

CARTOGRAPHIE DES INONDATIONS HISTORIQUES MAJEURES SUPERPOSÉES SUR UN TERRITOIRE

par Cécile Saint-Marc, Paule-Annick Davoine, Marlène Villanova-Oliver

Bâtiment D'ENSIMAG 681 rue de la Passerelle 38402 Saint-Martin-D'Herès

cecile.saint-marc@imag.fr, paule-annick.davoine@imag.fr, marlene.villanova-oliver@imag.fr

Michel Lang

Irstea, Unité de Recherche Hydrologie-Hydraulique

5 rue de la Dona, 69100 Villeurbanne

michel.lang@irstea.fr

Denis Cœur

Acthys Diffusion

233 chemin de Plate Rousset 38330 Biviers

denis.coeur@orange.fr

L'étude des risques naturels sur un territoire nécessite d'étudier l'étendue spatiale et temporelle des événements historiques l'ayant impacté. Les cartes dynamiques sont un bon moyen de conduire des analyses spatio-temporelles mais, dans certains contextes, les cartes doivent être imprimées. Le travail décrit dans cet article avait pour but de réaliser des cartes montrant les localisations de plusieurs inondations historiques majeures, inventoriées dans le cadre de la Directive inondations de la Commission européenne. Une méthode a été élaborée pour, d'une part, reconstruire les zones impactées à partir de descriptions textuelles imparfaites et, d'autre part, pour cartographier sous forme statique les inondations successives datées, leur étendue, leur type et les objets du territoire qui furent impactés pendant les événements. Le problème principal réside dans la quantité de données à représenter sur une même carte. Pour le résoudre, nous avons associé différentes variables visuelles et éléments graphiques : des polygones transparents (rectangles, ellipses) à bordure colorée, pour montrer l'étendue des inondations, des étiquettes textuelles pour figurer la dimension temporelle et des symboles iconiques pour spécifier le type d'inondation. Le design cartographique proposé peut être appliqué à d'autres risques naturels d'implantation surfacique.

Introduction

Dans le domaine des risques naturels, anticiper et prévenir les événements futurs passe par l'étude détaillée des événements passés. La carte est un outil intéressant pour travailler sur les risques naturels passés dans leur contexte spatial. Les cartes phénoménologiques permettent de mieux comprendre les événements grâce à la visualisation de leurs localisations, leurs caractéristiques, leurs contextes spatiaux et les phénomènes qui leurs sont potentiellement liés. Elles contribuent à identifier les zones menacées.

Les inondations sont des événements hydrologiques cycliques, chacune caractérisée par une période de retour (ex : crue centennale) qui indique la probabilité d'occurrence d'un événement similaire (ex : probabilité de 1/100 chaque année qu'une telle crue survienne). Les décideurs sont particulièrement intéressés par les crues dites majeures, qui sont relativement rares à l'échelle d'une vie humaine (crue cinquantennale ou

supérieure) mais qui ont de graves impacts, souvent sur des territoires étendus.

Les informations historiques sur les inondations passées viennent majoritairement d'archives et de témoignages apportant une information incomplète : ils ne décrivent que les cours d'eau ayant débordé et certains lieux impactés. Par conséquent, l'étendue spatiale d'une inondation historique est souvent connue de façon imprécise, ce qui rend sa cartographie délicate.

La succession de plusieurs inondations ou phénomènes d'inondations survenus sur un même territoire conduit à trois types de problèmes cartographiques qui menacent la lisibilité de la carte.

Premièrement, le nombre d'événements qui doivent figurer sur la carte peut être élevé, ce qui conduit à représenter une information dense. Deuxièmement, il est nécessaire pour l'analyse que la carte montre

plusieurs caractéristiques des événements (telles que la date, le type d'inondation, la cause hydro-climatique), complexes à traiter avec les seules variables visuelles. Enfin, plusieurs phénomènes peuvent survenir en un même lieu au cours du temps et peuvent apparaître spatialement superposés dans la carte.

Les cartes dynamiques (cartes à la fois interactives et animées), qui se sont développées dans les dernières décennies, contribuent à outrepasser les limites des cartes classiques pour visualiser des masses de données denses. Néanmoins, les cartes statiques restent requises dans certains cas, comme la publication sur un support papier ou la comparaison de plusieurs localisations d'événements à différentes dates. Dans le but d'illustrer le livre *Les inondations remarquables en France* (Lang, Cœur, 2014), qui décrit les inondations historiques majeures retenues pour l'Évaluation préliminaire du risque inondation (EPRI) en France (commandé par la Directive inondation 2007/60/EC de la Commission européenne), nous devions réaliser des cartes des inondations majeures en France (métropole et DOM) par district et unité de gestion. Les cartes concernaient onze districts et quarante-trois unités, répertoriant chacune de trois à onze événements d'inondations.

La difficulté majeure de ces cartes était qu'elles devaient montrer cinq dimensions de l'information, alors que les variables sémiologiques classiques (Bertin, 1967) ne permettent d'en représenter que trois ou éventuellement quatre (ex : deux dimensions pour l'espace, la couleur et le grain appliqués au polygone). La demande des auteurs était de réaliser des cartes synthétiques qui représenteraient la zone impactée par l'inondation (2D), la date des événements (1D), le type d'inondation (1D) et sa cause météorologique (1D). Les éléments du territoire qui ont été impactés devaient aussi être visualisés : les cours d'eau, les villes principales et, parfois, le nom de lieux remarquables.

Cet article présente tout d'abord le jeu de données et la méthode utilisée pour relocaliser les inondations historiques sur une carte. En se fondant sur un état de l'art, il aborde ensuite les propositions pour réaliser une carte statique synthétique de la succession des inondations survenues sur un même territoire dans un temps long. Enfin, les points forts et les limites des propositions sont discutés et des perspectives de travaux futurs sont présentées.

Reconstitution des limites spatiales des inondations historiques

Le jeu de données dont nous disposons sur les inondations historiques majeures était un ensemble de récits synthétisés des événements, élaborés à partir de documents d'archives, qui avaient été rédigés pour l'EPRI. Il contenait des descriptions littérales

des événements historiques, de leurs causes hydro-climatiques et de leurs impacts principaux. Un exemple de description est cité ci-dessous :

«Une pluie océanique, amenée par des vents d'ouest à sud-ouest, touche le bassin de l'Isère les 14 et 15 septembre 1940. (...) Les précipitations atteignent, sur une trentaine d'heures, 140 mm en Combe de Savoie et 147 mm à Bourg-d'Oisans. (...) les crues les plus redoutables ont lieu sur certains bassins versants touchés par les averses orageuses. L'Eau d'Olle (affluent de la Romanche) déborde au Verney, après avoir surmonté la digue de 4 m de hauteur, et dépose une couche de 2 m d'épaisseur à proximité de l'usine. (...) On relève 80 m³/s au Pont de Rigaud. (...) Le barrage du Bout-du-Monde à l'entrée des gorges d'Alleverd est démoli et la place principale de Pontcharra est envahie par les eaux.» (Lang, Cœur, 2014)

La méthode utilisée pour reconstituer l'étendue des inondations est illustrée dans la figure 1. La première étape consiste à extraire les noms de lieux des descriptions textuelles, pour inventorier les endroits connus comme ayant été impactés par une inondation. A partir des données géographiques de référence (BD Geofla[®] pour les unités administratives, BD Carthage[®] pour les cours d'eau, carte IGN 1/25000 : pour les lieux-dits) intégrées dans un SIG, les rivières, villes et lieux remarquables cités dans le texte sont sélectionnés et mis en surbrillance. Puis, un polygone figurant l'étendue d'inondation est dessiné dans le SIG, qui inclut tous les lieux sélectionnés. Les étendues spatiales d'inondations ont été sciemment représentées par des formes géométriques simples (rectangle, carrés, ellipses et cercles) dans deux objectifs. D'une part, les formes géométriques tranchent visuellement avec la forme naturelle des objets du territoire, eux majoritairement constitués de lignes courbes, et rendent plus saillante cette information. D'autre part, la signification des étendues spatiales sélectionnées est en fait très générale. Elle reprend à la fois les données hydrométéorologiques et la description des dommages. Cette étendue ne doit pas être confondue, par exemple, avec la zone de plus fortes précipitations ou avec la zone réellement submergée par les eaux. L'opposition avec la forme des objets naturels vise à suggérer que les étendues dessinées sont imprécises, étant donné leur origine historique, i.e. la forme des étendues ne suit pas la morphologie du paysage. Sur la carte, les rectangles et les ellipses ont été alternés, aléatoirement selon les événements, pour aider à distinguer visuellement des événements superposés.

Enfin, la table d'attributs relative aux inondations est remplie avec des informations d'ordre temporel et descriptif. Une couche d'information géographique de l'étendue des inondations a été produite pour chaque district et unité de l'EPRI. A partir de celles-ci, les cartes correspondant à chaque district et unité ont été produites.

Approches pour cartographier une collection d'inondations historiques majeures

Les recherches sur la représentation du temps dans les cartes ne sont pas nouvelles. Cette partie présente en premier lieu un état de l'art sur les techniques existantes pour réaliser des cartes temporelles. Dans le contexte de notre étude, des spécifications précises guidaient la production cartographique. Leur objectif était de restituer des collections d'inondations historiques. Plusieurs versions de la carte ont vu le jour au fur et à mesure de l'avancée du projet. Il nous a semblé intéressant de décrire au lecteur le récit de la production de ces cartes, à travers une première version de carte qui satisfaisait les spécifications cartographiques, mais qui a finalement évolué vers une version plus simple et plus lisible.

Etat de l'art sur les cartes temporelles

Une approche commune pour faire des cartes de phénomènes naturels consiste à cartographier leur plus grande étendue possible tout en indiquant leur date d'occurrence avec une étiquette textuelle (Borrel, 1994 ; Vasilev in Cauvin et al., 2008). Dans le contexte de notre étude, cette méthode présente deux limites. Premièrement, plusieurs phénomènes peuvent survenir en un même lieu et apparaître superposés sur la carte, ce qui pose des problèmes dans le placement des étiquettes et compromet leur mise en relation avec le bon polygone. Deuxièmement, les étiquettes de dates s'ajoutent à d'autres contenus textuels présents sur la carte : le nom des rivières, villes et lieux remarquables impactés par les inondations, ce qui peut aboutir à une densité de texte importante.

La technique de la collection de cartes résout le problème de la superposition spatiale des objets. Une collection de cartes consiste à utiliser plusieurs cartes côte à côte, représentant chacune une date ou une période (Bertin, 1967). Les avantages de cette technique sont qu'elle diminue la quantité d'informations présente dans chaque carte, ce qui les rend plus lisibles, et qu'elle peut permettre de mieux comparer les motifs de retour des phénomènes au cours du temps. Sa limite principale est que le nombre de périodes temporelles pouvant être co-visualisées est restreint, car il est difficile de mémoriser et comparer un trop grand nombre de cartes (Boyandin et al., 2012). Par ailleurs, le format du livre limite le nombre de pages qui peuvent être occupées par des cartes, sachant que les districts et unités étudiés représentent déjà 54 cartes.

Les variables visuelles constituent un autre moyen de représenter le temps. Selon les règles classiques de la sémiologie graphique (Bertin, 1967), le temps est considéré comme une variable qualitative ordonnée. Il peut donc être représenté par des variations de teinte

ou de valeur de la couleur (intensité et saturation), appliquées aux objets.

L'animation et l'interactivité sont des moyens efficaces de décrire le temps (Griffin et al., 2006 ; Fabrikant et al., 2008) et comblent certaines limites des cartes classiques pour représenter des données spatio-temporelles. Néanmoins, ce type de carte est incompatible avec l'impression des cartes sur papier, qui est requise dans notre cas.

Eléments requis concernant les inondations et le territoire

La demande était d'élaborer des cartes qui résumaient et donnaient à voir la connaissance sur les inondations historiques majeures s'étant produites sur des territoires donnés. La connaissance des inondations était constituée de l'étendue de l'inondation, la date des événements, le type d'inondation et les causes hydro-climatiques. Six types d'inondations existaient dans le texte : le débordement de cours d'eau, la crue torrentielle, le transport solide, la remontée de nappe phréatique, le ruissellement et la submersion marine. La typologie des causes hydro-climatiques des inondations comptait : les systèmes météorologiques de grande échelle (régime océanique ou méditerranéen), les tempêtes, les ouragans, la fonte rapide des neiges associée à des précipitations et la rupture de barrage.

Les villes et les cours d'eau reportés devaient avoir une résolution et une densité adaptées au format d'édition de la carte. Un travail éditorial a donc été conduit pour réduire l'information nécessaire au minimum. Les principales villes administratives devaient figurer sur la carte, jouant le rôle de points de référence pour se repérer dans le territoire. Les cours d'eau se sont limités aux cours d'eau primaires et secondaires. Certains cours d'eau tertiaires, ainsi que des villes situées à des noeuds hydrographiques et des lieux remarquables, devaient également apparaître s'ils étaient cités, afin d'illustrer l'organisation spatiale des événements décrite sous forme de texte.

Propositions de représentations cartographiques

Comme cela a été décrit en introduction, nous ne pouvions pas représenter simplement tous les attributs des inondations à l'aide de variables visuelles, car cela aurait impliqué de représenter 5 dimensions de l'information. Nous avons choisi d'utiliser la teinte de la couleur pour représenter la date des événements. La couleur a été appliquée aux bordures de l'étendue de l'inondation, tandis que l'intérieur du polygone était laissé transparent afin de voir les éléments du territoire impactés et les éventuels recouvrements entre inondations.

Pour les deux autres attributs des inondations, à savoir leur type et le régime hydro-climatique, nous avons d'abord envisagé d'utiliser des étiquettes placées près des polygones, en raison de la combinaison difficile des variables visuelles. La date, sous forme littérale, était également répétée dans ces étiquettes plutôt que de la situer dans la légende, pour une lecture plus directe. Cependant, le résultat était trois à quatre lignes de textes ajoutées dans la carte pour chaque inondation représentée, ce qui alourdissait le contenu de la carte et diminuait son attractivité. Nous avons finalement diminué la part de texte en représentant le type d'inondation par un symbole iconique plutôt que par une description. La cause hydro-climatique de l'inondation a été reportée dans un tableau situé sous la carte. Les étiquettes près des polygones comprenaient donc un symbole iconique, suivi de la date sous forme de texte. Cependant, le placement des étiquettes, même « allégées », restait une question. Le lien entre la carte et le tableau était réalisé via la couleur et la date de l'événement, citée dans les deux. Nous avons choisi de répéter la date littérale dans la carte et dans le tableau afin de pouvoir les lire indépendamment l'un de l'autre.

Des règles de placement des étiquettes dans les cartes ont été proposées (Imhof, 1975). Nous les avons suivies pour le placement des noms de cours d'eau, qui sont des entités linéaires, et pour le placement des noms de ville, qui sont des entités ponctuelles. Pour les étendues d'inondations, qui sont des entités surfaciques, Imhof préconise de placer les étiquettes à l'intérieur des polygones et, si la taille du polygone est trop petite pour que le texte y entre, de traiter ces polygones comme s'ils étaient des points. Nous avons suivi cette seconde spécification, vu que dans notre cas plusieurs surfaces étaient superposées et que de nombreux labels relatifs aux lieux impactés se situaient déjà à l'intérieur des polygones. La carte résultante est présentée dans la Figure 2.

Bien que cette première version de carte respectât les règles de sémiologie cartographique et satisfasse les demandes de contenu, son design restait dense. Quelques essais supplémentaires conduisirent à la seconde et dernière version de carte, présentée sur la Figure 3. Le tableau des causes hydro-climatiques a été reporté dans le corps du texte descriptif au lieu de partager l'espace de la carte. Cela a laissé plus de place pour afficher la carte elle-même. Le fond de carte a été converti à un gris neutre et le halo blanc autour des étiquettes a pu être retiré. Les bordures des étendues d'inondations ont été amincies. Les étiquettes relatives aux inondations ont été poussées vers les bords de la carte et alignées verticalement, afin de diminuer la densité de texte et d'équilibrer le design. Le résultat est une carte

globalement plus claire avec un plus grand sentiment d'ordre, qui est plus agréable à lire.

Conclusions

Le but de ce travail était de réaliser des cartes de localisations des inondations historiques majeures. La source de données était une description textuelle des événements et certains éléments étaient requis pour illustrer ce texte descriptif : montrer les caractéristiques hydro-climatiques des inondations passées, les villes majeures, à des fins de repérage dans la carte, et les cours d'eaux et lieux impactés.

L'utilisation de formes géométriques (rectangles et ellipses) a semblé appropriée pour représenter l'étendue des inondations. Ces formes reflétaient l'incertitude sur l'étendue concernée par les inondations et permettaient de les distinguer visuellement des objets naturels du territoire. Une couleur a été attribuée aux bordures des zones d'inondations pour représenter leur date. Leur contenu restait transparent pour voir la superposition dans le temps des inondations et pour voir les éléments du territoire contenus dans leurs emprises. Dans la version finale de la carte, les étiquettes décrivant les caractéristiques des inondations ont été alignées verticalement des deux côtés de la carte, tandis que le type d'inondation a été représenté par une icône pour réduire la quantité de texte dans la carte. Les causes hydro-climatiques des inondations ont été répertoriées dans un tableau accompagnant la carte, d'abord situé dans l'espace de la carte elle-même puis finalement extrait pour figurer dans le texte descriptif des événements.

Cette approche cartographique pourrait être généralisée à la visualisation d'inventaires d'autres phénomènes naturels qui impactent des surfaces (ex : glissements de terrain, feux de forêt, avalanches, éruptions volcaniques), accompagnée d'une propriété de l'événement et des objets impactés sur le territoire. La carte semble plus efficace et synthétique qu'une description textuelle pour communiquer des événements ancrés dans un territoire.

Une limite de cette carte pourrait être qu'elle demeure une « carte à lire » et pas une « carte à voir ». Elle est donc adaptée à communiquer de la connaissance, mais pas à conduire des analyses spatio-temporelles.

Dans des travaux futurs, nous prévoyons d'enrichir le design proposé en ajoutant de l'interactivité et de l'animation, afin de permettre de conduire des analyses à partir de ces cartes. Ces évolutions devront être testées auprès d'utilisateurs pour confirmer leur efficacité, selon le profil de l'utilisateur et le type de tâche à remplir.

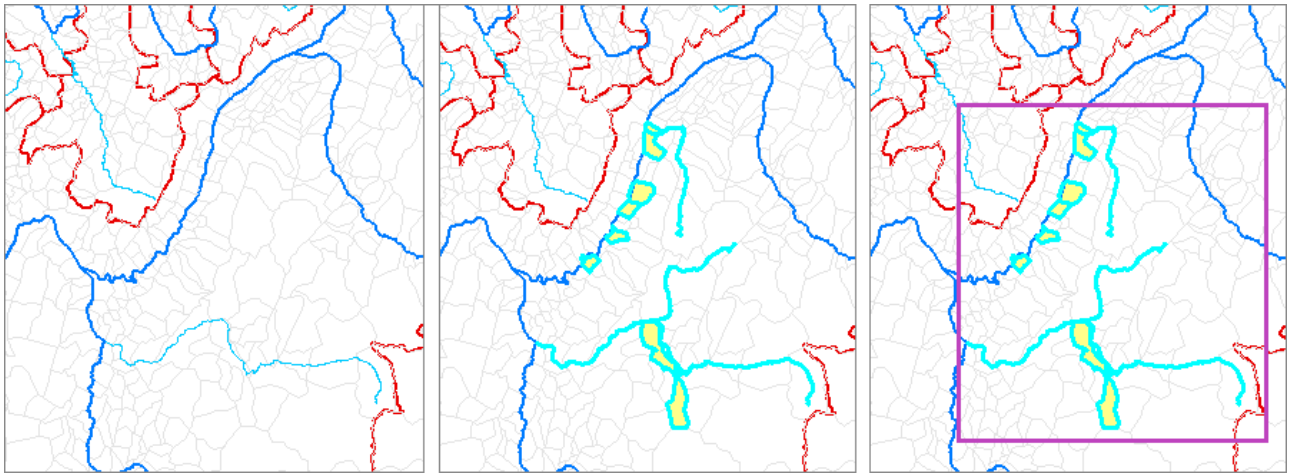
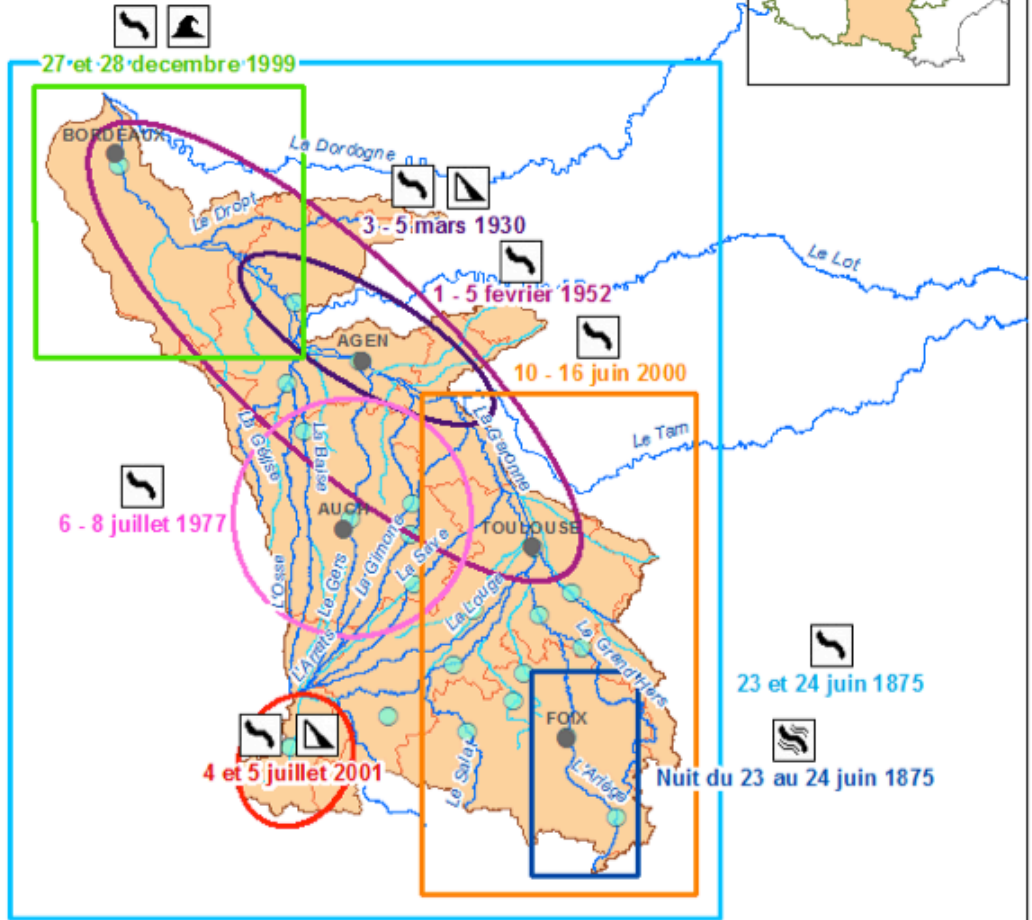


Figure 1 : Etapes suivies pour digitaliser l'étendue des inondations passées. A partir de données SIG de références sur les communes et les cours d'eau (gauche), les villes et rivières citées dans le texte comme impactés par l'inondation sont sélectionnés (milieu) et une étendue globale, de forme géométrique pour suggérer l'imprécision des données, est dessinée dans la couche des inondations (droite).

Inondations remarquables sur l'UP Garonne District Adour-Garonne



0 25 50 100 Kilomètres

	Date	Régime hydro-climatique
	23 et 24 juin 1875	Régime océanique pyrénéen
	Nuit du 23 au 24 juin 1875	Régime océanique pyrénéen
	3 au 5 mars 1930	Régime méditerranéen ou cévenol
	1 au 5 février 1952	Régime océanique pyrénéen
	6 au 8 juillet 1977	Régime océanique pyrénéen
	27 et 28 décembre 1999	Régime océanique
	10 au 16 juin 2000	Régime océanique pyrénéen
	4 et 5 juillet 2001	Orages

Cours d'eau

- primaire
- secondaire

Noeuds hydrographiques



Administratif

- Préfectures
- Départements

Type d'inondation

- Débordement de cours d'eau
- Lave torrentielle
- Ruissellement
- Submersion marine

Auteurs : Cécile Saint-Marc, Paule-Annick Davoine, LIG/Steamer

Figure 2 : Première version de la carte des inondations historiques majeures dans l'unité Adour-Garonne

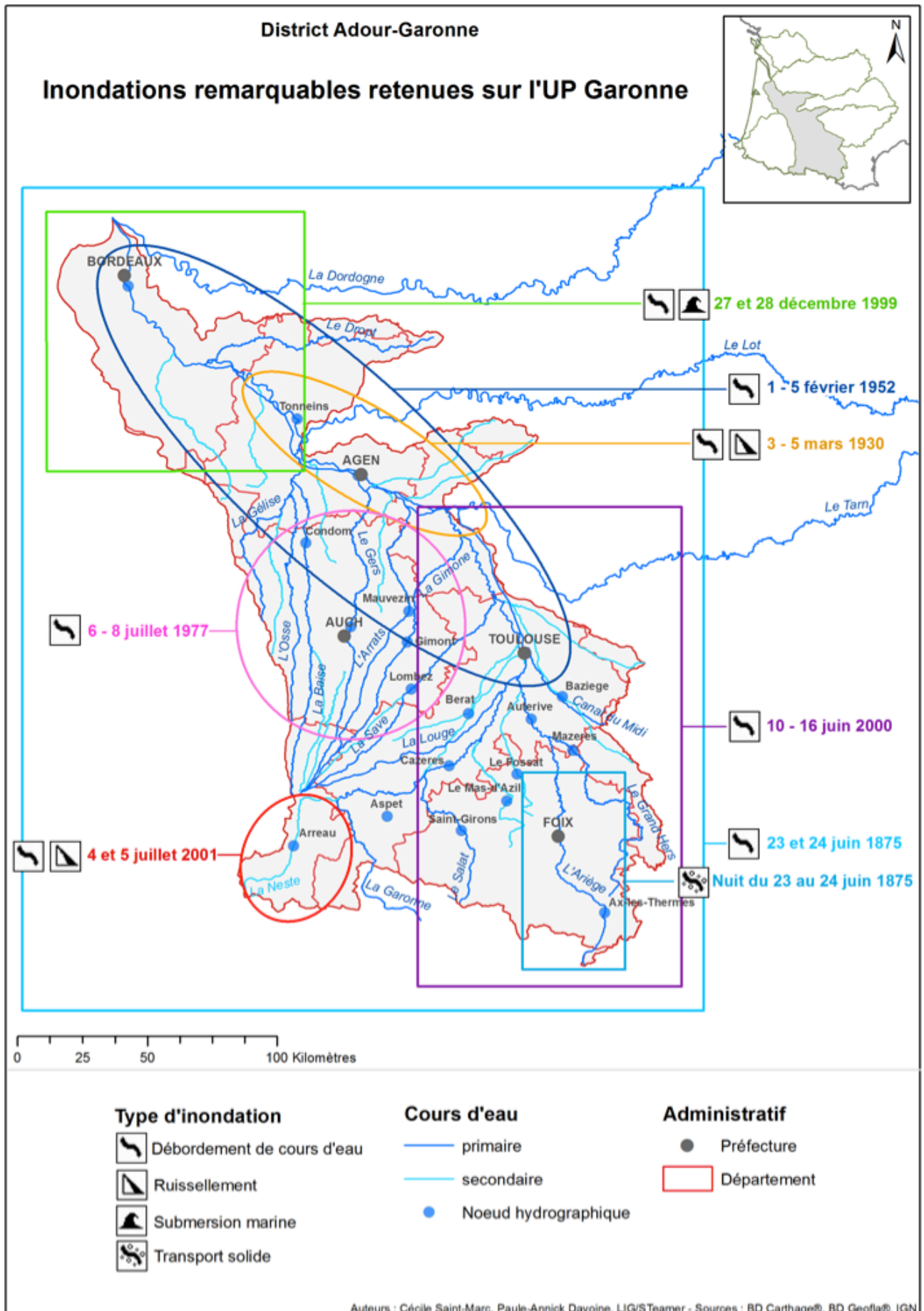


Figure 3 : Version finale de la carte des inondations historiques majeures dans l'unité Adour-Garonne

Bibliographie

- Bertin J.**, 1967. *Sémiologie graphique: Les diagrammes-Les réseaux-Les cartes*. Paris (France) : EHESS. Les réimpressions. ISBN 2-7132-1277-4.
- Borrel Gilles**, 1994. La carte de localisation probable des avalanches. In : *MappeMonde* [en ligne]. 1994. Vol. 4/94, p. 17-19. Disponible à l'adresse : <http://www.mgm.fr/PUB/Mappemonde/M494/AVALANCHE.pdf>.
- Boyandin Ilya, Bertini Enrico et Lalanne Denis**, 2012. A Qualitative Study on the Exploration of Temporal Changes in Flow Maps with Animation and Small-Multiples. In : *Eurographics Conference on Visualization (EuroVis) 2012*. 2012. Vol. 31, p. 1005-1014. DOI 10.1111/j.1467-8659.2012.03093.x.
- Cauvin Colette, Escobar Francisco et Serradji Aziz**, 2008. *Cartographie Thématique 4: des transformations renouvelées*. Paris (France) : Hermes Science Publications. ISBN 978-2-7462-2207-6.
- Fabrikant, Sara Irina, Rebich-Hespanha, Stacy, Andrienko Natalia, Andrienko, Gennady et Montello, Daniel R.**, 2008. Novel Method to Measure Inference Affordance in Static Small-Multiple Map Displays Representing Dynamic Processes. In : *The Cartographic Journal*. 2008. Vol. 45, n° 3, p. 201-215. DOI 10.1179/000870408X311396.
- Griffin Amy L., Maceachren, Alan M., Hardisty Frank, Steiner Erik et LI Bonan**, 2006. A Comparison of Animated Maps with Static Small-Multiple Maps for Visually Identifying Space-Time Clusters. In : *Annals of the Association of American Geographers*. 2006. Vol. 96, n° 4, p. 740-753.
- Imhof Eduard**, 1975. Positioning Names on Maps. In : *The American Cartographer*. 1975. Vol. 2, n° 2, p. 128-144.
- Lang Michel et Cœur Denis**, 2014. *Les inondations remarquables en France*. S.l. : Quae. ISBN 9782759222605.