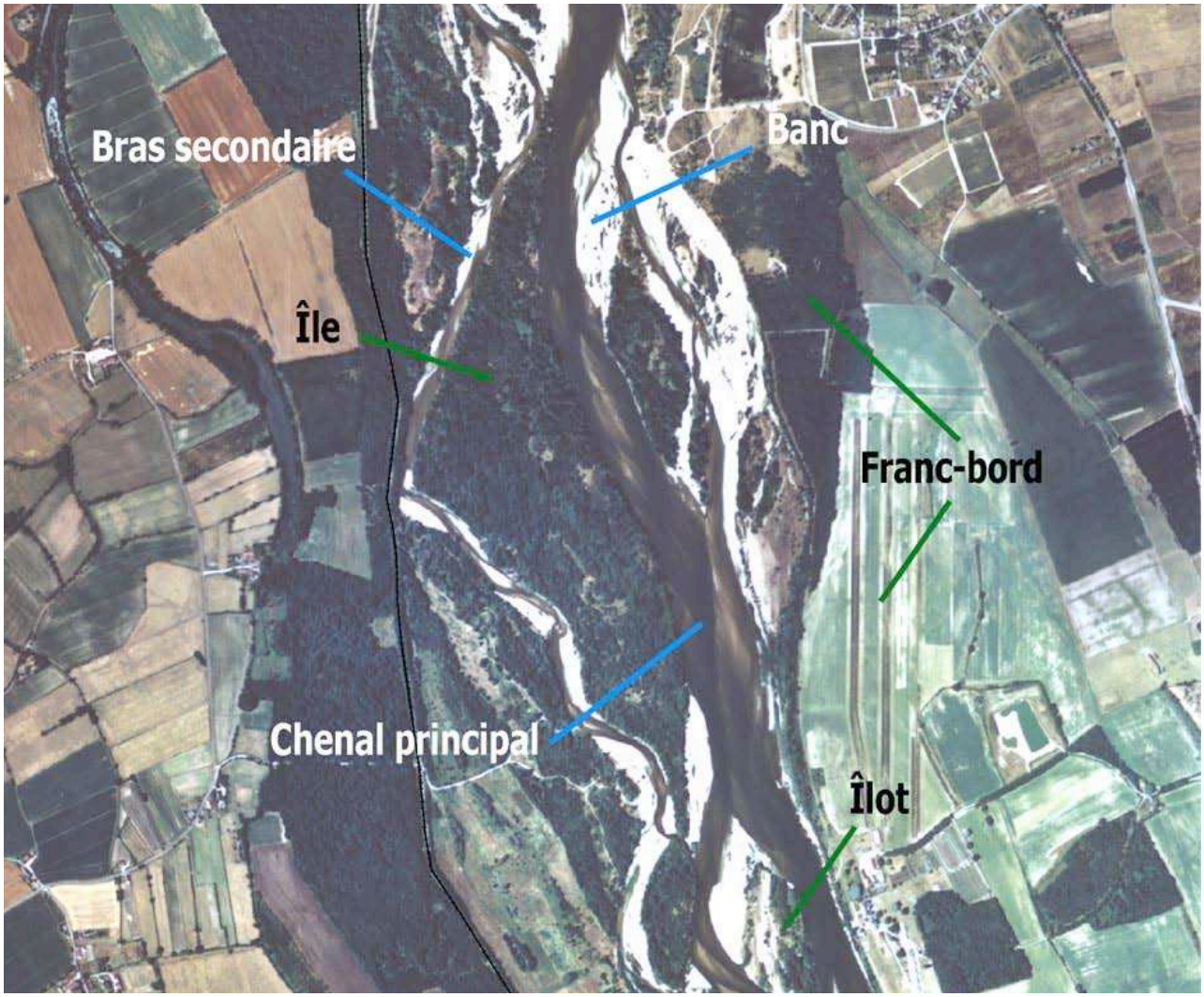

Figure 10 : Identification des formes fluviales. 1 : 25 000. Source DIREN Centre

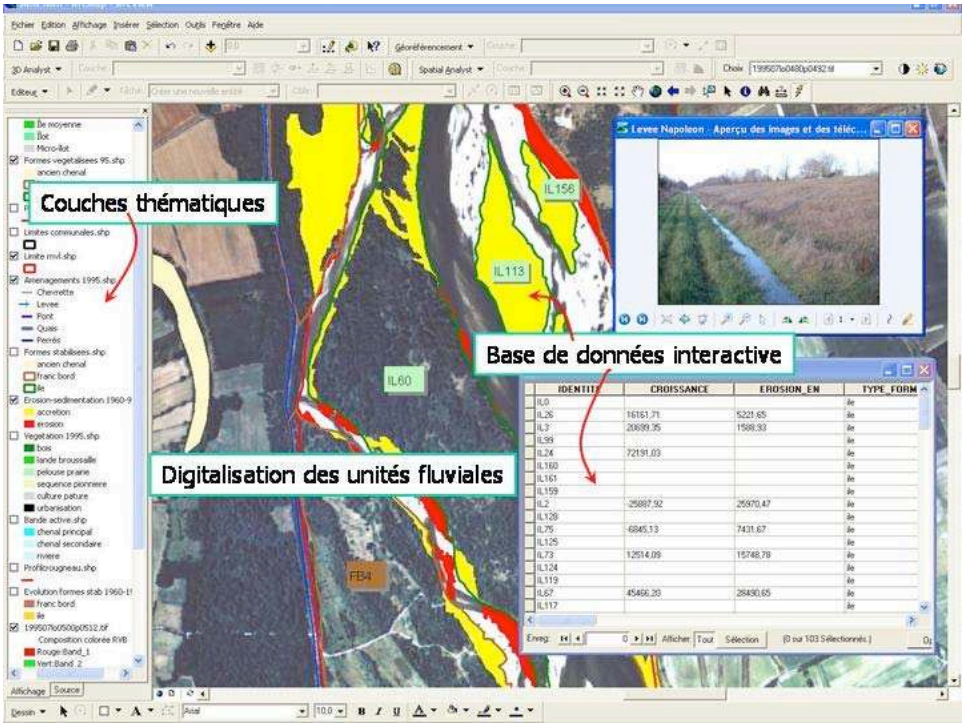

Figure 11 : Exploitation des données digitalisées sous le SIG. Source : © Stéphane Grivel

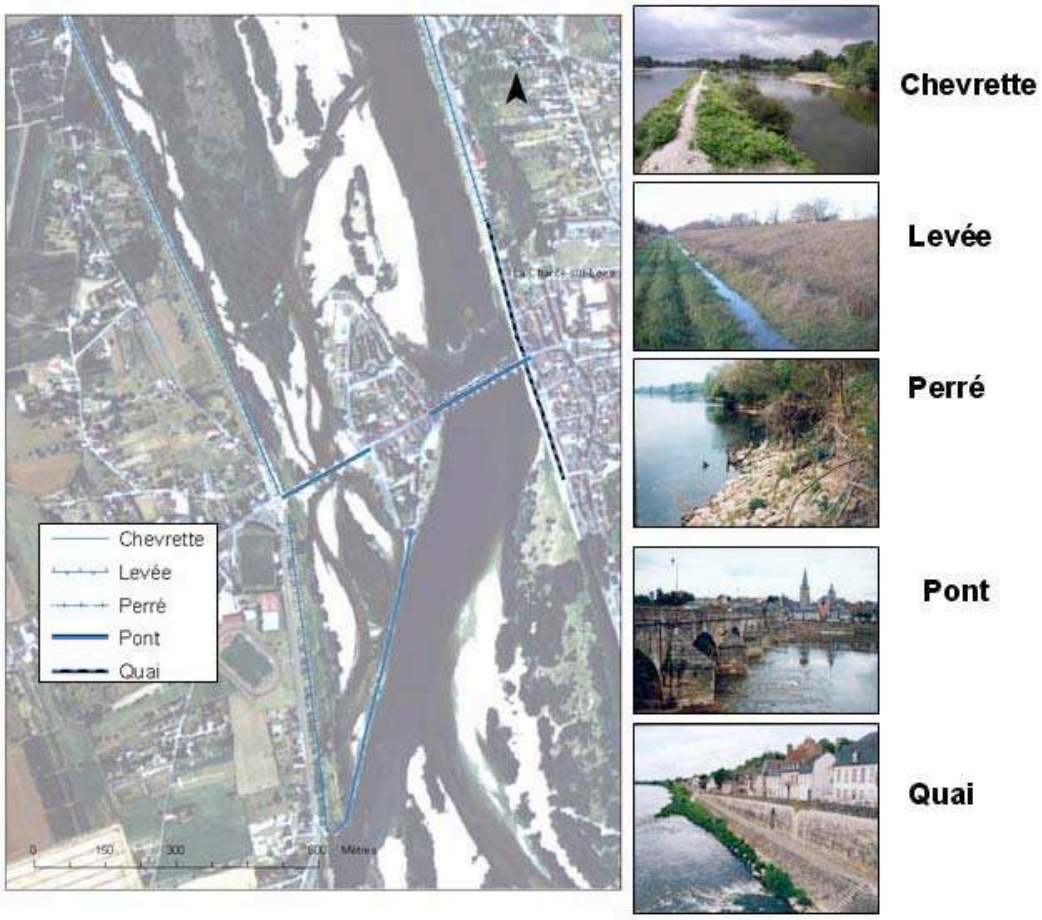

Figure 12 : Typologie des aménagements identifiables sous le SIG. Source : © Stéphane Grivel et Saîda Temam

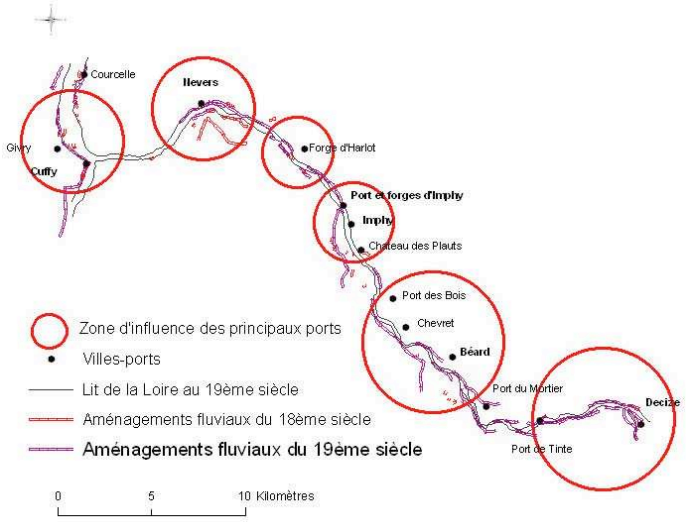

Figure 13 : Diachronie et spatialisation des aménagements fluviaux depuis le 18e siècle. © Saîda Temam

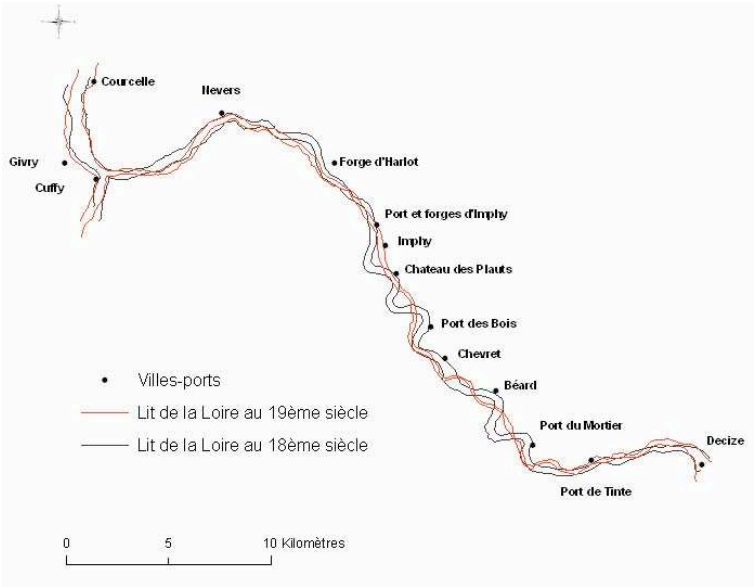

Figure 14 : Évolution du lit de la Loire depuis le 18e siècle. © Saîda Temam

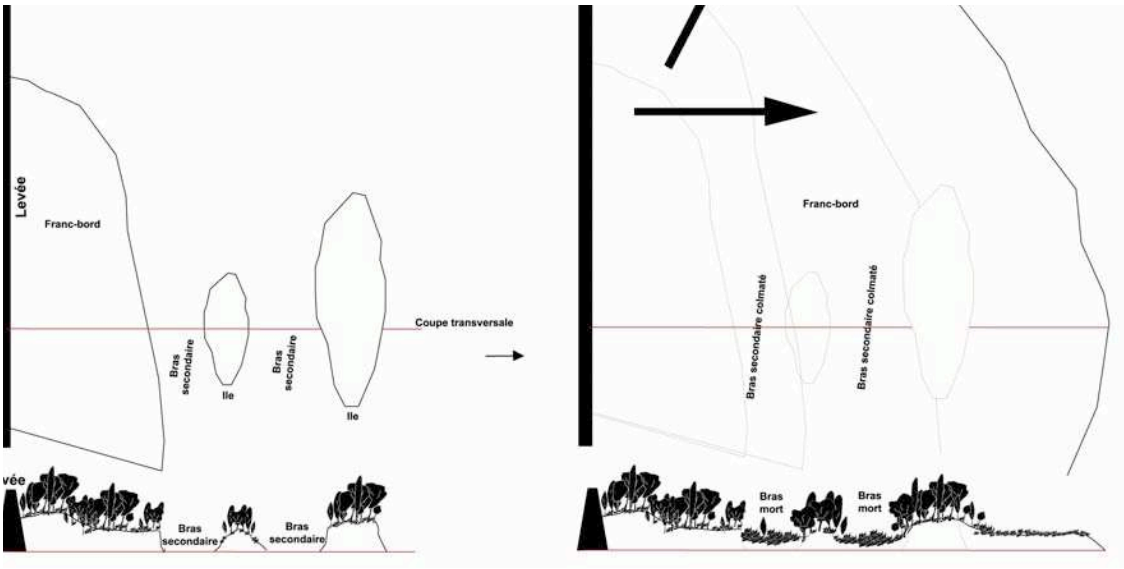

Figure 15 : Extension d'un franc-bord par appui sur une levée. © Stéphane Grivel

Figure 16 : Anciennes levées de franc-bord, situées à plus de 200 m du bord de la Loire (bec d'Allier).

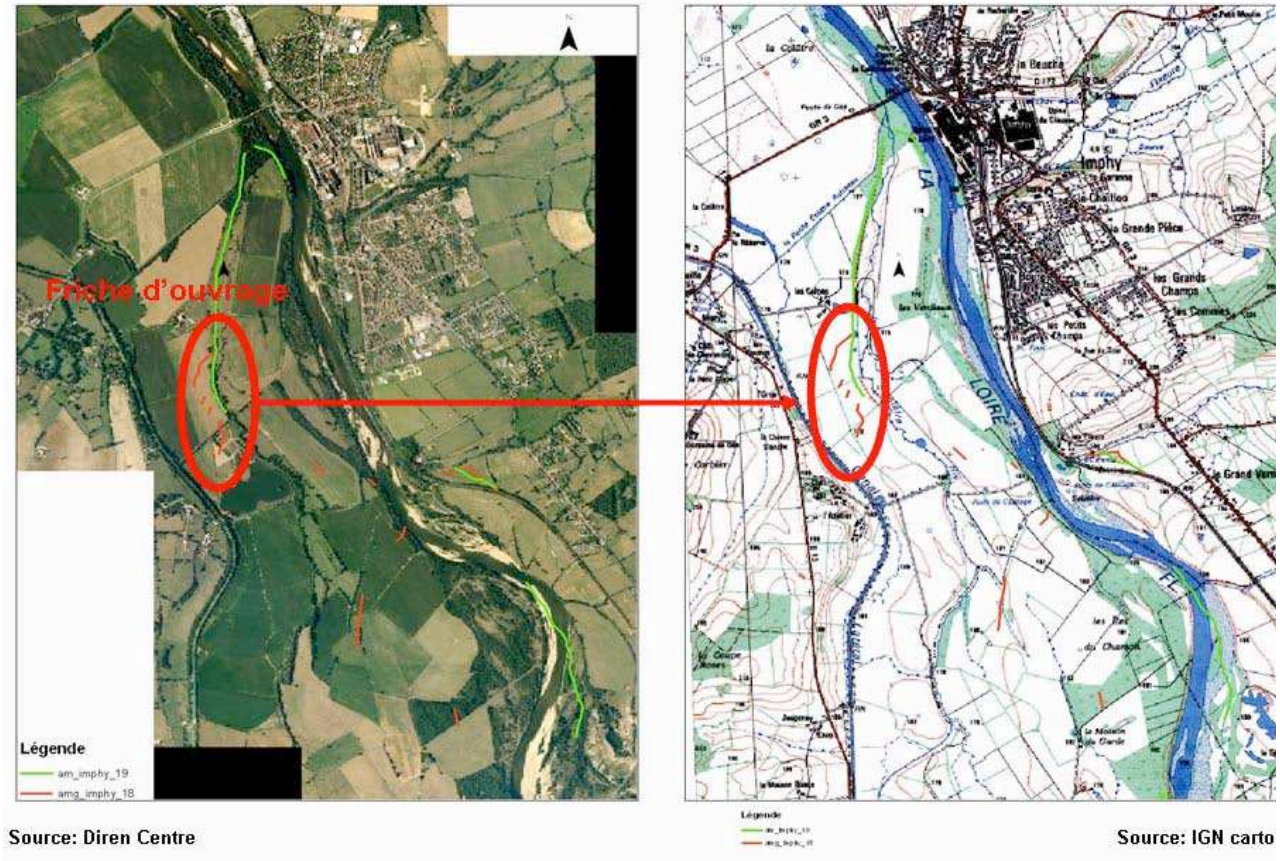

Figure 17 : Établissement des documents de terrain à l'aide du SIG. 1 : 25 00. © Saîda Temam