HAL
open science

APPRENDRE DU PASSE POUR OPTIMISER LA PREVENTION ET LA GESTION DES INONDATIONS SUR LE FERROVIAIRE

Cécile Saint-Marc, Dorine Chenier, Denis Coeur, Cicely Pams Capoccioni, Paule-Annick Davoine, Marlène Villanova-Oliver

To cite this version:

Cécile Saint-Marc, Dorine Chenier, Denis Coeur, Cicely Pams Capoccioni, Paule-Annick Davoine, et al.. APPRENDRE DU PASSE POUR OPTIMISER LA PREVENTION ET LA GESTION DES INONDATIONS SUR LE FERROVIAIRE. Symposium International GEORAIL 2014, Nov 2014, Marne-La-Vallée, France. hal-01383491

HAL Id: hal-01383491

https://inria.hal.science/hal-01383491v1

Submitted on 18 Oct 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.

APPRENDRE DU PASSE POUR OPTIMISER LA PREVENTION ET LA GESTION DES INONDATIONS SUR LE FERROVIAIRE

LEARN FROM THE PAST TO OPTIMISE THE PREVENTION AND MANAGEMENT OF THE IMPACTS OF FLOODS ON THE RAILWAY SYSTEM

Cécile SAINT-MARC[1], Dorine CHENIER[1], Denis COEUR[2], Cicely PAMS CAPOCCIONI[1], Paule-Annick DAVOINE[3], Marlène VILLANOVA-OLIVER[3]
[1] *SNCF INFRA - PSIGT-LVE, La Plaine Saint Denis, France*
[2] *ACTHYS-Diffusion, Biviers, France*
[3] *Laboratoire d'Informatique de Grenoble - STeamer, Saint-Martin-d'Hères, France*

RÉSUMÉ – Les archives sur les inondations historiques constituent un patrimoine riche pour l'analyse du système ferroviaire, mais actuellement sous-exploité. Nous expliquons ce qu'elles peuvent apporter, puis nous présentons une méthode de synthèse des données issues d'archives. Enfin, nous présentons les apports de la géovisualisation, comme outil pour faciliter l'utilisation de l'information historique.

ABSTRACT – Archives records dealing with historical floods constitute a remarkable heritage for railway system analysis, but they are under-exploited. This article deals with their interest. Then a methodology to build a chronological synthesis from historical records is presented. Finally, the advantages of geovisualisation, as a tool to ease the exploitation of historical information, are presented.

1. Introduction

Les risques liés à l'eau, notamment le débordement des cours d'eau ou le ruissellement, sont régulièrement à l'origine d'incidents sur le système ferroviaire (l'infrastructure, les circulations, les gares, les ateliers de maintenance des trains). Des inondations particulièrement intenses, dites *inondations extrêmes*, ont marqué l'Histoire du chemin de fer depuis ses origines. Ces événements affectent un territoire vaste et peuvent impacter toutes les composantes du système ferroviaire. Les intégrer d'avantage dans la conception, la maintenance ou la gestion des risques associés aux installations ferroviaires est une des problématiques actuelles de l'Ingénierie SNCF.

Elle rejoint en cela la forte demande sociétale et législative en matière de prévention des risques naturels et industriels, comme en témoigne la mise en place des PPR (Plans de Prévention des Risques) par le Ministère de l'Ecologie. La connaissance des impacts des événements extrêmes sur le comportement des ouvrages et sur l'exploitation, ainsi que des conditions de retour à la normale des circulations et du réseau sont de véritables enjeux, auquels peut répondre le retour sur les événements remarquables du passé.

Les archives SNCF/RFF constituent un patrimoine riche. Leur exploitation peut fournir des éléments de connaissance pour anticiper le risque inondations (mise en place d'une surveillance adaptée, gestion de ce risque vis-à-vis des circulations ferroviaires) et ainsi permettre d'améliorer l'exploitation du réseau pendant et après l'événement. Ce retour sur le passé nécessite une méthodologie pertinente pour à la fois rechercher, critiquer et capitaliser les informations, mais surtout pour s'inscrire dans une démarche opérationnelle répondant à un besoin défini.

Ce constat a conduit la SNCF à se poser deux questions :

- Comment mieux mobiliser les données sur les inondations conservées dans ses archives et les capitaliser, pour améliorer la gestion du système ferroviaire face au retour de tels événements ?
- Comment donner une vision cohérente et opérationnelle de ces informations dans un outil d'aide à la décision, qui croise les dimensions spatiale et temporelle ?

Pour y répondre une collaboration a été initiée entre Irstea, ACTHYS-Diffusion, le LIG et la SNCF, dans le cadre du projet DHI-Avenir porté par le département PSIGT-LVE de la SNCF. La démarche pluridisciplinaire associe hydrauliciens, hydrologues, informaticiens, géomaticiens, archivistes et historien.

Un travail de thèse a débuté en 2014 sur le sujet, visant à capitaliser les données historiques sur les événements extrêmes à travers un outil innovant de visualisation cartographique spatio-temporelle. La visualisation de l'information sur les phénomènes hydrométéorologiques et leurs impacts sur le système, sous une forme synthétique et parlante, peut faciliter l'analyse des données socio-techniques et la prise de décision pour la gestion des risques.

Dans cet article, nous présentons d'abord ce que peuvent effectivement apporter les données historiques sur les inondations du système ferroviaire. Nous exposons ensuite la méthodologie mise en place pour collecter, exploiter puis restituer l'information historique issue d'archives. Enfin, nous présentons une première restitution de données à l'échelle micro-régionale, pour illustrer les résultats auxquels va aboutir ce programme.

2. L'intérêt de l'information historique sur le risque inondations face aux enjeux du ferroviaire

2.1. Pourquoi se tourner vers le passé ?

Les retours d'expériences réalisés à la suite d'inondation participent aujourd'hui à l'établissement de règles de dimensionnement des petits ouvrages hydrauliques jusqu'aux grands viaducs (Chazelle et al., 2012). Lors de la conception d'un ouvrage ferroviaire, l'étude de l'assainissement est un enjeu technique important. Cependant, lors d'un événement extrême, la répartition des écoulements superficiels et internes peut être différente des épisodes courants. Leur prise en compte peut amener à modifier le dimensionnement des ouvrages de décharge pour assurer la sécurité du système.

Lors des inondations extrêmes, les dispositifs impactés sont tout autant des ouvrages de franchissement que des voies emportées, submergées ou dégradées. Cette vulnérabilité globale multiplie les points potentiels d'interruption des circulations. Or, les conséquences socio-économiques de ces interruptions sont aujourd'hui difficiles à évaluer.

En effet, le coût des impacts des inondations extrêmes englobe le montant des travaux d'infrastructure, celui lié à la non-exploitation de gares et du réseau, à l'interruption des circulations commerciales, mais aussi les répercussions sociales et économiques dans les zones qui ne sont plus desservies. L'exemple des inondations dans le département de l'Aude en 1999 est très révélateur. Sur la ligne Narbonne-Bize, la voie ferrée fut détruite sur plus de 150m (Figure 1) et reconstruite en 14 jours, sans aucune circulation possible durant toute cette période. Les impacts socio-économiques réels se sont fait sentir bien au-delà du département via les interconnexions du réseau entre l'Atlantique et la Méditerranée, et de Barcelone à Montpellier. Particuliers et entreprises de toutes tailles ont été touchés : arrêt du tourisme, absence de livraisons de matières premières et de produits finis, etc.

Figure 1. Dommages sur la ligne Narbonne-Bize à hauteur de Villedaigne après la crue du 12-13 novembre 1999 (Source: La Vie du Rail n° 2722)

Ainsi, mieux apprécier les impacts socio-économiques liés à ces événements permettrait :

- de déterminer plus précisément le coût financier réel induit par les inondations (investissement, maintenance, régénération), donc d'optimiser la gestion des dépenses liées à ces événements.
- de partager avec les acteurs territoriaux sur les conséquences socio-économiques potentielles d'une interruption durable du réseau de transports pour le territoire (demande forte des préfectures, notamment des services de la sécurité civile).

D'un point de vue technique, le retour sur les événements extrêmes peut livrer des informations sur l'exposition et la robustesse du réseau.

Il peut permettre d'identifier les territoires où des événements ont eu lieu par le passé. Les événements de forte intensité sont souvent éloignés dans le temps de plusieurs décennies ou siècles (Antoine et al. 2009). La mémoire de certains événements majeurs s'est donc perdue. La capitalisation de l'information historique pourrait éviter d'adopter des solutions techniquement inappropriées à certains endroits, lorsque le territoire a peu évolué depuis la dernière crue majeure.

Au cours du XXe siècle, l'urbanisation a cependant conduit à des changements profonds du territoire et de sa vulnérabilité dans de nombreux lieux : canalisation des cours d'eau, élévation de digues ou, à l'inverse, constructions en zones inondables. Il est donc probable que les inondations du passé ne se reproduisent pas selon la même configuration à ces endroits. Cependant, la connaissance des causes et des conséquences d'un incident passé en un lieu, peut fournir des informations pour aménager des ouvrages de prévention sur une autre ligne aux conditions environnementales semblables. Elle peut également permettre de mettre en place des mesures de surveillance et d'alerte appropriées dans des secteurs identifiés, pour anticiper et gérer les risques au regard des circulations ferroviaires en exploitation.

Par ailleurs, certaines solutions mises en œuvre par le passé durant la crise pourraient être ré-analysées au regard des contextes actuels et réutilisées, en ce qui concerne :

- la gestion de crise lors des épisodes majeurs (itinéraires déroutés, chaîne de transmission de l'information),
- la gestion post-crise (reconstruction de l'infrastructure, remise en service des circulations, solutions alternatives pour les voyageurs et les marchandises).

La description des modalités de la remise en exploitation permet par ailleurs d'éclairer la manière dont le système socio-technique a réagi à court et moyen termes et d'en tirer des conclusions sur sa performance.

Les retours d'expérience et l'information sur les phénomènes passés présente donc de multiples intérêts. Les impacts des grands épisodes d'inondation sur le réseau ferré et sur son exploitation ont, à ce jour, fait l'objet de peu de synthèses et d'analyses spécifiques. Ils restent méconnus et peu sont pris en compte. C'est à cette étape que le repérage et la capitalisation de données d'archives apporte une réelle plus-value.

2.2. Les archives : un patrimoine riche mais sous-exploité

Les archives SNCF/RFF constituent un patrimoine riche et irremplaçable. Les *archives d'intérêt historique* de la SNCF sont en majorité conservées au Centre National des Archives Historiques SNCF (CNAH) du Mans. Les archives historiques régionales sont quant à elles stockées dans les Pôles Régionaux d'Ingénierie (PRI).

Les archives contiennent des formats de documents variés : documents techniques (plans d'ouvrages, hauteurs d'eau) ; correspondances entre agents ; contrats ou arrêtés ministériels ; détail des dépenses réalisées (montant total de reconstruction, coût d'une déviation temporaire, remboursement de parcelles endommagées par le chantier…) ; le récit heure par heure des événements, ou des comptes rendus datés ; des cartes du réseau ancien, de voies ferrées ou des gares ; plus rarement des plans d'emprise des zones inondables ou des photographies d'époque.

A partir de ces documents, complétés par ceux détenus au sein des fonds d'archives publics (ex : archives départementales), la chronologie fine des événements survenus au cours de l'épisode de crue peut être reconstituée, de l'apparition du premier incident sur le système ferroviaire jusqu'à la phase de retour à la normale des circulations (Figure 2).

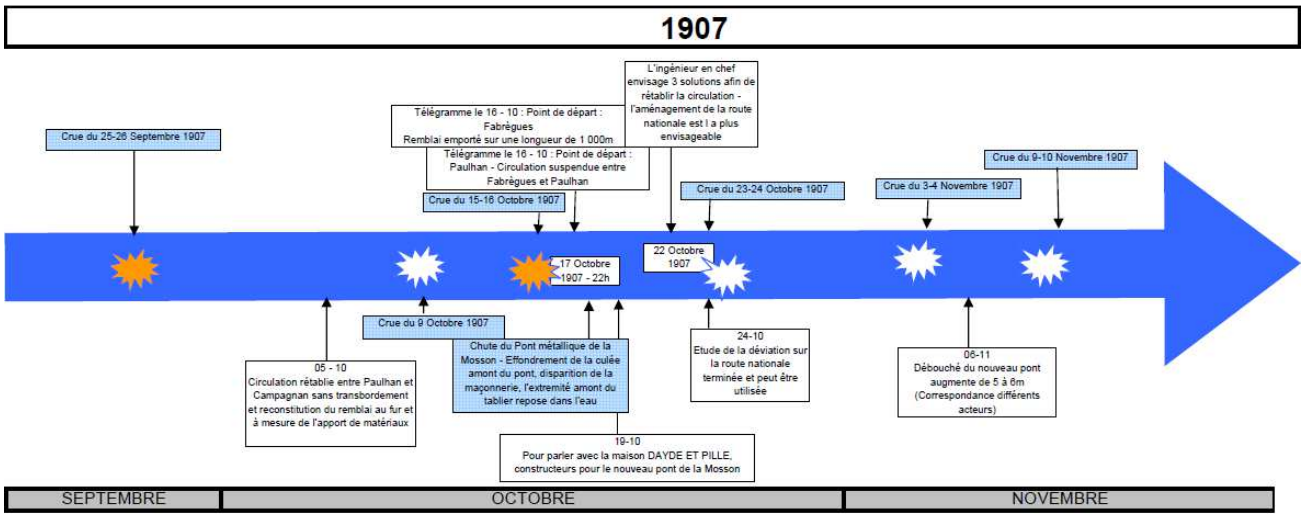

Figure 2. Chronologie des événements suite à la crue de septembre 1907 au droit du Pont de la Mosson (ligne Paulhan-Montpellier) (Source : Kohler 2012)

Les documents d'archives peuvent paraître difficiles à utiliser de prime abord, d'une part parce que leur conservation n'a pas été pensée dans cet objectif, et d'autre part à cause de la diversité de leur format et de leurs sources. Ils restent mal identifiés et dispersés entre les différents services sur le territoire. Leur exploitation apparaît pourtant comme une étape indispensable à une meilleure évaluation et compréhension des risques ferroviaires liés aux inondations exceptionnelles. Cela nécessite la mise en place d'une méthode pertinente pour à la fois rechercher, critiquer et capitaliser les informations historiques.

3. Utiliser l'information historique sur les inondations extrêmes : méthode et moyens de capitalisation

3.1. Méthode de collecte et de synthèse des documents d'archive

La mise en place d'une méthodologie et d'outils de transfert des connaissances spécifiques, pour une meilleure prise en compte des événements passés, nécessite de maîtriser les sources d'informations (Cœur et Lang, 2002). La méthodologie à adopter peut se décomposer en trois phases.

3.1.1. Inventaire, sondage, collecte

Dans un premier temps, il convient d'effectuer un travail de repérage des sources documentaires en archives. Dans notre cas, il a été nécessaire d'identifier les inondations sur lesquelles nous souhaitions faire porter notre recherche, de préciser leur emprise géographique et les numéros de lignes et pk concernés. On utilise pour ce faire des sources documentaires existantes par ailleurs sur les événements et le réseau ferré.

Des inventaires des fonds, plus ou moins détaillés, permettent également de faire des recherches sur l'ensemble d'un fond d'archives par mots-clés, ce qui accélère significativement l'identification des documents d'intérêt parmi les rayonnages. Lorsque les inventaires sont peu détaillés, il est possible de réaliser un « sondage » avant la recherche proprement dite. Il s'agit d'un inventaire rapide et ciblé des sources, consistant à survoler un ensemble de documents et, lorsqu'un document peut présenter un intérêt dans la thématique cible, à relever quelques informations d'identification succinctes (référence du dossier, thème, date et nature du document, description, photographie ou numérisation), avant de passer au document suivant. L'analyse du sondage permet ensuite de cibler précisément un nombre restreint de dossiers sur lesquels la consultation sera plus exhaustive. Ces étapes permettent d'optimiser le processus de recherche documentaire.

3.1.2. Capitalisation des données

Dans un second temps, les différentes données issues de cet inventaire devront être intégrées dans une base de données de référence. Celle-ci permettra de structurer, d'homogénéiser et de synthétiser les sources documentaires, en vue d'une mise à disposition adaptée aux besoins (connaissance de l'historique du patrimoine, plan local de gestion du risque inondation, document d'aide à la décision, projet de recherche, etc.).

Plusieurs structurations de la base de données (BDD) sont possibles. Il peut être intéressant d'orienter la BDD vers l'aspect historique des données, comme l'ont fait les projets SPHERE[1] (Cœur et al. 2000) ou BDHI[2] (Villanova-Oliver et al. 2013) dans le domaine de la gestion de données relatives aux inondations. Cette structuration présente l'avantage pour l'utilisateur de pouvoir remonter à la source de l'information et d'avoir une

[1] SPHERE (Systematic, Palaeoflood and Historical data for the improvEment of flood Risk Estimation) - Page web du projet: http://www.ica.csic.es/dpts/suelos/hidro/sphere/

[2] BDHI (Base de Données Historiques sur les Inondations) – Page web du projet : http://bdhi.liglab.fr

vue du contexte historique de production. L'information relative à une inondation est alors segmentée dans plusieurs enregistrements de la base de données, chacun relatif à une source documentaire. Dans le projet BDHI (base de Données Historique sur les Inondations), du Ministère de l'Ecologie, un outil web de gestion du contenu de la BDD présente en plus un module d'aide à l'expertise, qui guide l'utilisateur pour élaborer les synthèses des documents stockés dans la base, en vue de leur exploitation.

Les synthèses documentaires peuvent cependant être élaborées en amont du stockage dans la BDD. L'utilisateur aura alors accès à des informations pré-traitées plutôt qu'aux données brutes. Les traitements amont simplifient l'utilisation des données, mais limitent le panel des usages possible car ils sont orientés vers un objectif. Il est donc essentiel de prendre en compte les besoins des utilisateurs, pour identifier l'architecture de la BDD et les prétraitements éventuels les plus adaptés.

Concernant les données conservées dans les archives SNCF/RFF, nous avons suivi la seconde approche en traitant l'information, avant de l'intégrer dans un Système d'Information Géographique. La synthèse documentaire a été réalisée manuellement selon une méthode empirique détaillée ci-après.

Prenons l'exemple de la crue de 1940 dans la vallée du Tech (Aude, France), pour laquelle nous disposions de huit sources d'information différentes. La première étape a consisté à ordonner chronologiquement les extraits issus de chaque source qui concernent la thématique. Nous avons relevé : les phénomènes hydro-climatiques, les impacts de l'inondation sur le système ferroviaire et les opérations de rétablissement de l'infrastructure et des circulations. Pour chaque extrait, nous avons gardé une trace de la source documentaire de provenance en utilisant un code couleur, pour une meilleure organisation visuelle.

Suite au parcours de toutes les sources documentaires, on obtient une chronologie assez complète de l'événement. Des questions méthodologiques ou techniques apparaissent à ce stade :

- les redondances : plusieurs extraits contiennent la même information. Nous avons alors conservé seulement l'information provenant de la source jugée la plus fiable.
- les contradictions : certains documents donnent des informations différentes, voire opposées. Il est alors nécessaire de recourir à une source documentaire tierce pour identifier l'information correcte.
- les imperfections : les documents historiques font état d'informations parfois imprécises ou incertaines. Par exemple, certains événements sont mentionnés sans être datés. Ils ne peuvent donc pas être intégrés à la chronologie. Par recoupement avec le contexte hydro-climatique, nous avons reconstitué certaines dates (ex : destruction d'un pont, finalement localisé au plus fort de la crue). La BDD du SIG conserve la trace explicite des données à caractère imprécis ou incertain.

Une fois la chronologie validée, une localisation spatiale est associée à chaque phénomène à partir des sources documentaires ou est reconstituée de la même façon que pour les dates. Les événements sont alors décrits dans le temps et dans l'espace.

3.1.3. Restitution de l'information

Une fois structurée grâce à l'intégration dans la BDD, l'information peut finalement être utilisée dans des outils d'analyse et diffusée à des acteurs variés dans des projets collaboratifs. C'est à ce stade que la visualisation cartographique entre en jeu, tant pour analyser que pour restituer les données relatives aux impacts des inondations.

3.2. La géovisualisation : un moyen efficace pour utiliser l'information spatio-temporelle

3.2.1. L'intérêt des cartes pour étudier les risques naturels

L'étude des systèmes de gestion de crise met en évidence trois volets d'actions différents face aux risques : les actions de prévention pour réduire les conséquences d'un événement probable, les actions de prévision visant à anticiper l'apparition d'un phénomène dangereux et les actions de gestion de crise visant à préparer des moyens pour faire face à l'événement lorsqu'il survient (Davoine, 2014). L'outil cartographique s'avère particulièrement pertinent dans toutes ces étapes (Chesneau 2006).

L'intérêt des cartes dans l'étude des risques a été abondamment décrit dans la littérature. La carte donne à voir l'information géographique. Elle permet de repérer, communiquer et transmettre l'information (Cauvin et al., 2007). C'est aussi un outil d'analyse, de construction de la connaissance et d'aide à la décision (Kraak et Ormeling, 2011). Un autre de ses intérêts est qu'elle permet de visualiser les éléments constitutifs du risque, donc quelque part de le matérialiser, de le rendre plus facilement appréhendable par les acteurs (Propeck-Zimmerman et Saint-Gerand, 2001) (Beck et al. 2006).

3.2.2. La géovisualisation : définition et apports dans le contexte des incidents ferroviaires

L'association de la carte et de l'outil informatique permet d'augmenter le potentiel de l'interface. Lorsque les cartes sont consultées sur un support informatique et qu'on y ajoute des fonctionnalités d'interactivité ou d'animation, ou encore du contenu multimédia, on emploie le terme de *géovisualisation*. Ce terme vient du domaine de l'informatique et hérite d'autres disciplines comme la visualisation scientifique, les SIG et la cartographie. Les géovisualisations ne donnent pas seulement à voir des données brutes. Elles intègrent souvent un modèle plus riche d'interrogation des liens entre organisation spatiale, temporelle et distribution statistique des phénomènes. Elles associent différents modes de représentation, graphique et cartographique des données, répartis dans des fenêtres synchronisées (Figure 3).

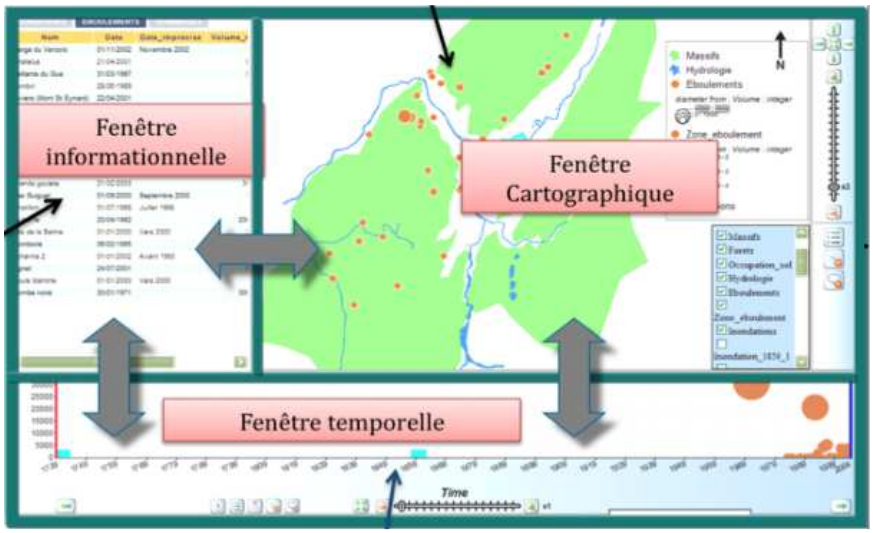

Figure 3. Un exemple d'outil de géovisualisation spatio-temporelle : l'outil GenGHIS (Davoine et al., 2009)

La géovisualisation est encore peu répandue dans l'étude des risques naturels. D'un point de vue opérationnel, dans le domaine du ferroviaire, la géovisualisation des inondations historiques viserait à restituer aux gestionnaires de l'infrastructure et aux opérateurs ferroviaires une vision intégrée des événements, à la fois sur un plan spatial et temporel.

En donnant à voir l'information historique, l'analyse visuelle permettrait d'élargir l'analyse des conséquences d'une inondation sur le système ferroviaire à d'autres impacts socio-économiques. Pour le gestionnaire de l'infrastructure, la mise à disposition de ces informations offrirait une capacité d'expertise complémentaire lui permettant d'optimiser le coût de gestion du patrimoine au regard du retour d'événements. Pour l'exploitant, elle apporterait des éléments vers la maîtrise des risques au regard des circulations. Enfin, elle pourrait contribuer à optimiser l'exploitation du réseau lors de la phase du retour au service normal.

3.3. Essai de cartographie chronologique des impacts de l'inondation de 1940 sur le système ferroviaire dans la vallée du Tech

Une première restitution cartographique a été conçue pour visualiser les impacts des inondations historiques sur le système ferroviaire (Figure 4). Cet exemple porte sur la crue de 1940 dans la vallée du Tech.

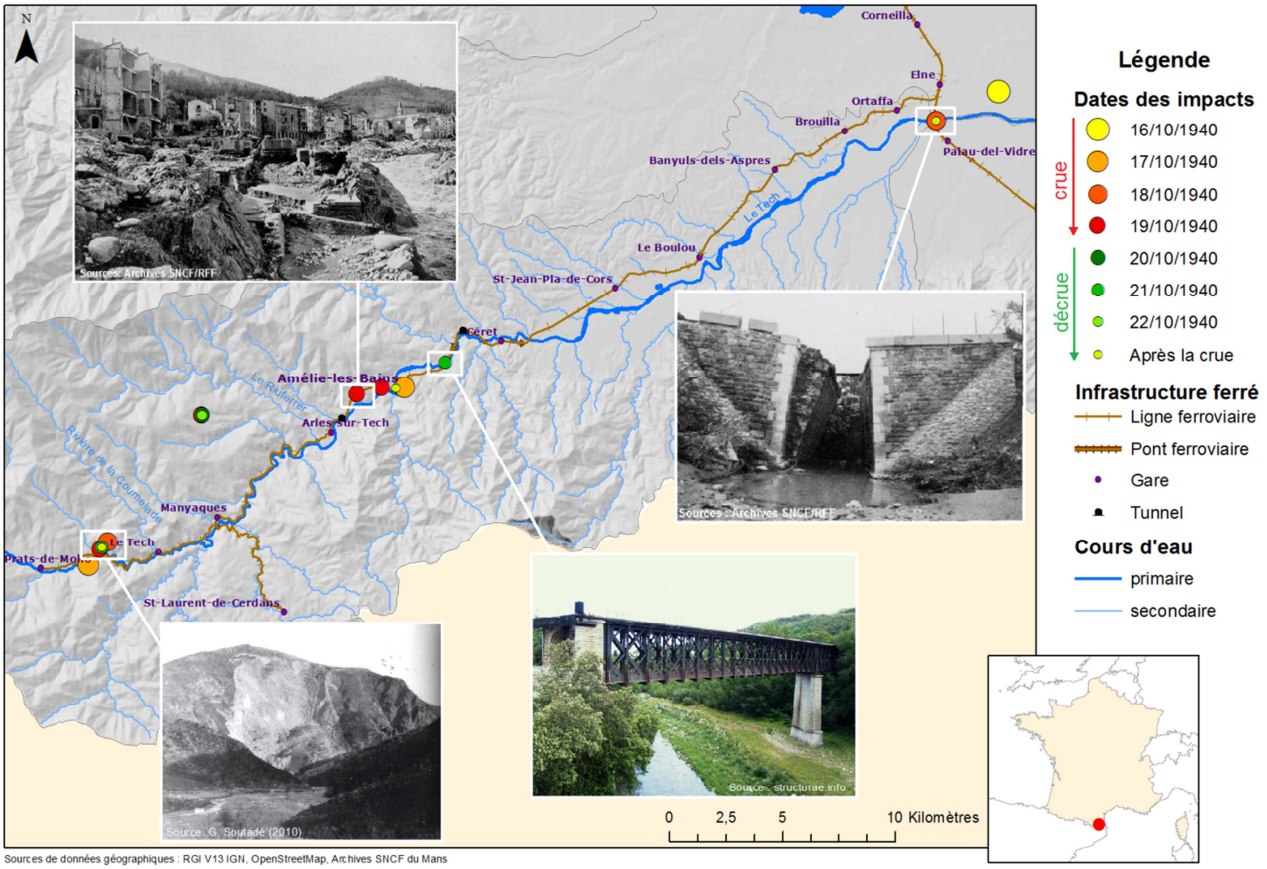

Figure 4. Chronologie des événements de la crue d'octobre 1940 dans la vallée du Tech

Restituer cartographiquement une succession d'événements dans le temps pose des questions méthodologiques. Tout d'abord, si la carte représente bien l'espace, peut-elle aussi représenter le temps ?

Sur une carte traditionnelle, le temps peut être inclus dans le plan en faisant varier un attribut visuel des points représentant les événements : taille, couleur, forme et autres variables visuelles introduites par (Bertin, 1967). A chaque phénomène peut être attaché une étiquette sous forme d'un texte indiquant sa date. Il est également possible de réaliser une collection de cartes, chaque carte représentant une date ou une période de

l'événement (Cauvin, 2008). Dans la Figure 5, l'écoulement du temps est représenté par la taille décroissante des cercles qui localisent les événements. Nous avons aussi distingué les phases de crue et de décrue par des couleurs en utilisant des couleurs plus foncées près du pic de crue.

Cette représentation du temps a deux limites majeures. Tout d'abord, les cartes statiques ne permettent de représenter qu'un nombre limité d'informations et sont vite surchargées. Par exemple, l'ajout de textes décrivant les phénomènes noie l'information initiale et la rend illisible. Par ailleurs, les événements successifs surviennent souvent au même endroit et apparaissent superposés et plus difficiles à distinguer. Enfin, l'organisation des phénomènes au cours du temps reste difficile à percevoir. Face à ces questions, la géomatique permet d'intégrer à l'interface deux solutions techniques complémentaires : de l'interactivité pour permettre d'afficher ou masquer les informations à la demande de l'utilisateur et de diminuer la charge visuelle de la carte, et de l'animation pour éviter les superpositions et mieux figurer les dynamiques du territoire. L'interactivité permettrait aussi d'ajouter du contenu sémantique (descriptions des événements, contexte hydro-climatique) et multimédia à la carte (photos, vidéos, sons).

La prochaine étape de ce projet sera donc de passer d'une visualisation cartographique à une géovisualisation dynamique.

4. Conclusions

L'information historique peut apporter une réelle plus-value en matière de diagnostic ferroviaire. Aujourd'hui exploitée lors de la mise en place de lignes nouvelles pour dimensionner les ouvrages d'art, en terre et hydrauliques, elle peut également être mobilisée dans la phase de maintenance du réseau, dans la gestion de crise et post-crise au regard de l'exploitation et de l'infrastructure lorsqu'un incident survient, et peut servir à mieux évaluer l'impact socio-économique des interruptions de circulation liées aux crues.

L'exploitation des données sur les événements passés nécessite toutefois une méthode définie, prenant en compte les contraintes de la conservation des archives. Repérage, collecte et critique de l'information précède sa synthèse pour former une chronologie des phénomènes survenus durant la crue. Les SIG et la géovisualisation proposent des pistes techniques innovantes (interactivité, animation) permettant de mieux raisonner sur les dimensions spatiale, temporelle et thématique de l'information.

Le travail de thèse associé au projet DHI-Avenir devrait permettre d'avancer sur l'intégration de la dimension chronologique dans les cartes et offrir un outil à la fois opérationnel, pour établir des constats d'ordre technique, et communiquant, pour comprendre les événements et prendre des décisions.

5. Références bibliographiques

Antoine J.M., Dessailly B., Peltier A. (2009). Sources historiques et problématiques de recherche en géographie des risques naturels. *Géocarrefour*, vol. 84/4, pp. 229-239.

Beck E., Weber C., Granet M. (2006). Etude multirisques en milieu urbain et SIG : le cas de l'agglomération de Mulhouse. *Revue Internationale de Géomatique*, Numéro spécial : information géographique et gestion des risques, vol. 16/3-4, pp. 395-414.

Bertin J. (1967). *Sémiologie graphique: Les diagrammes, les réseaux, les cartes*. Paris, La Haye, Mouton Gauthier-Villars, 431 p.

Cauvin C., Escobar F., Serradj A. (2007). *Cartographie thématique 1 : une nouvelle démarche*. Edition Hermès Sciences, Traité IGAT, 284 p.

Cauvin C., Escobar F., Serradj A. (2008). *Cartographie thématique 5 : des voies nouvelles à explorer*. Edition Hermès Sciences, Traité IGAT, 320 p.

Chazelle B., Lambert L., Pams Capoccioni C. (2012). La vulnérabilité des infrastructures ferroviaires face aux évènements hydrologiques extrêmes : Etat des connaissances et gestion du risque. *Congrès SHF, Evénements extrêmes fluviaux et maritimes,* 1-2 février 2012, Paris (France).

Chesneau E. (2006). Pour une amélioration automatique des contrastes colorés en cartographie : application aux cartes de risques. *Bulletin du Comité Français de Cartographie*, décembre 2006, 16 p.

Coeur D., Davoine P.A., Lang M., Martin H. (2000). Le projet SPHERE : intégration de l'information historique sur les inondations dans un système d'information. *Colloque national SIRNAT : Système d'information pour les Risques Naturels*, Laboratoire LSR, IMAG, Grenoble, 28 septembre 2000.

Cœur D., Lang M. (2002). L'enquête en archives et la connaissance des inondations. in *Avalanches et risques. Regards croisés d'ingénieurs et d'historiens*, actes du séminaire du programme « Histoval » (Grenoble, 16 septembre 1999), Cemagref-Université Pierre Mendès France (CRHIPA/HESOP), Grenoble, MSH-Alpes, pp.133-144.

Davoine P. A., Moisuc B., Gensel J., Arnaud A. (2009). GenGHIS : environnement pour le développement d'applications de géovisualisation à données géo-référencées multidimensionnelles. *Festival International de Géographie*, Saint-Dié-des-Vosges (France), 1-4 octobre 2009.

Davoine P.A. (2014). *Contributions Géomatiques pour la Gestion des Risques Naturels : Modélisation, Géovisualisation, Acquisition*. Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Grenoble.

Kohler C. (2012). *Mise en place d'une synthèse documentaire sur la crue de 1907 en Languedoc-Roussillon*. Rapport de stage, SNCF Infra - Ecole Polytechnique Universitaire de Montpellier.

Kraak M.J., Ormeling F. (2011). *Cartography: visualization of spatial-data*. 3ème edition, New York, Guildford Press.

Lang M., Cœur D. (2013). Les inondations remarquables en France au XXe siècle : premiers éléments d'analyse issus de l'enquête EPRI 2011. Actes du colloque SHF « Evénements extrêmes fluviaux et maritimes », Paris, 1-2 février 2012, *La Houille Blanche – Revue Internationale de l'Eau,* n°5, 37-47.

Propeck-Zimmerman E., Saint-Gerand T. (2001). Modélisation cartographique des RTM : de la connaissance du risque à sa gestion ou visualiser le risque dans un SIG pour l'objectiver. *Actes du colloque international « Risques et Territoires »*, Vaulx-en-Velin, tome 1.

Villanova-Oliver M., Hombiat A., Saint-Marc C., Davoine P.A., Gensel J. (2013). Capitalisation de l'information géohistorique dans le cadre de la Directive Inondation : Principes et développements de la BDHI (Base de Données Historiques sur les Inondations). *Poster de la conférence SAGEO 2013,* 24-26 septembre 2013, Brest, France.