



HAL
open science

Une méthodologie de la modélisation en géohistoire : de la chronologie (spatialisée) des événements au fonctionnement du système par la mise en correspondance spatiale et temporelle

Florie Giacona, Brice Martin, Nicolas Eckert, Jérémy Desarthe

► To cite this version:

Florie Giacona, Brice Martin, Nicolas Eckert, Jérémy Desarthe. Une méthodologie de la modélisation en géohistoire : de la chronologie (spatialisée) des événements au fonctionnement du système par la mise en correspondance spatiale et temporelle. *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement*, 2019, Volume 14, pp.171-199. 10.4000/physio-geo.9186 . hal-02406370

HAL Id: hal-02406370

<https://hal.science/hal-02406370>

Submitted on 23 May 2024

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Une méthodologie de la modélisation en géohistoire : de la chronologie (spatialisée) des événements au fonctionnement du système par la mise en correspondance spatiale et temporelle

A methodological approach to modelling in geohistory. From the (spatialized) chronology of events to the system behaviour through spatio-temporal mapping

Florie Giacona, Brice Martin, Nicolas Eckert et Jérémy Desarthe



Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/physio-geo/9186>

DOI : [10.4000/physio-geo.9186](https://doi.org/10.4000/physio-geo.9186)

ISBN : 978-2-8218-0427-2

ISSN : 1958-573X

Éditeur

Claude Martin

Édition imprimée

Pagination : 171-199

Ce document vous est offert par Université de Rouen Normandie – Bibliothèque Universitaire



Référence électronique

Florie Giacona, Brice Martin, Nicolas Eckert et Jérémy Desarthe, « Une méthodologie de la modélisation en géohistoire : de la chronologie (spatialisée) des événements au fonctionnement du système par la mise en correspondance spatiale et temporelle », *Physio-Géo* [En ligne], Volume 14 | 2019, mis en ligne le 04 décembre 2019, consulté le 23 mai 2024. URL : <http://journals.openedition.org/physio-geo/9186> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/physio-geo.9186>



Le texte seul est utilisable sous licence CC BY-NC-ND 4.0. Les autres éléments (illustrations, fichiers annexes importés) sont « Tous droits réservés », sauf mention contraire.

UNE MÉTHODOLOGIE DE LA MODÉLISATION EN GÉOHISTOIRE : DE LA CHRONOLOGIE (SPATIALISÉE) DES ÉVÉNEMENTS AU FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME PAR LA MISE EN CORRESPONDANCE SPATIALE ET TEMPORELLE

Florie GIACONA ⁽¹⁾, **Brice MARTIN** ⁽²⁾, **Nicolas ECKERT** ⁽³⁾ et **Jérémy DESARTHE** ⁽⁴⁾

(1) : Institut des Sciences de l'Environnement, Université de Genève, 66 boulevard Carl Vogt, CH-1205 GENÈVE, SUISSE et Université Grenoble Alpes, IRSTEA, ETNA, 38 100 GRENOBLE.

Courriel : florie.giacona@irstea.fr

(2) : CRESAT, Université de Haute-Alsace, UHA-Campus Fonderie, 16 rue de la Fonderie, 68 100 MULHOUSE. Courriel : brice.martin@uha.fr

(3) : Université Grenoble Alpes, IRSTEA, ETNA, 38 100 GRENOBLE. Courriel : nicolas.eckert@irstea.fr

(4) : Caisse Centrale de Réassurance, 157 boulevard Haussmann, 75 008 PARIS. Courriel : jdesarthe@ccr.fr

RÉSUMÉ : Dans le cadre de l'analyse spatio-temporelle des risques naturels, la géohistoire propose une approche pertinente basée sur la réalisation et l'exploitation de (géo-)chronologies. Pour ce faire, cet article décrit et formalise une démarche scientifique permettant d'appréhender le système risque dans son intégralité (facteurs, processus, dynamiques). Elle est basée sur l'analyse systémique, déjà largement investie par les géographes mais encore peu utilisée en géohistoire, et comporte quatre étapes successives : construction d'une base de données événementielle, documentation des contextes socio-historiques et biophysiques, mise en correspondance entre les événements et leurs contextes et, enfin, synthèse schématique du fonctionnement du système. Ces étapes sont discutées et illustrées à partir d'exemples issus de la littérature. De nombreuses chronologies ont déjà été proposées pour les aléas naturels, mais elles montrent d'abord la distribution des événements dans le temps, qu'on ne peut pas traduire directement en évolutions des phénomènes ou des risques. Pour appréhender ces dernières, il est nécessaire de replacer les événements dans leur environnement social et biophysique, c'est-à-dire d'analyser les principaux facteurs pouvant intervenir dans l'évolution de leurs distributions spatiales et temporelles. L'article propose un mode opératoire pratique pour cette étape de contextualisation. Une fois celle-ci franchie, il est possible de considérer le système risque dans son intégralité, chacun de ses sous-systèmes (sous-système naturel et sous-système sociétal), et de confronter les distributions spatiales et temporelles des événements avec l'évolution des facteurs potentiellement explicatifs. La mise en correspondance spatiale et temporelle permet de mettre en évidence des concomitances ou des décalages et, par là-même, de proposer des explications aux évolutions observées. Une dernière étape d'identification des effets principaux permet d'aboutir à une modélisation qualitative du système risque par le biais d'une représentation graphique simplifiée. Cette dernière, même si elle reste peu usitée en pratique et si la difficulté de sa conduite ne doit pas être sous-estimée, constitue une base de réflexion et de communication à la fois efficace, élégante et très pédagogique.

MOTS-CLÉS : géohistoire, modélisation systémique, aléas naturels, risques naturels, temporalités, relations sociétés-environnement, contextualisation socio-historique et biophysique.

ABSTRACT : A methodological approach to modelling in geohistory. From the (spatialized) chronology of events to the system behaviour through spatio-temporal mapping

Within the frame of the spatio-temporal analysis of natural hazards, geohistory is a meaningful approach to obtain and exploit (geo)chronologies. This article formalizes a scientific approach aiming at capturing the risk system in its entirety (factors, processes, and dynamics at play). It is based on systemic analysis, already promoted by geographers, but currently little used in geohistory, and it involves four successive steps: construction of a database of events, documentation of their socio-historical and bio-physical contexts, mapping between the events and their drivers, and finally deter-

mination of a qualitative model of how the system works. These steps are discussed and illustrated using examples from the literature. The review shows that numerous chronologies have already been proposed for natural hazards, but these cannot be directly interpreted in terms of the evolution of phenomena or risks. To apprehend these, it is necessary to replace documented events in their social and bio-physical context, that is to say, to analyze the main factors that can explain the evolution of their spatial and temporal distributions. The article proposes an operational checklist for this contextualization step. Once this is done, it is possible to consider the risk system in its entirety, each of its subsystems (the natural subsystem and/or the societal subsystem), and to confront the spatial and temporal distributions of events with the evolution of potentially explanatory factors. Spatial and temporal mapping allows concomitances or offsets to be highlighted and, as a result, provides explanations for the evolutions observed. A final step that identifies the main effects at play leads to a qualitative modeling of the risk system provided through a simplified graphical representation. The latter, even if it remains for now little used in practice and may be difficult to obtain, is a reflection and communication tool that is both efficient and elegant.

KEY-WORDS : geohistory, systemic modelling, natural hazards and related risks, temporalities, social-environmental relationships, contextualization.

I - INTRODUCTION

Issu des travaux précurseurs de F. BRAUDEL (1949), le néologisme "géohistoire" a été notamment remis au goût du jour par les géographes C. GRATALOUP, dans les années 1990, puis N. JACOB-ROUSSEAU, dans la décennie suivante. Parmi les acceptions de la géohistoire rencontrées dans la littérature (J. LÉVY et M. LUSSAULT, 2003 ; S. BEUCHER et M. REGHEZZA, 2005 ; G. DJAMENT-TRAN, 2005 ; N. JACOB-ROUSSEAU, 2009 ; J.M. ANTOINE, 2010 ; V. CAPDEPUY et G. DJAMENT-TRAN, 2012 ; M. FRANCHOMME *et al.*, 2014 ; D. GRAMOND, 2014 ; C. GRATALOUP, 2002, 2015), celle de C. GRATALOUP (2015) "*ne privilégie ni la dimension temporelle (histoire), ni la dimension [spatiale, donc] géographique*". Comme lui, nous pensons que cette démarche se place à l'interface de l'histoire et de la géographie. Elle dépasse ainsi la segmentation de la structuration des savoirs en deux disciplines distinctes par la mise en commun d'outils, concepts et méthodes dans une approche intégrée participant tant de la problématisation de l'objet que de son étude (F. GIACONA, 2014).

La démarche géohistorique permet ainsi de traiter dans un rapport diachronique et dialectique les relations entre les sociétés humaines et leur environnement (au sens de milieu dans lequel les sociétés se développent et avec lequel elles interagissent) en considérant conjointement les dynamiques spatiales des différents éléments du système étudié et leurs temporalités – permanences, mutations (tendances, ruptures, *etc.*) (N. JACOB-ROUSSEAU, 2009 ; M. FRANCHOMME, 2014 ; D. GRAMOND, 2014 ; C. GRATALOUP, 2015). L'approche géohistorique offre ainsi un cadre d'analyse particulièrement pertinent pour l'étude des relations entre les sociétés et leur environnement, notamment celles génératrices de risques dits naturels. Ceux-ci sont généralement définis comme le croisement d'un aléa, c'est-à-dire un phénomène naturel potentiellement dommageable caractérisé par ses composantes énergétique, spatiale et temporelle et que l'on cherche souvent à exprimer en termes de probabilité d'occurrence et de relation intensité/fréquence, ainsi que d'une ou de vulnérabilité(s), c'est-à-dire des enjeux pouvant être affectés et leur susceptibilité aux dommages. Se matérialisant par la rencontre temporelle et spatiale entre un phénomène naturel et un facteur matériel et/ou humain "*à la fois cause résiduelle et victime de l'événement néfaste*" (D. DUCLOS, 1996), les risques naturels résultent d'interactions complexes et changeantes à l'intérieur du système risque. Ce dernier se décompose en effet en un sous-système sociétal et un sous-système naturel caractérisés chacun par des temporalités propres.

Compréhension et gestion des risques naturels ne peuvent faire abstraction du caractère récurrent des phénomènes naturels, notamment hydrométéorologiques (avalanches, inondations, tempêtes, cyclones *etc.*), et des évolutions significatives sous l'effet de changements tant sociétaux qu'environnementaux des milieux dans lesquels ils s'inscrivent. Dans leurs études, les chercheurs et les gestionnaires s'attachent ainsi de plus en plus à couvrir une épaisseur temporelle de plusieurs siècles (par exemple : J.R. STEDINGER et T.A. COHN, 1986 ; R. NAULET *et al.*, 2005 ; J.M. ANTOINE, 2010 ; O. PARAYSTRE *et al.*, 2011). Ainsi, l'article 4 de la DIRECTIVE 2007/60/CE du Parlement Européen et du Conseil (2007) impose d'accroître la connaissance sur les événements passés dans le cadre de l'évaluation préliminaire des risques d'inondation. La survenance d'une catastrophe naturelle se traduit également souvent par une recherche d'information *a posteriori* sur des phénomènes passés pour évaluer si elle aurait pu être mieux anticipée, et plus généralement, pour mieux évaluer l'exposition du territoire à l'aléa considéré.

En premier lieu, l'approche géohistorique répond à ces besoins par la constitution d'inventaires d'événements. L'événement est défini par F. GIACONA *et al.* (2017) comme un phénomène qui a été répertorié – par l'écrit, la mémoire orale, l'image ou un objet matériel – et/ou dont on a trouvé la trace écrite, orale, iconographique ou sur le terrain (croix commémorative, repère de crue, bâtiment endommagé, impact dans la végétation, *etc.*). Cet inventaire s'inscrit dans un périmètre spatial et temporel donné et résulte de la combinaison de différents types de ressources incluant notamment les sources "traditionnelles" de l'historien et la pratique du terrain dans son sens "social" comme dans son sens strictement physique. Mais au delà du rôle de producteur de chronologies, la géohistoire offre surtout un cadre d'analyse rigoureux donnant du sens à la distribution spatio-temporelle des événements, dénommée ici géo-chronologie. Cette deuxième étape d'analyse, appelée contextualisation, replace l'événement, ses inscriptions spatiale et temporelle et les sources s'y rapportant, dans leurs contextes socio-historiques (rapport des sociétés au risque, usages de l'espace, *etc.*) et biophysiques (climat, état des écosystèmes, *etc.*). La contextualisation permet de saisir les temporalités et les dynamiques des différentes composantes participant du système risque : facteurs biophysiques (climat, phénomène physique), occupation des sols, facteurs de vulnérabilité (enjeux, représentations et rapports des sociétés au(x) risque(s), capacité à faire face aux événements et à s'en prémunir). Une troisième étape permet d'expliquer la géo-chronologie, ses tendances et variations observées à différentes échelles spatiales et temporelles par la mise en correspondance. Cette dernière confronte la géo-chronologie avec la distribution spatiale et temporelle des facteurs de contexte (sociétaux et biophysiques), tout en considérant les interrelations complexes existant entre ces facteurs, de même que leurs temporalités. Cela permet la compréhension du fonctionnement du système risque dans toute sa complexité. *In fine*, l'identification des principaux facteurs en jeu et de leur évolution dans le temps et dans l'espace peut conduire à l'obtention d'un modèle géohistorique, c'est-à-dire une représentation schématique du fonctionnement du système risque étudié incluant ses dynamiques spatio-temporelles.

Cet article se propose de formaliser, discuter et illustrer à partir d'exemples issus de la littérature, les quatre étapes de cette démarche (Fig. 1) : construction d'une base de données événementielle dans la perspective d'une géo-chronologie, documentation des contextes socio-historiques et biophysiques, mise en correspondance des événements et de leurs contextes, et synthèse schématique du fonctionnement du système. Du fait des domaines de spécialisation des auteurs, les exemples relèvent essentiellement des risques inondation, avalanche et cyclone. Il est à noter également qu'ils proviennent pour partie de recherches qui ne se revendiquent pas comme relevant de la géohistoire et que la revue bibliographique effectuée

ne se veut pas exhaustive. Enfin, le tropisme français des exemples choisis reflète l'inscription de la démarche proposée dans un champ d'analyse quasi spécifiquement français.

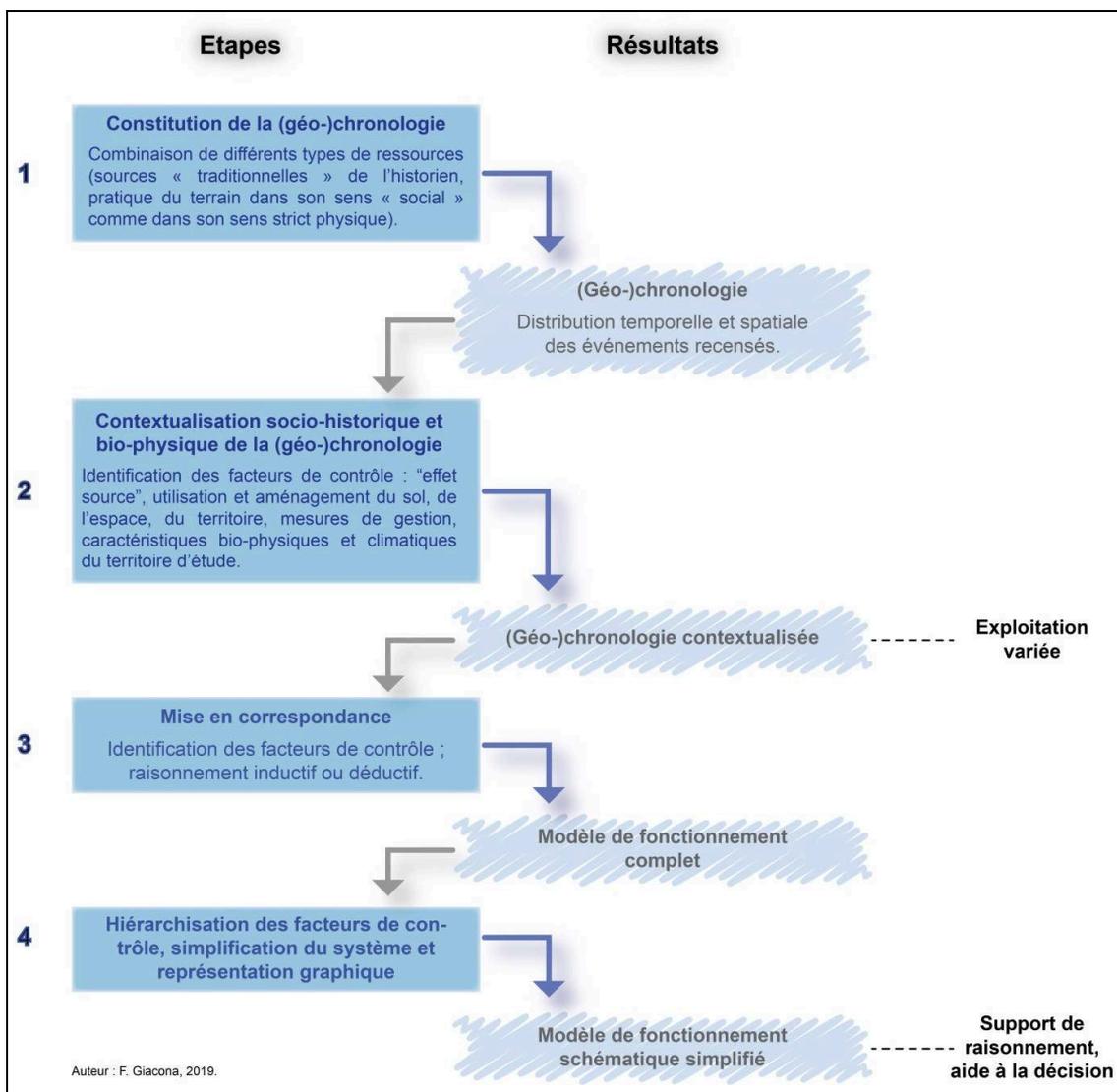


Figure 1 - De la (géo-)chronologie au fonctionnement du système risque par la mise en correspondance spatiale et temporelle.

II - BASES DE DONNÉES ÉVÉNEMENTIELLES ET GÉO-CHRONOLOGIES

Nombreuses sont les bases de données événementielles existantes, particulièrement pour les risques hydro-climatiques (avalanches, inondations, tempêtes, *etc.*). Elles répondent à divers objectifs, allant de la constitution de catalogues bruts d'événements (par exemple : F. GIACONA *et al.*, 2019, pour un catalogue de crues et d'inondations en Alsace émanant de l'observatoire régional ORRION, ou encore la base de données HISTRHÔNE recensant des faits hydro-climatiques rhodaniens, <https://histrhone.cerege.fr/>) à la documentation critique

d'événements destinée à l'usage d'une communauté spécifique et répondant à une problématique précise. Par exemple, M. LANG *et al.* (1998) proposent un inventaire des crues du Guiers et une critique des sources destinée à faciliter la reconstitution des débits de pointe. De tels catalogues découlent de la réalisation de chronologies ou de géo-chronologies, selon que les auteurs s'attachent uniquement à la distribution temporelle ou à la distribution temporelle et spatiale des événements recensés.

Dans la riche littérature disponible, la constitution des (géo-)chronologies peut constituer le sujet en soi ou n'être que le point de départ pour traiter des questions variées, telles que :

- Combiner des données de différentes natures, notamment historiques, paléo-environnementales et instrumentales en vue d'améliorer l'estimation d'un aléa et/ou d'un risque en additionnant les forces de chaque jeu de données liées à leurs caractéristiques respectives (R. BRÁZDIL *et al.*, 2006). Par exemple, R. NAULET *et al.* (2005), pour la rivière Ardèche, et O. WETTER *et al.* (2011), pour les inondations historiques du Rhin à Bâle au cours des 740 dernières années, combinent des données systématiques (mesures de débit) et non systématiques (repères de crue, informations historiques sur les hauteurs d'eau atteintes) par la conversion, *via* un modèle hydraulique, des hauteurs d'eau historiques en débit. Les données instrumentales ont l'avantage d'être exhaustives ou quasi exhaustives mais sur le temps court et, en général, la période très contemporaine. Les informations historiques permettent au contraire de remonter sur le temps long mais restent lacunaires (notamment pour les événements "courants").
- Caractériser l'aléa par la détermination du lien entre intensité et période de retour indépendamment du temps. Par exemple, F. BARNIKEL (2004), montre, à partir de l'exemple d'un torrent alpin bavarois, que la prise en compte d'informations historiques permet d'affiner le zonage en améliorant la précision de la localisation des zones exposées à différents scénarios d'inondations de référence caractérisés par leur période de retour. De leur côté, R. BRÁZDIL *et al.* (2011), s'intéressent aux liens entre évolution de la dynamique d'écoulement de la rivière Morava (République Tchèque) et période de retour des crues au regard des aménagements réalisés au cours des 130 dernières années.
- Déterminer les liens entre aléa et climat, notamment dans quelle mesure l'évolution de l'aléa constitue un indicateur permettant d'appréhender l'évolution climatique (M. BARRIENDOS et J. MARTIN-VIDE, 1998). Il s'agit également d'utiliser les inondations passées comme des témoins des conditions climatiques au cours des périodes pré-instrumentales (C. PFISTER, 1999 ; R. GLASER, 2001 ; J. JACOBET *et al.*, 2003, cités par O. BÖHM et K.F. WETZEL, 2006) ou encore de travailler sur des périodes suffisamment longues pour déterminer les conditions hydrométéorologiques à l'origine des événements les plus extrêmes (K. BURGER *et al.*, 2007).

Des synthèses de ces travaux variés menés autour des (géo-)chronologies existent dans le cas des crues et inondations (G. BENITO *et al.*, 2004 ; R. BRÁZDIL *et al.*, 2006 ; B. WILHELM *et al.*, 2018). Bien que reposant fortement sur les (géo-)chronologies, les auteurs les exploitent ainsi pour traiter des problématiques très diverses dépassant parfois largement le cadre strict de la géohistoire. Aussi, dans la suite de cet article, nous nous attacherons uniquement aux études dont l'exploitation des (géo-)chronologies pour l'appréhension du système risque constitue l'objectif central. Celles discutées dans la suite de cet article sont listées dans le tableau I.

Tableau I - Principales caractéristiques des études fondées sur l'exploitation des (géo-)chronologies pour l'appréhension du système risque discutées dans cet article.

Référence	Type de phénomène	Extension spatiale	Extension temporelle	Éléments documentés outre le phénomène	Se réclamant de la géohistoire
J.M. ANTOINE et F. GAZELLE, 2013	Crue	Sud-Ouest de la France	XIV ^{ème} s. - présent	"Effet source", occupation du sol et pratiques, climat	Oui
D. CŒUR, 2008	Crue/inondation	Grenoble	XVII ^{ème} - XIX ^{ème} s.	Mesures de gestion du risque	Non
C. COMBE, 2007	Crue/inondation	Yonne lyonnais	1840 - présent	Contextes socio-économique, politique et climatique, occupation du sol et pratiques, mesures de gestion du risque	Oui
A. DECAULNE, 2004	Avalanche	Islande	870 - présent	Dommages, contextes socio-économique, démographique et climatique, occupation du sol et pratiques, mesures de gestion du risque	Non
A. DECAULNE, 2005	Avalanche, coulées de débris	Fjords d'Islande nord-occidentale	Début du XX ^{ème} s. - présent	Dommages, contexte démographique	Non
J. DESARTHE, 2013	Tempête, inondation, sécheresse	Ouest de la France	XVII ^{ème} - XIX ^{ème} s.	Dommages, contexte socio-économique, pratiques et gestion	Non
J. DESARTHE, 2014	Ouragan, submersion	Antilles françaises (Martinique, Guadeloupe, Saint-Martin, Saint-Barthélemy)	Début XVII ^{ème} s. - présent	Dommages, contextes socio-économique et climatique, enjeux (infrastructures de communication, bâtis), occupation du sol et pratiques, gestion du risque	Non
N. DUPONT, 2012	Inondation	Bassin de la Vaine	XVIII ^{ème} s. - présent	Dommages, contextes démographique et socio-économique, occupation du sol et pratiques, vulnérabilité, cultures du risque	Non
C. DUSSAUGE-PEISSER <i>et al.</i> , 2002	Chutes de pierres	Grenoble, Yosemite	1935-1995 (Grenoble), 1915-1992 (Yosemite)	/	Non
C. GARCÍA-HERNÁNDEZ <i>et al.</i> , 2017	Avalanche	Asturies (Espagne)	1800-2015	Dommages, occupation du sol, contextes socio-économique, démographique et biophysique	Non

La mention "présent" (comme borne temporelle terminale) est indiquée lorsque celle-ci n'est pas clairement signalée et renvoie ainsi à la date de publication de l'article référence. Bien que ces exemples ne soient pas discutés, il faut néanmoins citer les travaux précurseurs de B. DESAILLY (1990), J.M ANTOINE (1992), J.M. ANTOINE *et al.* (1993) et N. MESCHINET de RICHEMOND (1997).

Tableau I - Suite.

Référence	Type de phénomène	Extension spatiale	Extension temporelle	Éléments documentés outre le phénomène	Se réclamant de la géohistoire
E. GARNIER, 2007	Inondation	Généralités de Caen et Alençon (Basse-Normandie)	1294-1797	Dommages, occupation du sol et pratiques, contexte socio-économique, perceptions et mesures de gestion	Non
F. GIACONA, 2014	Avalanche	Massif Vosgien	Fin du XVIII ^{ème} s. - 2014	Dommages, contextes socio-économique, démographique et biophysique, vulnérabilité, enjeux, occupation du sol et pratiques, cultures du risque	Oui
F. GIACONA <i>et al.</i> , 2017	Avalanche	Massif Vosgien	Fin du XVIII ^{ème} s. - 2014	Contextes socio-économique, démographique et biophysique, dommages, intensité, "effet source", pratiques et modalités d'occupation du sol	Oui
F. GIACONA <i>et al.</i> , 2019	Crue/inondation	Alsace	1500 - présent	Dommages, intensité, climat	Oui
F. GUZZETTI <i>et al.</i> , 2003	Chutes de pierres, glissements de terrain	Yosemite	1857-2002	Cartographie	Non
I. HIMMELSBACH <i>et al.</i> , 2015	Inondation	Fossé Rhéna alsacien et badois	1500 - présent	Gestion du risque, contextes climatique et politique	Non
M. LANG <i>et al.</i> , 1998	Inondation	Bassin du Guiers	Début du XVIII ^e siècle (?) - présent	Aménagement et travaux d'entretien du cours d'eau, hauteur atteinte par les eaux	Non
M. LATERNSE et C. PFISTER, 1997	Avalanche	Suisse	1500-1990	"Effet source", dommages, contexte climatique	Non
B. MARTIN <i>et al.</i> , 2015	Inondation	Fossé Rhéna alsacien et badois	1910 / fin du XVIII ^{ème} s. - présent	Dommages, contexte climatique, vulnérabilité, occupation du sol et pratiques	Oui
B. MARTIN, 1996	Inondation, lave torrentielle, mouvement de terrain, avalanche, érosion, séisme	Vars, Hautes-Alpes	1800 - présent	"Effet source", contextes social et politique, dommages, intensité, occupation du sol et pratiques	Non
E.A. PODOLSKIY <i>et al.</i> , 2014	Avalanche	Îles de Sakhaline et Kouriles	1910 - 2010	Dommages, contextes socio-économique et biophysique	Non
L. RAVANEL, 2010	Écroulement rocheux	Massif du Mont-Blanc	Milieu du XIX ^{ème} s. - présent	Contexte climatique	Non

Pour l'essentiel des exemples étudiés, les auteurs s'attachent davantage à la distribution temporelle que spatio-temporelle des événements. Les chutes de pierres et de blocs apparaissent toutefois comme une relative exception à ce constat. Si elles peuvent être fréquentes, elles sont aussi souvent mal documentées sur le temps long. De ce fait, bien que conscients des biais liés à la question des sources, les auteurs construisent et exploitent généralement les inventaires indépendamment du temps. C. DUSSAUGE-PEISSER *et al.* (2002) proposent ainsi d'estimer l'occurrence des chutes de blocs par des statistiques de distribution d'événements passés et de leurs volumes dans le secteur de Grenoble et de la vallée de Yosemite. F. GUZZETTI *et al.* (2003) proposent également d'évaluer les risques de chutes de blocs dans la vallée de Yosemite en déterminant des statistiques fréquence-volume des événements s'y étant produits. La composante temporelle est ainsi implicitement intégrée par la prise en compte d'événements mais n'apparaît pas explicitement sous forme de chronologie. Il en résulte un manque d'inventaires systématiques rendant compte de l'évolution temporelle de ces aléas. Exception à la règle, L. RAVANEL (2010) s'est attaché à l'analyse temporelle des chutes de blocs et des écroulements rocheux dans un secteur de haute montagne du massif du Mont-Blanc, fréquenté et donc photographié depuis le milieu du XIX^{ème} siècle. La chronologie obtenue a notamment permis de montrer une accélération récente de ces phénomènes gravitaires en haute montagne en lien avec la fonte du permafrost.

De l'objectif initial poursuivi par les auteurs dépend bien sûr la méthode de collecte des informations retenues. Par exemple, lorsque les auteurs cherchent à reconstruire des débits de pointe, sont privilégiées les informations quantitatives relatives à la hauteur d'eau atteinte lors des épisodes de crues/inondations (M. LANG *et al.*, 1998). À l'inverse, si l'objectif est d'approcher la réalité de la dynamique du phénomène d'aussi près que possible, les auteurs recherchent l'ensemble de ses occurrences et compilent toutes ses caractéristiques (causes, dommages, extensions spatiales, *etc.*) (B. MARTIN, 1996). D'un autre côté, outre le recensement des causes, dommages, *etc.*, F. GIACONA *et al.* (2019) mettent en valeur la dimension spatiale des événements de crues/inondations qu'ils recensent en proposant des cartes de l'ensemble des cours d'eau et des communes concernées pour chaque événement identifié. Ces cartes résultent de la compilation de sources parfois très nombreuses relatives au même événement hydrologique. À une échelle plus fine, B. MARTIN (1996), propose des cartes de synthèse de l'évolution de l'ensemble des événements à différents moments d'une chronologie multi-aléas sur le temps long.

L'ensemble des auteurs s'accorde sur le fait que les chroniques brutes doivent passer au crible de la critique. Toutefois, la profondeur de cette dernière varie largement d'un cas d'étude à l'autre. *A minima*, quelle que soit leur discipline d'appartenance, les auteurs indiquent la nécessité de critiquer les sources et les données anciennes (par exemple, C. DUSSAUGE-PEISSER *et al.*, 2002), sans toutefois détailler de quelle manière ils ont procédé. Exceptionnellement, la question des biais liés aux sources est plus détaillée. Ainsi B. MARTIN *et al.* (2015) insistent-ils sur les problèmes liés à la discontinuité spatiale et temporelle de l'information relative aux aléas, liée, notamment à l'absence d'homogénéité des sources dans le temps et dans l'espace. M. LATERNER et C. PFISTER (1997), ainsi que I. HIMMELSBACH *et al.* (2015), mettent en garde sur certaines questions spécifiques liées aux sources, tels que le changement de calendrier, la contemporanéité ou non de la source, la prise en compte de sources primaires ou secondaires, *etc.*, qui permettent d'aboutir à une chronologie robuste. Toutefois l'ensemble du processus menant à la chronologie événementielle à partir des sources est très rarement traçable.

À cet égard, une précision lexicologique paraît nécessaire tant il existe souvent un

glissement sémantique plus ou moins implicite entre événement, phénomène et risque. Il est pourtant crucial de rappeler que la recherche s'attachant aux occurrences d'un aléa (dommageables ou non et d'intensités variées) dont on a pu retrouver la trace, donne lieu à une base de données d'événements. En effet, il n'est généralement pas possible de constituer des bases de données de phénomènes naturels décrivant l'aléa dans sa réalité matérielle complète ou quasi exhaustive. C'est notamment le cas sur les périodes anciennes, pour lesquelles la production des sources est fortement liée à la vulnérabilité des sociétés. Toutefois on peut s'en approcher si l'on ne s'attache qu'aux événements extrêmes et/ou ayant causé d'importants dommages. En effet, il n'est pas rare que ce soient majoritairement de tels phénomènes qui donnent lieu à la production de sources écrites, orales, iconographiques ou matérielles (croix, *etc.*), ce qui peut tendre à rendre "invisible" les événements de petite ampleur (A. MÉLO *et al.*, 2015). Bien que la (géo-)chronologie reflète souvent davantage l'évolution des dommages (qui sont une matérialisation du risque) que celle de l'aléa, elle ne s'y identifie toutefois pas non plus. D'une part, tous les événements dommageables n'ont pas nécessairement donné lieu à la production d'une source et à sa conservation. D'autre part, les modalités de production des sources ont évolué au cours du temps (en fonction notamment du contexte social et politique, et de la sensibilité des "producteurs" de source). Ainsi la part des phénomènes non dommageables parmi l'ensemble des événements recensés évolue-t-elle dans le temps, souvent dans le sens d'une augmentation à mesure que l'on se rapproche du présent, en lien notamment avec la mise en place de relevés systématiques. La (géo-)chronologie, en tant que telle, ne reconstitue donc pas la réalité du risque, et encore moins du phénomène, que seule l'étape de contextualisation permet éventuellement d'approcher.

III - CONTEXTUALISATION SOCIO-HISTORIQUE ET BIOPHYSIQUE DES (GÉO)-CHRONOLOGIES

Les (géo-)chronologies établies constituent donc des catalogues bruts d'événements dont de nombreux facteurs peuvent contraindre l'allure. C'est la contextualisation des événements dans leur environnement social et biophysique qui permet d'expliquer les variations de leur distribution spatio-temporelle et de donner ainsi du sens aux formes souvent complexes (phases homogènes, ruptures, *etc.*) des (géo-)chronologies. De façon évidente, les événements, définis comme des phénomènes dont on a retrouvé la trace, sont perçus et construits par les sociétés. De leur côté, les phénomènes résultent de facteurs biophysiques (telles que la nature du sol et les conditions climatiques) interagissant avec des facteurs sociaux (telle que l'occupation du sol). Bien qu'à l'origine leur étude ne constitue pas l'objet premier d'une analyse géohistorique de risque centrée sur un ou plusieurs phénomènes, il est nécessaire de s'intéresser à l'ensemble de ces facteurs de façon diachronique en tenant compte de leurs différentes temporalités et de leur variation spatiale à l'intérieur de la zone d'étude. Ainsi l'étape de contextualisation s'applique-t-elle à l'ensemble du système risque, qu'il convient de considérer dans son intégralité pour en comprendre le fonctionnement, mais également aux sous-systèmes qui le composent.

Toutefois, comparativement aux études qui génèrent et utilisent des chronologies d'événements, peu nombreuses sont celles qui entourent leur analyse d'une telle réflexion. Ce qui suit énumère les principaux ressorts socio-environnementaux devant être envisagés pour comprendre le fonctionnement du système risque. Quatre grands types de facteurs peuvent entrer en jeu. Ils sont parfois interdépendants et plus ou moins stables à l'échelle des périodes d'études :

- L' "effet source". L'existence et la nature des sources sont dépendantes de la présence d'enjeux et/ou de l'observation du phénomène ou de ses traces, donnant lieu ou non à une mise en événement des faits.
- L'occupation du sol. Elle peut agir sur le phénomène et conditionne la vulnérabilité. La production de sources en dépend en partie.
- Les mesures de gestion. Elles sont susceptibles de modifier tant le phénomène que l'exposition à l'aléa.
- Les caractéristiques biophysiques et climatiques. Elles influencent l'aléa et sa distribution spatiale et temporelle.

Le poids respectif de ces facteurs est nécessairement variable d'un cas d'étude à l'autre, mais il convient de ne pas les négliger *a priori*.

1) L' "Effet source"

La distribution spatiale et temporelle des événements dépend étroitement de celle de la structure du corpus documentaire. Plus précisément, trois éléments se conjuguent :

- La diversité de la nature et de la qualité des sources ;
- La variation de la masse documentaire ;
- L'évolution des conditions d'émergence de l'événement.

On nomme leur combinaison "effet source". Leur poids dans l'allure de la (géo-)chronologie peut être très important. Il est ainsi vraisemblablement prépondérant dans la (géo-)chronologie des avalanches dans le Massif Vosgien proposée par F. GIACONA *et al.* (2017).

De manière schématique, il est possible de partir de l'hypothèse que, plus on remonte dans le temps, plus il devient difficile de retrouver des événements, en particulier des événements "communs", voire d'intensité moyenne. *A contrario*, plus on s'intéresse à une période récente, plus les sources potentielles peuvent être nombreuses et/ou de diverses natures. Cela peut amener à distinguer différentes périodes en fonction de l'apparition de nouveaux supports ou d'évolution en termes de nature (qualitatif, quantitatif), de précision et de systématisation de l'information. M. LATERNER et C. PFISTER (1997) distinguent ainsi trois périodes en fonction de la précision et de la résolution des données de contexte météorologique et des données relatives au phénomène qui les intéresse – les avalanches en Suisse. F. GIACONA *et al.* (2017) différencie cinq périodes en s'appuyant notamment sur l'apparition de nouveaux types de sources, tels que la presse, les documents iconographiques, la mémoire orale directe et les observations de terrain.

Parallèlement, l'information est corrélée à l'observation du phénomène, de ses traces et de ses dégâts éventuels, laquelle peut donner lieu (ou non) à la production d'un récit (écrit, oral), d'un document iconographique ou d'un objet matériel (croix rappelant un événement, *etc.*). L'émergence des événements, autrement dit, les conditions de transcription des événements en sources, varient dans le temps et dans l'espace. L'absence, l'apparition ou la recrudescence de sources peuvent ainsi être expliquées par les relations entretenues par les sociétés avec le phénomène (voire le risque) et l'espace dans lequel il survient. Certaines communautés confrontées régulièrement à un même phénomène peuvent ne pas noter les occurrences ordinaires, banales, et ne consigner que les plus importantes (A.M. GRANET-ABISSET, 2012). Ainsi l'absence de source n'est-elle pas forcément synonyme d'absence de phénomène, mais de ce qui fait événement pour une société donnée à un moment donné. L'événement

correspond à "ce qui introduit une "coupure", une discontinuité dans la continuité du temps", dans la "vie ordinaire" des individus, mais aussi à ce qui est intéressant, ce "qui semble suffisamment "important" ou "nouveau" pour mériter d'être détaché de son environnement temporel" et être "raconté ou mis en action" (M. BERTRAND, 2010 ; F. DOSSE, 2010). Plus largement, c'est l'ensemble du contexte socio-économique, politique et culturel qu'il s'agit de questionner. Ainsi, dans le cas des crues du Sud-Ouest, J.M. ANTOINE et F. GAZELLE (2013) interrogent implicitement la question des conditions d'émergence évolutives de l'événement en fonction du contexte politique. Ils mettent ainsi en avant le rôle des politiques publiques d'indemnisation qui ont pu inciter à la déclaration de dommages à un moment, aboutissant à une augmentation des sources dont on retrouve la trace, sans que celle-ci ne soit pour autant le reflet d'une évolution du phénomène naturel. Sur un registre similaire, J.M. ANTOINE (2010) montre que le postulat reliant, d'un côté, "dégradations des montagnes" et, de l'autre, catastrophes torrentielles et avalanches, a donné lieu à la production d'un discours et à un recensement des événements se produisant dans les Alpes et les Pyrénées, justifiant par là-même l'intervention de l'État. D'un autre côté, G. QUENET (2005) signale qu'au XVIII^{ème} siècle les récits de catastrophes dans les gazettes et autres supports d'information périodique pouvaient servir un intérêt économique, visant à s'assurer un lectorat, et contribuant ainsi par là-même à rendre visibles ce type d'événements à un moment donné. Enfin, B. MARTIN *et al.* (2017) invoquent l'incidence du contexte politique (conflits mondiaux) et la destruction d'archives durant les guerres sur la connaissance des inondations alsaciennes. Les (géo-)chronologies obtenues sont ainsi dépendantes des réactions et des représentations des sociétés face au phénomène et au risque, dont dépend en partie l'oubli ou la mémoire, la transmission ou l'absence de transmission, et la modification des souvenirs (A.M. GRANET-ABISSET, 2012).

2) Occupation du sol, aménagement de l'espace et du territoire

La vulnérabilité dépend du mode de mise en valeur du territoire (nature et localisation des pratiques, des enjeux, densité de population, *etc.*). Elle est variable dans le temps et dans l'espace en fonction de facteurs structurels, culturels, juridiques, *etc.* (B. MARTIN *et al.*, 2017). L'enregistrement d'un événement étant fortement lié aux dommages subis et donc à la vulnérabilité, la (géo-)chronologie reflète ainsi aussi l'occupation du sol et plus largement l'utilisation de l'espace. E.A. PODOLSKIY *et al.* (2014) n'ont trouvé mention d'avalanches dans l'île de Sakhaline qu'à partir du moment où cette dernière a été colonisée par les Japonais au début du XX^{ème} siècle et les secteurs avalancheux davantage fréquentés, permettant l'observation d'avalanches et occasionnant parfois des accidents. F. GIACONA *et al.* (2017) mettent quant à eux en lumière l'apparition d'un nouveau type de dommages (coupure de routes) avec le développement de la circulation automobile hivernale à travers le Massif Vosgien. Cette modification du système risque conduit à l'émergence de "nouveaux" événements dommageables dans la géo-chronologie. De même, d'après J. DESARTHE (2014), une analyse précise des cyclones aux Antilles n'est possible qu'à partir du XVII^{ème} siècle avec le début de la présence française sur ce territoire. Enfin, B. MARTIN (1996) comme C. GARCÍA-HERNÁNDEZ *et al.*, (2017) divisent leur période d'étude en sous-périodes, fonction des variations d'occupation des sols et de pratiques de l'espace, expliquant ainsi l'évolution, dans le premier cas, des aléas, dans le second, de l'indice des dommages lié aux avalanches dans le massif des Asturies (montagnes cantabriques).

D'un autre côté, les sociétés modifient par leurs activités les milieux dans lesquels se produisent les phénomènes potentiellement dommageables. Ces modifications peuvent influencer leur activité en termes d'occurrence, d'intensité, d'extension, de saisonnalité, *etc.* La (géo-)chronologie s'en trouve alors potentiellement impactée même si de tels effets sont

souvent difficiles à mettre en évidence. J.M. ANTOINE et F. GAZELLE (2013) suggèrent ainsi que le régime hydrologique du Sud-Ouest de la France a été fortement modulé par les variations de la pression agro-pastorale sur les versants montagnards et de piémont. Plus largement, l'attribution ferme de l'évolution d'un phénomène au réchauffement climatique récent d'origine anthropique obéit à un schéma identique. Ainsi la recrudescence des chutes de blocs et éboulements dans le massif du Mont-Blanc depuis les années 1980 et en particulier durant les récents épisodes de canicules estivales (2003 notamment) découlerait-elle directement de la modification par l'homme de la composition de l'atmosphère (L. RAVANEL, 2010).

3) Mesures de gestion

Un cas particulier de modification du milieu par l'homme est celui de la mise en place de mesures de protection structurelles destinées à minimiser les dommages, soit en protégeant les enjeux (digues, renforcements au bâti, *etc.*) soit en rendant plus difficile l'occurrence des phénomènes (râteliers en zone de départ d'avalanche, grillages pare-blocs, *etc.*). I. HIMMELSBACH *et al.* (2015) montrent ainsi l'impact de politiques de protection volontariste en Allemagne dès le début du XIX^{ème} siècle sur les cours d'eau non-navigables où les débordements s'en trouvent réduits. De même, d'après J. DESARTHE (2013), la mise en place d'un calendrier de gestion des lits de la Sarthe et de la Briante à Alençon au cours du XIX^{ème} siècle a permis de réduire la récurrence des événements mineurs. Ainsi tous les dix ans les cours d'eau devaient-ils faire l'objet d'un curage, et tous les ans d'un faucardement, afin de laisser libre cours à la rivière et garantir l'accès à l'eau aux différents acteurs. Enfin, les aménagements effectués peuvent être synonymes d'amélioration mais également d'aggravation. Les travaux de C. COMBE (2007) sur le risque d'inondation dans le Lyonnais montrent ainsi que la construction d'une digue dans le secteur des Brotteaux entraîne une aggravation des submersions à Vaulx-en-Velin.

Visant également à réduire les dommages, les mesures de gestion non structurelles sont susceptibles d'influencer la (géo-)chronologie des événements. En revanche, à la différence des mesures structurelles évoquées précédemment, elles n'induisent pas de modifications du milieu et agissent sur le système risque à un autre niveau : diminution de l'exposition par des évacuations préventives efficaces, sensibilisation aux risques et aux bonnes pratiques permettant de le réduire, *etc.* D. CŒUR (2008) a ainsi montré que, dans le dernier tiers du XIX^{ème} siècle, un plan de défense contre les inondations a été mis en place à Grenoble (il est resté en usage jusqu'au milieu du XX^{ème} siècle). Ce plan listait les mesures à prendre en fonction de seuils d'alerte : avis de vigilance, réquisition de main-d'œuvre, fermeture des prises d'eau, *etc.* Cependant la mise en œuvre de telles mesures de gestion est jusque récemment restée marginale. En effet, la prise en compte du risque par la puissance publique a longtemps privilégié les mesures structurelles et la réduction de l'endommagement matériel (N. MESCHINET de RICHEMOND et M. REGHEZZA, 2010), héritage de la vision technique, portée successivement par les corps des ingénieurs du roi, des Ponts et Chaussées et des Eaux et Forêts (B. DESAILLY, 1990 ; R. LAGANIER, 2006). Cela n'exclut toutefois pas qu'à l'échelle locale ou d'acteurs spécifiques, des stratégies non structurelles aient été mises en place antérieurement afin de se prémunir du risque, par exemple des systèmes d'alertes sur des cours d'eau (R. FAVIER, 2006 ; C. CŒUR, 2018).

L'analyse des mesures non structurelles nécessite de tenir compte de l'évolution des mentalités et de la représentation du risque par les sociétés ainsi que de ce qui fait vulnérabilité pour une société donnée à un moment donné, fonction des personnes, des activités et des lieux impactés. Ce qui était acceptable à une certaine période ne l'est plus forcément ulté-

riurement. Ainsi, comme le souligne J. DESARTHE (2013), les meuniers ont été considérés jusqu'au XIX^{ème} siècle comme des supplétifs du pouvoir central pour réguler le niveau des cours d'eau et rivières dans l'ouest de la France. Avec l'émergence de la vapeur, ils font l'objet de nombreuses critiques et finissent par disparaître peu à peu et, avec eux, des pratiques de gestion du risque inondation. De son côté, N. DUPONT (2012) met en avant que les populations du bassin de la Vilaine ont des représentations plurielles des causes d'inondation en fonction de leur commune de résidence (d'urbanisation ancienne ou marquée par une forte extension récente).

4) Caractéristiques biophysiques et climatiques du territoire

Certains facteurs du milieu dans lequel les phénomènes se produisent peuvent être considérés comme fixes aux échelles de temps décennales ou séculaires des analyses géohistoriques. C'est par exemple le cas de la topographie. D'autres sont intrinsèquement variables même en l'absence de perturbations humaines. Le climat avec ses tendances sur le temps long et ses oscillations décennales en est un exemple. La composition des écosystèmes (distribution spatiale des espèces, des peuplements et des individus) évolue elle aussi en réponse au climat et/ou suite aux interventions humaines. Comme pour les modifications induites par les activités anthropiques sur le milieu, les évolutions naturelles peuvent se répercuter sur l'occurrence des phénomènes, leur intensité, leur saisonnalité, *etc.* Plusieurs études sur les crues et les avalanches s'accordent ainsi sur un impact marqué de la sortie du Petit Âge glaciaire sur la chronologie des événements sur certains territoires. La transition relativement brutale entre une période de plus de trois siècles d'un climat froid et relativement sec vers un climat plus chaud et plus humide expliquerait ainsi la concentration d'épisodes de crues/inondations souvent intenses sur une courte période de temps, notamment pour le Rhin dans la seconde moitié du XIX^{ème} siècle (I. HIMMELSBACH *et al.*, 2015 ; F. GIACONA *et al.*, 2019).

IV - MISE EN CORRESPONDANCE

De la contextualisation à l'explication de la (géo-)chronologie par la mise en correspondance, il n'y a plus qu'un petit pas vite franchi. Ainsi A. DECAULNE (2005) fait-elle le lien entre, d'une part, l'augmentation des avalanches recensées dans les fjords d'Islande nord-occidentale, et, de l'autre, l'existence de sources plus systématiques liées à la présence d'enjeux (densification de l'habitat notamment). Dans un autre article, A. DECAULNE (2004) relie l'évolution des types de dommages constatés à des modifications d'occupation du sol (déplacement des activités de l'intérieur des terres vers le littoral avec le développement des ports de pêche), à l'évolution démographique ainsi qu'à celle du contexte social et sanitaire (non-connaissance de l'aléa, épidémie). E. GARNIER (2007) s'attache davantage à l'inondation comme indicateur du climat mais met lui aussi en relation les inondations recensées avec le climat et les modalités d'occupation du sol en décrivant précisément le contexte social. Dans un dernier exemple, J. DESARTHE (2014) s'intéresse au système risque à partir de la focale "dommage". Il met en relation l'histoire des ouragans avec l'évolution des types de dommages recensés, ces derniers étant eux-mêmes liés aux activités économiques et à la typologie des logements.

Ces mises en relation, souvent de l'ordre du descriptif, suggèrent voire proposent une explication logique aux évolutions observées. Pour l'étayer davantage, il est possible de pousser plus en avant la confrontation de la (géo-)chronologie avec l'évolution des facteurs potentiellement explicatifs. Il s'agit ainsi de pointer tour à tour les concomitances ou décalages dans

le temps et dans l'espace entre la chronologie des événements et celles des facteurs explicatifs, non sans oublier les interactions existant entre ces derniers. Ce sont généralement d'abord les évolutions temporelles qui sont passées à la loupe : y a-t-il correspondance entre une ou plusieurs tendances ? Les co-évolutions observées sont-elles logiques ? Répondre à cette dernière question nécessite d'envisager l'ensemble des liens pouvant exister entre le phénomène et les variables de contexte, y compris des interactions pouvant être plus ou moins directes et/ou complexes. Il s'agit notamment de garder à l'esprit l'existence possible d'emboîtements d'échelles temporelles ou de "jeu de temporalités" multiples (J.M. ANTOINE *et al.*, 2011) combinant temps long ou tendance de basse fréquence (échelle séculaire à pluriséculaire), temps court et rythmicités saisonnières ou cycliques. Intégrer la dimension spatiale permet ensuite d'affiner l'analyse en distinguant des sous-espaces ou des lieux particuliers. Il est alors possible d'individualiser plusieurs zones au sein desquelles peuvent se produire des évolutions éventuellement différenciées. On démultiplie ainsi la possibilité d'identifier des correspondances tout en se plaçant à l'échelle à laquelle les mécanismes entrent en jeu. Par exemple, il sera bien plus facile de mettre en évidence l'impact de la construction d'un ouvrage de protection sur le régime hydrologique d'un cours d'eau si l'on dispose de mesures de débit à proximité immédiate de l'ouvrage (la construction de l'ouvrage induira alors une rupture brutale) plutôt que de mesures intégrées à l'échelle du bassin versant entier (le signal de rupture sera alors atténué par sa combinaison avec une multitude d'autres effets, de sorte qu'il sera plus difficile à détecter). Une telle analyse de mise en correspondance des évolutions temporelles "distribuées" sur des sous-zones met ainsi pleinement à profit la finesse spatiale et temporelle de l'ensemble des informations rassemblées, permettant finalement d'appréhender au mieux le fonctionnement du système risque dans son ensemble. Concrètement, tel que R. BRUNET le rappelle (1986), il est possible de procéder de manière inductive (mouvement ascendant) ou déductive (mouvement descendant). La mise en évidence de concordances peut en effet étayer une relation de cause à effet postulée *a priori*, tandis que leur absence la réfutera. *A contrario*, considérer l'évolution conjointe de l'ensemble des éléments du système peut faire émerger des hypothèses et des schémas de fonctionnement non envisagés *a priori*.

En guise d'illustration, E.A. PODOLSKIY *et al.* (2014) mettent en relation, en fonction du temps, la variation de la population dans les îles Sakhaline et Kouriles et un indice de risque d'avalanche. Il en ressort une correspondance entre nombre d'accidents par avalanche et croissance de la population. *A contrario*, lorsque la population se stabilise, les accidents par avalanche diminuent. Les auteurs interprètent cette correspondance comme le résultat d'un "apprentissage douloureux" du risque par une population qui n'y était jusque-là pas confrontée. B. MARTIN *et al.* (2017) différencient sur une frise chronologique les inondations de Mulhouse et celles de l'ensemble du bassin versant de l'Ill qui la traverse en fonction de trois niveaux de gravité (Fig. 2). Cette superposition spatiale et temporelle met en évidence l'existence d'un renversement : les dommages sont plus importants à Mulhouse que dans le reste du bassin versant au XIX^{ème} siècle (croissance de la population mulhousienne conduisant au développement de l'urbanisation en zone inondable couplée à l'inefficacité du canal de décharge en place), puis, à l'inverse, les inondations sont absentes ou moins graves à Mulhouse que dans le reste du bassin versant au XX^{ème} siècle. Cela s'explique par le redimensionnement à partir du début du XX^{ème} siècle du canal de décharge protégeant Mulhouse. Sur le même principe, B. MARTIN (1996) a montré que les crues du torrent du Chagnon (Hautes-Alpes) étaient progressivement devenues moins destructrices à partir de la fin du XIX^{ème} siècle du fait de l'action conjointe du reboisement, des changements de pratiques pastorales, des travaux de correction, dans un contexte de baisse de la pression démographique et d'évolution vers un climat moins humide et moins chaotique.

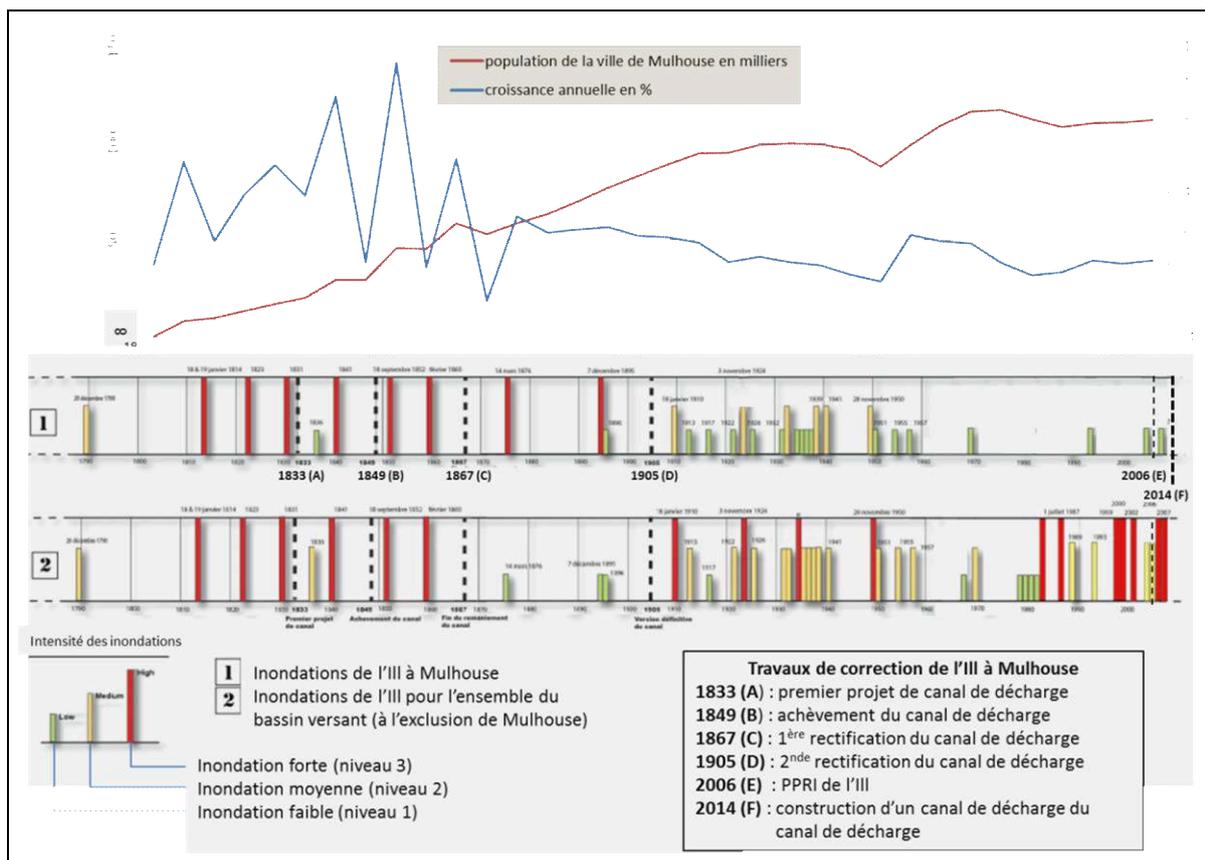


Figure 2 - Frises chronologiques représentant les inondations de l'Ill en fonction de trois niveaux de gravité, à Mulhouse et dans l'ensemble de son bassin versant, et évolution de la population à Mulhouse (source B. MARTIN *et al.*, 2017).

L'encart en bas à droite indique les différentes phases de construction du canal de décharge de l'Ill destiné à protéger Mulhouse.

J.M. ANTOINE et F. GAZELLE (2013) représentent en parallèle sur une frise le phénomène (crues) ainsi que différents facteurs potentiellement explicatifs (Fig. 3) : indicateurs d'anomalies de température, pression agro-pastorale et pression du charbonnage. Il en ressort que, s'il peut y avoir correspondances entre certaines péjorations climatiques et crises hydrologiques et que donc des effets du changement climatique soient perceptibles à l'échelle locale, le facteur climatique ne représente qu'un des éléments explicatifs parmi d'autres. La correspondance avec l'évolution de la pression agro-pastorale est plus marquante : temps fort hydrologique de la seconde moitié du XVIII^{ème} siècle et forte augmentation de la pression pastorale entre le milieu du XVII^{ème} et le milieu du XVIII^{ème} siècle, et, inversement, temps calme hydrologique et exode rural au tournant du XX^{ème} siècle. Quant au charbonnage, il ne constitue *a priori* pas un facteur explicatif. Finalement, les frises chronologiques ont l'avantage de pouvoir mettre en relation de nombreux facteurs potentiellement explicatifs, de considérer leurs temporalités, et d'appréhender ainsi au plus près le fonctionnement du système. Dans ces différents exemples, l'espace n'est en revanche pas représenté de manière directe suggérant ainsi implicitement l'idée d'une homogénéité spatiale de la zone d'étude.

D'un autre côté, F. GIACONA (2014) privilégie une focale spatiale à laquelle s'adjoint une dimension temporelle (Fig. 4). La distribution spatiale des événements recensés (avalanches dans le Massif Vosgien) est représentée sur une carte en fonction d'un facteur potentiellement

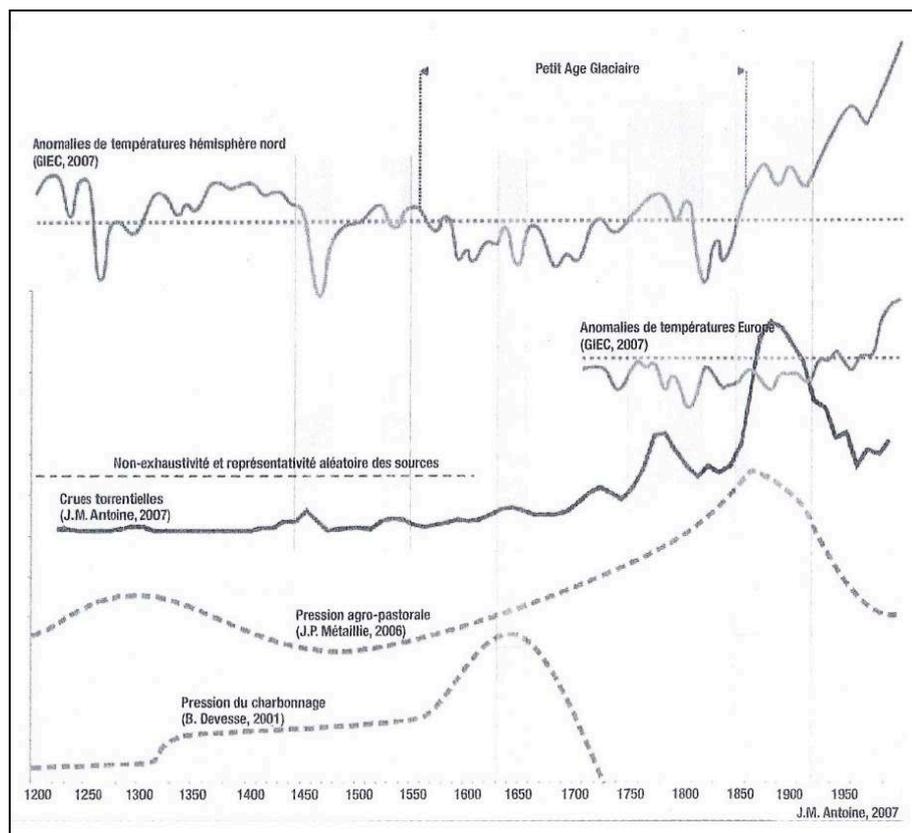


Figure 3 - Exemple de superposition de chronologies du phénomène et de facteurs de contexte sur une frise chronologique, crues du Sud-Ouest de la France.

Source : J.M. ANTOINE et F. GAZELLE, 2013, avec l'aimable autorisation des auteurs.

explicatif fixe à l'échelle de l'étude, à savoir l'altitude. Les événements sont, en outre, symbolisés en fonction de la période temporelle à laquelle ils se sont produits. Cette représentation met en avant une évolution en termes de distribution spatiale (altitude et extension) dans le temps. Les événements anciens se sont produits dans quelques zones situées à basse altitude et à proximité des crêtes. Au XIX^{ème} siècle, les conditions climatiques hivernales, plus rudes qu'aujourd'hui, ont permis la formation d'un manteau neigeux consistant, y compris dans les fonds de vallée. La présence hivernale dans le massif était essentiellement liée aux activités agro-sylvo-pastorales et aux échanges (économiques, familiaux) entre vallées. Ces éléments expliquent la localisation des événements recensés dans des fonds de vallée et dans quelques secteurs d'altitude avec présence de fermes ou de chemins empruntés. À l'inverse, la formation d'un manteau neigeux n'est généralement possible actuellement que dans les altitudes les plus élevées du massif. Avec le développement des activités hivernales récréatives, la fréquentation du massif a fortement augmenté et ce dernier est parcouru dans son "intégralité". Cette combinaison explique la localisation des événements récents à proximité des crêtes ainsi que l'extension spatiale des secteurs dans lesquels ils se sont produits. Ce type de représentation constitue un argument graphique fort permettant d'étayer la manière dont fonctionne le système et dont sa dynamique a varié dans l'espace et dans le temps. Les cinq périodes temporelles distinguées dans cette figure l'ont été sur la base d'une certaine homogénéité en termes de types de sources et de masse documentaire potentiellement disponibles telles qu'évoquées *supra*.

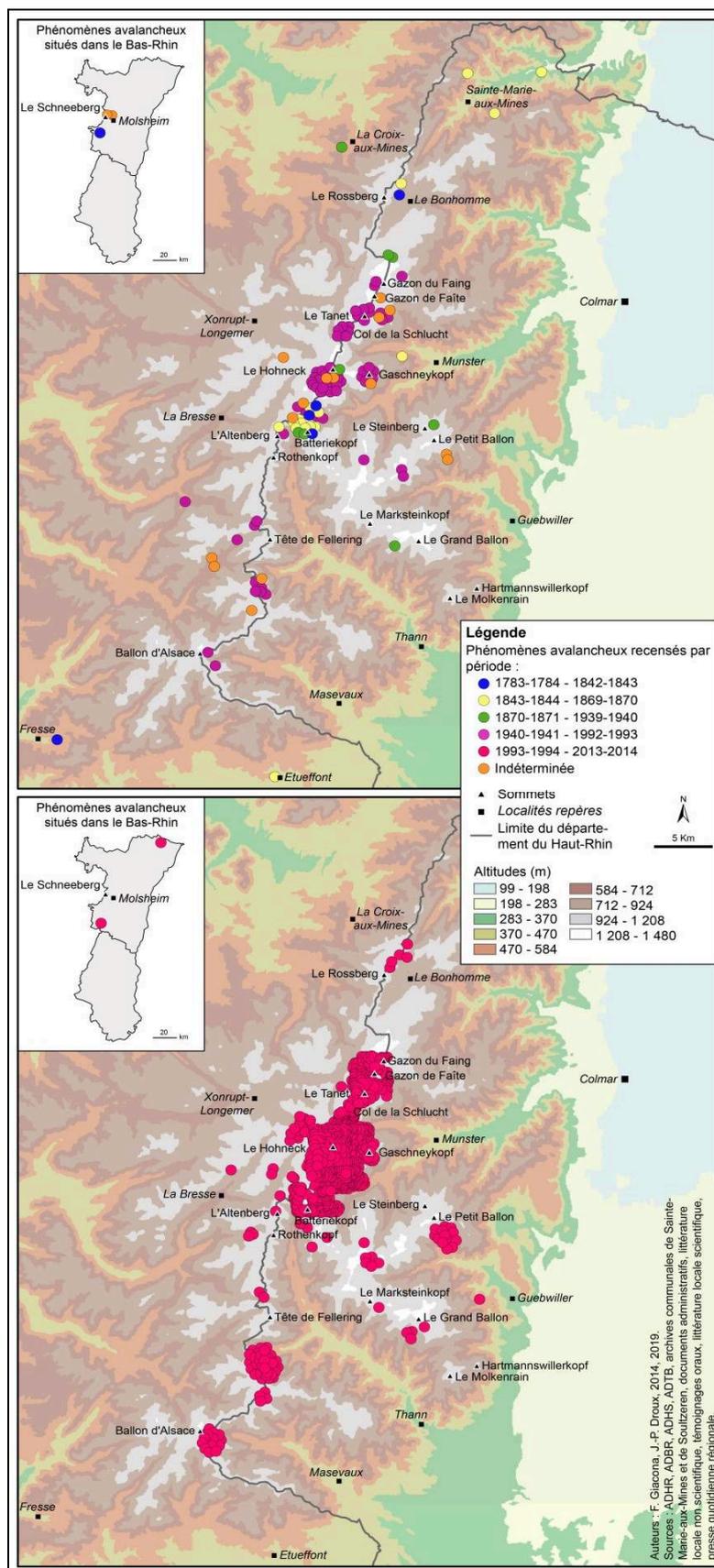


Figure 4 - Exemple de représentation spatiale à laquelle s'ajoute une dimension temporelle : localisation des phénomènes avalanches dans le Massif Vosgien, par période, depuis la fin du XVIII^{ème} siècle (d'après F. GIACOMA, 2014).

V - MODÉLISATION DU FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME RISQUE

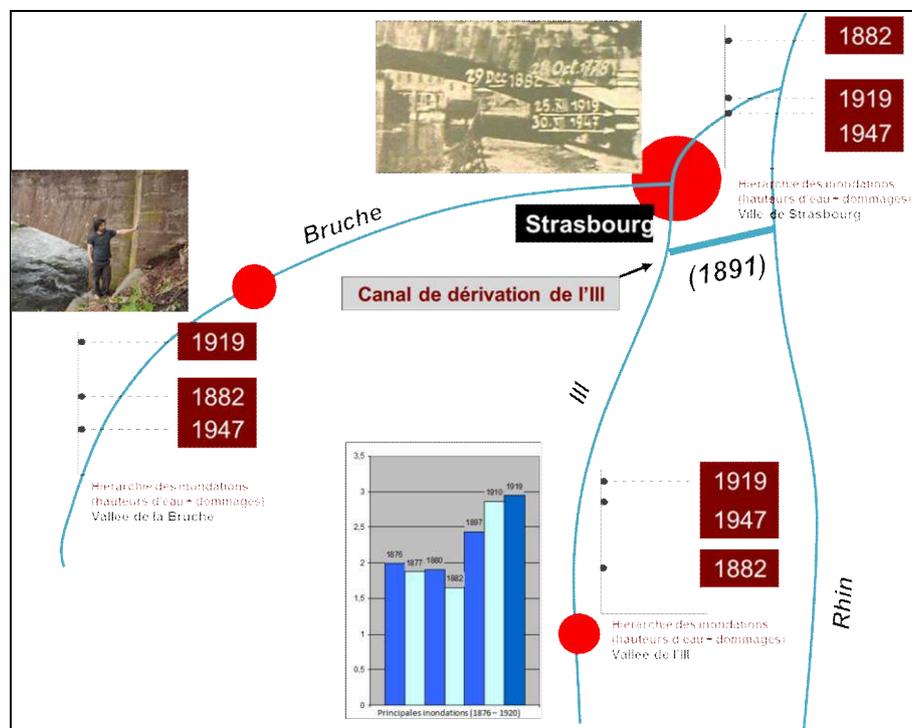
La mise en correspondance permet de décomposer le système risque en considérant les sous-systèmes qui le forment, existant de manière autonomes, mais liés par des relations et des interactions à différentes échelles spatiales et temporelles, ainsi que par des boucles de rétroactions. Le fonctionnement du système ne peut ainsi se déduire du comportement de ses composantes (D. PUMAIN, 2003). En proposer une représentation graphique schématisée intégrant uniquement les facteurs principaux n'est pourtant pas dénué d'intérêt. Un modèle qualitatif simplifié constitue en effet un support utile et efficace de raisonnement et de compréhension pour le chercheur comme de communication et d'aide à la décision dans un contexte opérationnel de gestion du risque. Cette dernière étape de proposition d'un modèle qualitatif de fonctionnement du système risque implique de procéder à une hiérarchisation des facteurs explicatifs (démarche absente lors de la mise en correspondance) et à une simplification souvent drastique du réel, "*l'infinie richesse du réel*" (R. BRUNET, 1980) ne pouvant être décrite. Le modèle qualitatif ainsi obtenu met en lumière les mécanismes principaux et la manière dont ils varient dans le temps et dans l'espace. Ainsi, plus que de l'identification d'évolutions, s'agit-il bien de compréhension de la dynamique du système par l'interprétation des facteurs de contrôle induisant ces évolutions (D. PUMAIN, 2003).

Comme tout système, le système risque se caractérise, on l'a vu, par sa complexité. Cette dernière explique sans doute pour partie que la proposition de tels modèles simplifiés de fonctionnement du système risque dans le temps et dans l'espace restent rares dans la littérature. Dans les faits, il est effectivement difficile de représenter graphiquement le fonctionnement d'un système dans une analyse dynamique en tenant compte de la multiplicité des variables en jeu tout en combinant dimensions temporelles et spatiales. Les quelques exemples existants considèrent le système dans son ensemble (C. GARCÍA-HERNÁNDEZ *et al.*, 2017) ou font un focus plus spécifique dans le temps et/ou dans l'espace (B. MARTIN *et al.*, 2015) en adaptant la forme de représentation en conséquence. La revue bibliographique effectuée met ainsi en évidence deux types de modèles graphiques selon que la focale se place plutôt sur une représentation directe de l'espace ou du temps. Il s'agit du "chrono-chorème" et de la frise chrono-systémique des aléas et des facteurs de contextualisation, présentés ci-après.

1) La modélisation graphique par "chrono-chorème"

Le "chrono-chorème", en référence au terme forgé par R. BRUNET (1986), combine configuration spatiale et références temporelles inhérentes au phénomène et/ou à des facteurs de contexte. L'espace, directement lisible, est représenté de manière schématique en figurant des "*arrangements spatiaux*" (R. BRUNET, 1980) sous forme géométrique. L'adjonction d'éléments temporels à cette configuration spatiale permet alors de représenter indirectement des dynamiques spatio-temporelles en mettant en avant l'évolution d'un objet dans le temps et dans l'espace. C'est par un tel type de représentation que B. MARTIN *et al.* (2015) expliquent, l'existence d'un décalage entre les hauteurs d'eau atteintes dans la ville de Strasbourg et dans les villes amont (Fig. 5). L'espace est représenté de manière schématique par les principaux cours d'eau situés dans le secteur amont de Strasbourg (la Bruche, l'Ill et le Rhin) ainsi que par cette ville. Y sont attachées des toises de hauteurs d'eau atteintes par trois inondations (1882, 1919 et 1947). La construction en 1891 du canal de décharge, situé en amont de Strasbourg et déviant une partie des eaux de l'Ill dans le Rhin, fait office de date rupture entre deux états. Alors que l'inondation de 1919 est associée aux plus hautes eaux atteintes dans les

vallées de la Bruche et de l'Ill, à Strasbourg c'est celle de 1882 qui arrive largement en tête. La construction du canal de décharge et son efficacité constituent ainsi l'élément retenu pour expliquer la variabilité spatiale en termes d'événement de référence.



2) La modélisation graphique par frise chrono-systémique

La frise chrono-systémique (Fig. 6) permet de visualiser les "co-évolutions a-synchroniques" des différentes composantes d'un objet complexe par superposition de jeux d'échelles temporelles et spatiales, en faisant dialoguer temporalités et événements et en laissant la possibilité de segmenter la frise en sous-périodes (G. DJAMENT-TRAN, 2009 ; A. BERGERET *et al.*, 2015-a, 2015-b). La frise chrono-systémique permet de visualiser des dynamiques de changement en représentant tendances et liens "causaux" entre éléments (A. BERGERET *et al.*, 2015-b). Enfin, elle a l'avantage de combiner lecture verticale (synchronique) et lecture horizontale (diachronique). Ces caractéristiques en font donc un outil particulièrement adapté à la compréhension des systèmes risque. Néanmoins les possibilités offertes par l'outil frise chrono-systémique pour la représentation et la compréhension des systèmes risque n'ont pas encore été pleinement exploitées en géohistoire des risques. De fait, aucun exemple de représentations rencontrées dans la littérature ne combine complètement jeux d'échelles temporelles et spatiales tout en proposant une représentation dynamique des interactions et changements.

C. GARCÍA-HERNÁNDEZ *et al.* (2017) proposent toutefois une représentation graphique se rapprochant de la frise chrono-systémique. La focale est en effet inversée par rapport au

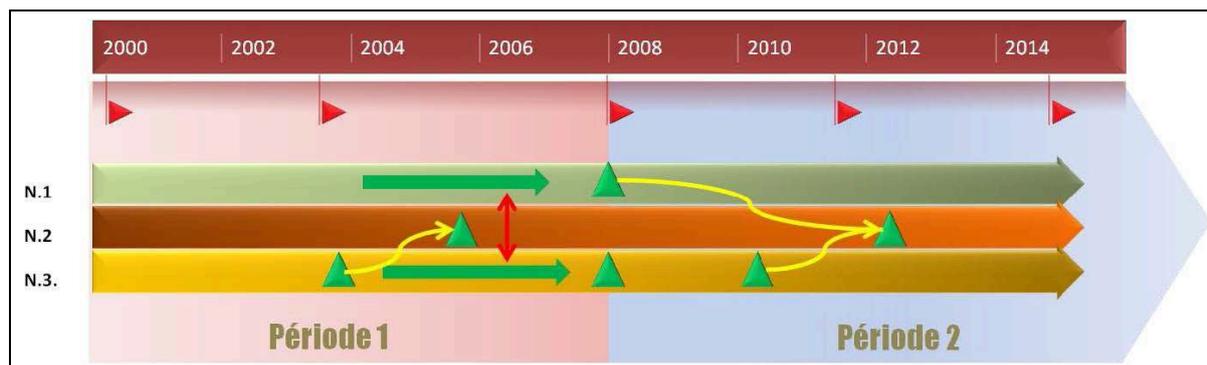


Figure 6 - Représentation schématique des possibilités offertes par l'outil frise chrono-systémique en termes de représentation des dynamiques d'un objet complexe, dont le potentiel reste à exploiter en géohistoire des risques (source : A. BERGERET *et al.*, 2015-b, @ Agnès Bergeret, avec l'aimable autorisation de l'auteur).

À travers ce schéma, l'auteur synthétise un ensemble d'éléments pouvant être représentés par l'outil frise chrono-systémique. Les bandes horizontales symbolisent les "ingrédients" (échelles, acteurs, *etc.*), hiérarchisés ou non, et les triangles verts des "jalons". Les flèches vertes peuvent représenter des "tendances", les flèches jaunes des "liens dynamiques" entre jalons propres à différents "ingrédients" et les flèches rouges des relations entre "tendances".

"chrono-chorème" : le temps est directement lisible et représenté sous forme d'une frise chronologique tandis que l'espace est figuré de manière schématique. Les auteurs proposent ainsi d'expliquer l'index cumulatif des dommages d'avalanches dans les Asturies sur les 150 dernières années en combinant frise chronologique et représentation figurée des versants selon leur altitude et orientation (nord et sud). Sur la frise sont présentées, en parallèle de l'index cumulatif, des variables explicatives de différentes natures, telles que l'évolution de la population, l'exploitation de mines de charbon, l'évolution du nombre de têtes de bétail (ovin) ou la reforestation. Les coupes schématiques des versants servent à expliquer les conséquences pour les enjeux matériels d'une avalanche sur : 1/ un versant relativement déboisé, et 2/ un versant entièrement boisé. Dans le premier cas, l'avalanche atteint des bâtiments situés en bas de versant, dans le second elle est stoppée par la forêt. La part belle est ainsi faite aux variables "environnementales" dont le modèle retenu met en exergue le rôle prédominant dans l'évolution de l'activité avalancheuse et du risque associé. Néanmoins, bien que le temps soit représenté de façon continue, le modèle retenu distingue en fait deux états du système risque caractérisés chacun par une activité avalancheuse, un état des versants lié principalement aux activités humaines et un risque pour les bâtiments radicalement différents. La démarche de modélisation consiste donc dans ce cas à passer d'un ensemble d'évolutions spatio-temporelles complexes à une vision binaire du système suffisante pour en saisir les caractéristiques principales.

3) Difficultés liées à la modélisation géohistorique et ébauche de bonnes pratiques

Des exemples évoqués ressort l'intérêt de la modélisation dans les démarches géohistoriques s'intéressant au système risque, en tant que "*produit de certains processus fonctionnant sous certaines contraintes et selon diverses temporalités*" (F. DURAND-DASTÈS, 1996, cité par D. PUMAIN, 2003). Il n'en reste pas moins qu'elle présente un certain nombre de difficultés, voire de limites qu'il ne faut pas sous-estimer.

Tout d'abord, il est nécessaire de garder à l'esprit que la modélisation est le fruit d'une construction cognitive, donc d'une représentation de la réalité (R. BRUNET, 1980). La démarche proposée comporte en outre une étape de simplification drastique. Ainsi les deux exemples utilisés ne retiennent-ils qu'un ou quelques facteurs explicatifs des évolutions observées, sans proposer de hiérarchisation de tous les processus en jeu. La différenciation spatiale est également réduite au minimum, n'envisageant par exemple pas d'emboîtements d'échelles et négligeant certainement de nombreux effets très locaux. De tels modèles de fonctionnement sont donc nécessairement inexacts car trop simplifiés, mais cette simplicité est également ce qui fait leur intérêt. Ils illustrent à merveille le célèbre adage de G. BOX (1976) : "*tous les modèles sont faux mais certains sont utiles*". Il convient juste de garder à l'esprit, dans l'utilisation qui en est faite, leur caractère réducteur et la part de subjectivité inhérente à leur construction.

De même, en pratique, la complexité du système risque implique de combiner au sein du modèle recherché :

- Des éléments statiques et des éléments dynamiques, de dimension à la fois spatiale et temporelle.
- Des évolutions dans le temps ou l'espace avec des données ponctuelles.
- Des relations pouvant être linéaires ou non linéaires.

En outre, le système risque englobe des sous-systèmes autonomes et ouverts, interagissant chacun avec des éléments extérieurs. Résumer clairement et efficacement toute cette information peut s'avérer une gageure. Plus précisément, c'est l'espace qui semble le plus difficile à représenter dès lors que l'on s'attache au système risque dans son intégralité. Ce constat de la difficile prise en compte de phénomènes d'interaction spatiale dans l'approche systémique a déjà été soulevé par Y. GUERMOND (2005). Dans la plupart des exemples proposés, l'espace est ainsi soit absent (induisant l'hypothèse qu'il est considéré comme invariable sur tout l'espace et la période d'étude) soit subdivisé en zones considérées comme homogènes. Exception à cette règle, le chrono-chorème de B. MARTIN *et al.* (2015) mais l'ensemble des caractéristiques de l'espace considéré (topographie, occupation des sols, *etc.*) s'y trouve quand même réduit à trois localités et à une représentation minimaliste du réseau hydrographique.

Enfin, la démarche de simplification inhérente à l'obtention du modèle peut s'avérer en elle-même périlleuse. La seule mise en correspondance ne permet pas toujours d'identifier clairement des relations de cause à effet, du fait, par exemple, de périodes de latences séparant parfois une cause de son effet et de notre incapacité à statuer sur l'existence de liens entre plusieurs facteurs. J.M. ANTOINE *et al.* (2011) indiquent ainsi l'exemple d'une crue du gave du Pau à la fin du XVIII^{ème} siècle consécutive à la vidange d'un lac retenu par un barrage naturel formé par un éboulement survenu un siècle auparavant. En pratique, certaines causalités sont plus faciles à valider que d'autres, notamment dans le cas de ruptures brutales induisant le passage d'un état à un autre (un avant et un après), telle que la construction d'un canal de décharge endiguant ou réduisant les inondations dans une localité (B. MARTIN *et al.*, 2015, 2017). Lors de telles ruptures, la cause est facilement attribuable avec une quasi-certitude et le système aisément simplifiable. Tel n'est pas le cas des évolutions progressives pour lesquelles on se retrouve souvent confronté à l'existence de plusieurs explications plausibles pour l'évolution des aléas. Il est dès lors difficile d'isoler le rôle de chaque facteur et de les hiérarchiser sur la base de seules concordances qualitatives et de la logique. Il est même possible de se tromper totalement dans l'attribution d'une relation de cause à effet du fait de ce que la littérature regroupe sous le vocable de "confounding factors", c'est-à-dire de facteurs susceptibles

d'expliquer "logiquement" une évolution mais ne constituant pas la cause réelle. L'existence d'un lien logique potentiel n'est donc pas systématiquement synonyme d'explication causale, et plusieurs liens causaux potentiels ne peuvent pas toujours être aisément discriminés. Arriver à comprendre et modéliser de façon réaliste le fonctionnement du système risque requiert alors des analyses des processus en jeux plus fines, souvent quantitatives.

In fine, l'expérience de la conduite de ce type de modélisation systémique qualitative en géohistoire des risques est sans doute encore trop réduite pour proposer un guide de bonnes pratiques détaillées. Néanmoins quelques conseils "de bon sens" sont certainement suffisants pour en éviter les principaux écueils :

- Bien définir le système étudié et l'ensemble de ses composantes.
- Porter un soin particulier à l'étape de contextualisation pour, autant que faire se peut, ne "rater" aucun des éléments majeurs du fonctionnement du système.
- Procéder à la mise en correspondance avec un esprit ouvert plutôt qu'en voulant faire correspondre à tout prix la réalité avec une explication unique postulée *a priori*.
- Ne pas s'interdire *a priori* d'avoir recours à des analyses quantitatives pour tester/vérifier certaines hypothèses de fonctionnement ou trancher des hypothèses concurrentes.
- Simplifier drastiquement le système dans un premier temps pour acquérir une compréhension globale de son fonctionnement avant éventuellement de le complexifier à nouveau pour affiner la description de certains mécanismes.

La mise en pratique régulière d'une telle approche sur des cas d'étude diversifiés que nous appelons de nos vœux permettra certainement de compléter, de détailler et d'illustrer ces principes de base.

VI - CONCLUSION ET PERSPECTIVES

En géohistoire des risques naturels, l'intérêt pour les (géo-)chronologies est important et les exploitations qui en sont faites sont variées. L'article a toutefois tout d'abord rappelé que les (géo-)chronologies doivent être considérées comme le reflet de la distribution spatiale et/ou temporelle d'événements et non du risque, et encore moins des occurrences du phénomène étudié. En tant que telles, les (géo-)chronologies sont donc quasiment inexploitable, notamment car l'"effet source" y a un poids souvent prépondérant. L'étape de contextualisation pour laquelle l'article a proposé un canevas opérationnel, utilisable *a priori* pour l'ensemble des risques naturels, permet au contraire de transformer une (géo-)chronologie en information exploitable pour traiter une large gamme de problématiques fondamentales comme plus appliquées. La (géo-)chronologie contextualisée des inondations du Chagnon a ainsi permis de faire évoluer la cartographie du risque dans le cadre du PPR de la commune de Vars (B. MARTIN, 1996). Cette première étape du travail du géohistorien est déjà intéressante mais la réflexion peut aller plus loin. En effet, l'article a ambitionné de montrer de quelle manière, à partir de la (géo-)chronologie, il est possible d'arriver à une modélisation qualitative du système risque *via* la mise en correspondance puis la recherche d'une représentation graphique simplifiée illustrant les mécanismes principaux gouvernant le système risque d'intérêt dans l'espace comme au cours du temps. La démarche a été décomposée schématiquement en quatre étapes à partir d'exemples issus de la littérature. La revue effectuée n'avait toutefois pas vocation à être exhaustive et d'autres cas de figure pourraient certainement renforcer l'analyse. Néanmoins leur identification reste difficile, car

les chercheurs qui appliquent ce type de démarche de contextualisation et de modélisation qualitative sur le temps long ne se revendiquent pas nécessairement de la géohistoire. Il est toutefois espéré que l'éventail proposé illustre d'ores et déjà le bien-fondé de la formalisation proposée et souligne son intérêt pratique.

En soi, la formalisation des interactions spatio-temporelles discutée dans cet article n'a rien de révolutionnaire. Les différentes étapes identifiées – identification des facteurs explicatifs, hiérarchisation de ces derniers par caractérisation qualitatif ou quantitative de leur poids, description du fonctionnement du système, et enfin sa représentation simplifiée – correspondent au canevas générique de la théorie de la modélisation. Cette dernière fait l'objet d'un large consensus dans de nombreux champs disciplinaires (par exemple, G.E.P BOX et E.P. DRAPER, 1987 ; E. PARENT et J. BERNIER, 2007 ; T. HOUET *et al.*, 2008) et elle est déclinée depuis longtemps dans le domaine des risques naturels (par exemple, N. ECKERT *et al.*, 2008). Il s'agit en revanche d'un champ encore largement à défricher en géohistoire des risques naturels, c'est à dire dans le contexte spécifique de systèmes complexes fortement évolutifs appréhendés sur le temps long. Il ressort en effet de la revue bibliographique effectuée que si la constitution de chronologies, et, dans une moindre mesure, de (géo-)chronologies constitue un outil clé de la géohistoire des risques naturels, les "géohistoriens" sont beaucoup moins nombreux à pousser l'analyse jusqu'à proposer un modèle explicatif du système. Les difficultés d'une telle approche qui ne sont pas à négliger ont été rappelées. Néanmoins nous espérons avoir montré que le jeu en vaut vraiment la chandelle et proposé quelques principes simples permettant d'y parvenir. Un modèle géohistorique bien conçu est en effet très informatif, facile à comprendre et à faire comprendre, ce qui n'est pas, loin de là, le cas de tous les outils de modélisation. Il peut donc constituer un support de réflexion de premier ordre de même qu'un outil de communication et d'aide à la décision puissant et efficace.

On peut bien sûr objecter que la démarche proposée reste de l'ordre du qualitatif. Néanmoins, rien n'empêche de combiner la modélisation géohistorique qualitative avec des diagnostics statistiques quantitatifs (régression, analyse de corrélation), voire avec d'autres types de modélisation (codes numériques complexes, méthodes d'apprentissage, *etc.*). Cela peut permettre d'affiner certains points de l'analyse, en particulier de trancher ce que l'approche qualitative n'a pas permis d'établir fermement : poids respectifs de certains facteurs, caractère fortuit ou causal de certaines concordances, *etc.* Plutôt que d'opposer les approches, à l'avenir, davantage les combiner constitue sans doute une voie de progrès. La formalisation proposée dans cet article constitue en tout cas un pas dans cette direction en repositionnant le modèle comme un outil important de la réflexion géohistorique, au même titre que dans de nombreuses autres disciplines.

Enfin, l'analyse effectuée l'a été dans un domaine d'application précis, celui des risques naturels. Certains pans lui sont réellement spécifiques, comme le concept d'événement, très lié à l'occurrence d'un phénomène potentiellement dommageable. Ainsi l'ensemble de notre propos ne se transpose-t-il pas directement à d'autres domaines. Cependant, avec un peu de recul, la démarche proposée n'est rien d'autre qu'une documentation et tentative d'explication des évolutions dans l'espace et dans le temps d'un système socio-environnemental. Elle s'applique donc potentiellement à d'autres systèmes de ce type, comme une forêt exploitée dont il peut s'avérer intéressant de documenter les évolutions de superficie, d'âge et de port (taillis, futaie, *etc.*) des individus, de composition spécifique, de densité, *etc.*, et d'expliquer quels ont pu en être les ressorts successifs (évolutions climatiques, exploitation sylvicole, déboisements pour libération de terres arables, *etc.*). En conséquence, même s'il est sans doute

illusoire de rechercher un modèle de portée générale du fait des spécificités de chaque système/objet/problématique, la démarche de modélisation géohistorique proposée se transpose pour partie, moyennant adaptation au cas par cas. Il est donc à espérer que des approches de ce type se multiplieront de façon à permettre des comparaisons enrichissantes, autant pour chaque cas d'étude que plus globalement pour la discipline.

Remerciements : Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet CDP-Trajectories de l'Université Grenoble-Alpes, financé par l'Agence Nationale de la Recherche dans le cadre du programme d' "Investissements d'avenir" (ANR-15-IDEX-02).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANTOINE J.M. (1992) - *La Catastrophe oubliée : les avatars de l'inondation, du risque et de l'aménagement dans la vallée de l'Ariège : Pyrénées françaises*. Thèse de l'Université Toulouse II - Le Mirail, 495 p.
- ANTOINE J.M. (2010) - *Géohistoire des catastrophes et des risques torrentiels. Une histoire de l'environnement pyrénéen*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, Université Toulouse II - Le Mirail, 330 p., en ligne : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00756668>.
- ANTOINE J.M. et GAZELLE F. (2013) - L'apport des données historiques dans la connaissance des crues. Interprétations dans le Sud-Ouest de la France. *Historiens et Géographes*, n° 422, p. 123-139.
- ANTOINE J.M., DESAILLY B. et MÉTAILIE J.P. (1993) - Chronologie des crues et phénomènes torrentiels dans les Pyrénées (XVIII^e-XX^e). *Cahiers de l'Isard*, vol. 4, p. 31-58.
- ANTOINE J.M., DESAILLY B. et PELTIER A. (2011) - Histoire et temporalités des catastrophes et des risques "naturels". Éléments de prospective dans le contexte des changements climatiques. In : *Le changement climatique. Du méta-risque à la méta-gouvernance*, S. LA BRANCHE édit., Édit. Tec & Doc, Paris, p. 85-102.
- BARNIKEL F. (2004) - The value of historical documents for hazard zone mapping. *Natural Hazards and Earth System Science*, vol. 4, n° 4, p. 599-613.
- BARRIENDOS M. et MARTIN-VIDE J. (1998) - Secular climatic oscillations as indicated by catastrophic floods in the spanish mediterranean coastal area (14th-19th centuries). *Climatic Change*, vol. 38, n° 4, p. 473-491.
- BENITO G., LANG M., BARRIENDOS M., LLASAT M.C., FRANCES F., OUARDA T., THORNDY-CRAFT V.R., ENZEL Y., BARDOSSY A., CŒUR D. et BOBBEE B. (2004) - Use of systematic, paleoflood and historical data for the Improvement of flood risk estimation. Review of scientific methods. *Natural Hazards*, vol. 31, n° 3, p. 623-643.
- BERGERET A., DELANNOY J.J., GEORGE-MARCELPOIL E., PIAZZA-MOREL D., BERTHIER-FOGLAR S., BONNEMAINS A., BOURDEAU P., DUVAL M., FRANÇOIS H., GIRARD S., LAFORGUE D., LAMARQUE P., MADELRIEUX S. et TOLAZZI S. (2015-a) - L'outil-frise, dispositif d'étude interdisciplinaire du changement territorial. *EspacesTemps.net*, en ligne : <https://www.espacestemp.net/articles/loutil-frise-dispositif-detude-interdisciplinaire-du-changement-territorial/>.

-
- BERGERET A., GEORGE-MARCELPOIL E., DELANNOY J.J. et PIAZZA-MOREL D., sous la direction de (2015-b) - *L'outil-frise, une expérimentation interdisciplinaire. Comment représenter des processus de changements en territoires de montagne ?* Édit. Labex ITEM, Les Carnets du Labex ITEM - Innovation et territoire de montagne, 174 p., en ligne : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01230027/document>.
- BERTRAND M. (2010) - "Penser l'événement" en histoire : mise en perspective d'un retour en grâce. In : *Bifurcations. Les sciences sociales face aux ruptures et à l'événement*, M. BESSIN, C. BIDART et M. GROSSETTI édit., Édit. La Découverte, Paris, p. 36-50.
- BEUCHER S. et REGHEZZA M. (2005) - *La géographie : pourquoi ? comment ? Objets et démarches de la Géographie d'aujourd'hui*. Édit. Hatier, collection Initial, sous la direction de A. CIATTONI, Paris, 287 p.
- BÖHM O. et WETZEL K.F. (2006) - Flood history of the Danube tributaries Lech and Isar in the Alpine foreland of Germany. *Hydrological Sciences*, vol. 51, n° 5, p. 784-798.
- BOX G.E.P. (1976) - Science and Statistics. *Journal of the American Statistical Association*, vol. 71, n° 356, p. 791-799.
- BOX G.E.P. et DRAPER N.R. (1987) - *Empirical model-building and response surfaces*. Édit. John Wiley & Sons, New York (USA), 688 p.
- BRAUDEL F. (1949) - *La Méditerranée et le monde méditerranéen à l'époque de Philippe II*. Édit. Armand Colin, Paris, XV + 1160 p.
- BRÁZDIL R., KUNDZEWICZ Z.W. et BENITO G. (2006) - Historical hydrology for studying flood risk in Europe. *Hydrological Sciences Journal*, vol. 51, n° 5, p. 739-764.
- BRÁZDIL R., MÁČKA Z., ŘEZNÍČKOVÁ L., SOUKALOVÁ E., DOBROVOLNÝ P., GRYGAR T.M. (2011) - Floods and floodplain changes of the River Morava, the Strážnické Pomoraví region (Czech Republic) over the past 130 years. *Hydrological Sciences Journal*, vol. 56, n° 7, p. 1166-1185.
- BRUNET R. (1980) - La composition des modèles dans l'analyse spatiale. *Espace Géographique*, vol. 9, n° 4, p. 253-265.
- BRUNET R. (1986) - La carte-modèle et les chorèmes. *Mappemonde*, vol. 86/4, p. 2-6.
- BURGER K., SEIDEL J., GLASER R., SUDHAUS D., DOSTAL P. et MAYER H., (2007) - Extreme floods of the 19th century in southwest Germany. *La Houille Blanche*, vol. 1, p. 67-73.
- CAPDEPUY V. et DJAMENT-TRAN G., (2012) - Qu'est-ce que la Géohistoire ? *Carnet de Géohistoire*, en ligne : <http://geohistoire.hypotheses.org/> (consultation en octobre 2012).
- CŒUR D. (2008) - La gestion des inondations en France du XVIII^e au XX^e siècle : une affaire d'État ? In : *Inondations. 2 : La gestion du risque*, F. VINET édit., Édit. ISTE, Londres (Grande-Bretagne), p. 13-24.
- CŒUR D. (2018) - *La plaine de Grenoble face aux inondations. Genève d'une politique publique du XVII^e au XX^e siècle*. Éditions Quae, Paris, 328 p.
- COMBE C. (2007) - *La ville endormie ? Le risque d'inondation à Lyon : approche géohistorique et systémique du risque de crue en milieu urbain et périurbain*. Thèse de l'Université Lyon II, 456 p.
- DECAULNE A. (2004) - Le risque avalancheux en Islande. *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, vol. 2004/1, p. 75-83.

- DECAULNE A. (2005) - L'apport des données géomorphologiques et historiques à l'analyse diachronique du couple aléa-vulnérabilité dû aux avalanches et aux coulées de débris dans les fjords d'Islande nord-occidentale. *Norois*, vol. 194, n° 1, en ligne : <http://journals.openedition.org/norois/635>.
- DESAILLY B. (1990) - *Crues et inondations en Roussillon, le risque de l'aménagement fin XVII^e - milieu XX^e siècle*. Thèse de l'Université Paris X, 352 p.
- DESARTHE J. (2013) - *Le temps des saisons. Climat, évènements extrêmes et sociétés dans l'Ouest de la France*. Édit. Hermann, Paris, 237 p.
- DESARTHE J. (2014) - Ouragans et submersions dans les Antilles françaises (XVII^e - XX^e siècle). *Études Caribéennes*, vol. 29, 14 p., en ligne : <https://www.ccr.fr/documents/23509/29230/ouragans+et+submersions+dans+les+antilles.pdf/913577fe-c335-42b9-b920-d3382e1a7e06>.
- DIRECTIVE 2007/60/CE (2007) - Directive du 23 octobre relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation. *Journal officiel de l'Union Européenne*, 8 p., en ligne : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32007L0060&from=EN>.
- DJAMENT-TRAN G. (2005) - Le débat sur Rome capitale. Géohistoire d'un choix de localisation. *Espace Géographique*, vol. 34, n° 4, p. 367-380.
- DJAMENT-TRAN G. (2009) - Urbi et Orbi : la trajectoire urbaine de Rome et les jeux d'échelles. *Espace Géographique*, vol. 38, n° 4, p. 303-316.
- DOSSE F. (2010) - *Renaissance de l'événement. Un défi pour l'historien : entre sphinx et phénix*. Édit. Presses Universitaires de France, Paris, 348 p.
- DUCLOS D. (1996) - Puissance et faiblesse du concept de risque. *L'Année Sociologique*, vol. 46, n° 2, p. 321.
- DUPONT N. (2012) - *Quand les cours d'eau débordent. Les inondations dans le bassin de la Vilaine du XVIII^e siècle à nos jours*. Édit. Presses Universitaires de Rennes, collection "Espaces et territoires", 267 p.
- DURAND-DASTÈS F. (1996) - La trace du temps. In : *Des oppida aux métropoles*, Archeomedes édit., Édit. Anthropos, Paris, p. 45-71.
- DUSSAUGE-PEISSER C., HELMSTETTER A., GRASSO J.R., HANTZ D., DESVARREUX P., JEANNIN M. et GIRAUD A. (2002) - Probabilistic approach to rock fall hazard assessment: potential of historical data analysis. *Natural Hazards and Earth System Science*, vol. 2, n° 1-2, p. 12-26.
- ECKERT N., PARENT E., NAAIM M. et RICHARD D. (2008) - Bayesian stochastic modelling for avalanche predetermination: from a general system framework to return period computations. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, vol. 22, n° 2, p. 185-206.
- FAVIER R. (2006) - Sociétés urbaines et culture du risque. Les inondations dans la France d'Ancien Régime. In : *Les cultures du risque (XVI^e-XXI^e siècle)*, F. WALTER, B. FANTINI et P. DELVAUX édit., Édit. Presses d'Histoire Suisse, Genève (Suisse), p. 49-86.
- FRANCHOMME M., SERVAIN-COURANT S. et SAJALOLI B., sous la direction de (2014) - De l'approche géohistorique à l'élaboration de nouveaux outils de sensibilisation et de prévention du risque inondation. *Développement Durable et Territoires*, numéro spécial :

- "Géohistoire des risques et des patrimoines naturels fluviaux", vol. 5, n° 3, en ligne : <http://journals.openedition.org/developpementdurable/10560>.
- GARCÍA-HERNÁNDEZ C., RUIZ-FERNÁNDEZ J., SÁNCHEZ-POSADA C., PEREIRA S., OLIVA M. et VIEIRA G. (2017) - Reforestation and land use change as drivers for a decrease of avalanche damage in mid-latitude mountains (NW Spain). *Global and Planetary Change*, vol. 153, p. 35-50.
- GARNIER E. (2007) - La ville face aux caprices du fleuve. L'exemple normand XVI^e -XVIII^e siècle. *Histoire Urbaine*, vol. 18 (2007/1), p. 41-60.
- GIACONA F. (2014) - *Géohistoire du risque d'avalanche dans le Massif vosgien. Réalité spatio-temporelle, cultures et représentations d'un risque méconnu*. Thèse de l'Université de Haute-Alsace, Mulhouse, 671 p.
- GIACONA F., ECKERT N. et MARTIN B. (2017) - A 240-year history of avalanche risk in the Vosges Mountains based on non-conventional (re)sources. *Natural Hazards and Earth System Science*, vol. 17, p. 887-904.
- GIACONA F., MARTIN B., FURST B., GLASER R., ECKERT N., HIMMELSBACH I., EDELBLUTTE C. et CHRISTIANY L. (2019) - Improving the understanding of flood risk in the Alsatian region by knowledge capitalization: the ORRION participative observatory. *Natural Hazards and Earth System Science*, vol. 19, p. 1653-1683.
- GLASER R. (2001) - *Klimageschichte Mitteleuropas : 1000 jahre wetter, klima, katastrophen*. Édit. Primus, Darmstadt (Allemagne), 227 p.
- GRAMOND D. (2014) - Géohistoire environnementale : contours sémantiques et conceptuels. Discussions sur les héritages et patrimoines reconnus aux zones humides fluviales. *Développement Durable et Territoires*, numéro spécial : "Géohistoire des risques et des patrimoines naturels fluviaux", vol. 5, n° 3, 11 p., en ligne : <http://journals.openedition.org/developpementdurable/10585>.
- GRANET-ABISSET A.M. (2012) - L'historien, les risques et l'environnement : un regard sur la nature et les hommes. In : *Risques environnementaux : détecter, comprendre, s'adapter*, Actes des 23^{èmes} Journées Scientifiques de l'Environnement (Créteil), 13 p., en ligne : <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00797134>.
- GRATALOUP C. (2003) - Gé(o)nération, géo-narration. *Géocarrefour*, vol. 78, n° 1, p. 19-23.
- GRATALOUP C. (2015) - *Introduction à la géohistoire*. Édit. Armand Colin, Paris, 221 p.
- GUERMOND Y. (2005) - Où en est l'analyse des systèmes en géographie ? *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, vol. 45, p. 5-13.
- GUZZETTI F., REICHENBACH P. et WIECZOREK G.F. (2003) - Rockfall hazard and risk assessment in the Yosemite Valley, California, USA. *Natural Hazards and Earth System Science*, vol. 3, n° 6, p. 491-503.
- HIMMELSBACH I., GLASER R., SCHONBEIN J., RIEMANN D. et MARTIN B., (2015) - Reconstruction of flood events based on documentary data and transnational flood risk analysis of the Upper Rhine and its French and German tributaries since AD 1480. *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 19, n° 10, p. 4149-4164.
- HOUET T., HUBERT-MOY L., CORGNE S. et MARCHAND J.P. (2008) - Approche systémique du fonctionnement d'un territoire agricole bocager. *Espace Géographique*, vol. 37, n° 3, p. 270-286.
- JACOBET J., GLASER R., LUTERBACHER J. et WANNER H. (2003) - Links between flood

- events in Central Europe since AD 1500 and large-scale atmospheric circulation modes. *Geophysical Research Letters*, vol. 30, n° 4, p. 1172-1175.
- JACOB-ROUSSEAU N. (2009) - Géohistoire/géo-histoire : quelles méthodes pour quel récit ? *Géocarrefour*, vol. 84, n° 4, p. 211-216.
- LAGANIER R. (2006) - *Territoires, inondation et figures du risque : la prévention au prisme de l'évaluation*. Édit. L'Harmattan, Paris, 257 p.
- LANG M., CŒUR D., LALLEMENT C. et NAULET R. (1998) - Valorisation de l'information historique pour la prédétermination du risque d'inondation : application au bassin du Guiers. *Ingénieries - EAT*, n° 16, p. 3-13.
- LATERNSER M. et PFISTER C. (1997) - Avalanches in Switzerland 1500-1990. In : *Rapid mass movement as a source of climate evidence for the Holocene*, J.A. MATTHEWS, D. BRUNSDEN, B. FRENZEL, B. GLÄSER et M.M. WEISS édit., Édit. Gustav Fischer, Stuttgart (Allemagne), p. 241-266.
- LÉVY J. et LUSSAULT M., sous la direction de (2003) - *Géohistoire. Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés*. Édit. Belin, Paris, 402 p.
- MARTIN B. (1996) - *Les aléas naturels à Vars (Hautes-Alpes, France) : le rôle des facteurs naturels et des facteurs anthropiques dans leur occurrence et leur évolution de 1800 à nos jours*. Thèse de l'Université Louis Pasteur, Strasbourg, 663 p.
- MARTIN B., HOLLEVILLE N., FURST B., GIACONA F., GLASER R., HIMMELSBACH I. et SCHONBEIN J. (2015) - La géohistoire des inondations au service de l'évaluation critique du zonage du Plan de Prévention des Risques d'Inondation : l'exemple de Thann (Haut-Rhin, France). *Belgé*, vol. 2015/1, en ligne : <http://journals.openedition.org/belgeo/15926>.
- MARTIN B., GIACONA F., FURST B., EDELBLUTTE C., HOLLEVILLE N., WITH L., HEITZ C., GLASER R., HIMMELSBACH I., SCHONBEIN J. et BOESMEIER A. (2017) - La variabilité spatio-temporelle des inondations dans le Fossé rhénan à la lumière de l'évolution de la vulnérabilité. *VertigO*, vol. 17, n° 1, en ligne : <http://vertigo.revues.org/18488>.
- MÉLO A., WILHELM B., GIGUET-COVEX C. et ARNAUD F. (2015) - Construire une chronique d'inondations : événements hydrologiques et histoire climatique dans le bassin de l'Arve (Alpes du Nord, France) entre les XVIII^e et XXI^e siècles. In : *L'homme et son environnement : des lacs, des montagnes et des rivières. Bulles d'archéologie offertes à André Marguet*, P.J. REY et A. DUMONT édit., Édit. "Revue Archéologique de l'Est", supplément n° 40, Dijon, p. 407-416.
- MESCHINET de RICHEMOND N. (1997) - *Les inondations catastrophiques sur la bordure montagnaise du Roussillon : dégâts et sinistrés*. Thèse de l'Université Paris X, 431 p.
- MESCHINET de RICHEMOND N. et REGHEZZA, M. (2010) - La gestion du risque en France : contre ou avec le territoire ? *Annales de Géographie*, vol. 3, n° 673, p. 248-267.
- NAULET R., LANG M., OUARDA T.B.M.J, CŒUR D., BOBEE B., RECKING A. et MOUSSAY D. (2005) - Flood frequency analysis on the Ardèche river using French documentary sources from the last two centuries. *Journal of Hydrology*, vol. 313, n° 1-2, p. 58-78.
- PARAYSTRE O., GAUME É. et ANDRIEU H. (2011) - Usefulness of historical information for flood frequency analyses: developments based on a case study. *Water Resources Research*, vol. 47, n° 8, n° W08511, 15 p.
- PARENT E. et BERNIER J. (2007) - *Le raisonnement bayésien, modélisation et inférence*. Édit. Springer, Paris, 380 p.

-
- PFISTER C., sous la direction de (1999) - *Wetternachhersage : 500 jahre klimavariationen und naturkatastrophen (1496-1995)*. Édit. Haupt, Berne (Suisse), 304 p.
- PODOLSKIY E.A., IZUMI K., SUCHKOV V.E. et ECKERT N. (2014) - Physical and societal statistics for a century of snow-avalanche hazards on Sakhalin and the Kuril Islands (1910-2010). *Journal of Glaciology*, vol. 60, n° 221, p. 409-430.
- PUMAIN D. (2003) - Une approche de la complexité en géographie. *Géocarrefour*, vol. 78, n° 1, p. 25-31.
- QUENET G. (2005) - L'économie de l'information sur les catastrophes de l'époque moderne. *In : Récits et représentations des catastrophes depuis l'Antiquité*, R. FAVIER et A.M. GRANET-ABISSET édit., Édit. Maison des Sciences de l'Homme - Alpes, Grenoble, p. 291-305.
- RAVANEL L. (2010) - *Caractérisation, facteurs et dynamiques des écroulements rocheux dans les parois à permafrost du massif du Mont Blanc*. Thèse de l'Université de Savoie, 322 p.
- STEDINGER J.R. et COHN T.A. (1986) - Flood frequency-analysis with historical and paleoflood information. *Water Resources Research*, vol. 22, n° 5, p. 785-793.
- WETTER O., PFISTER C., WEINGARTNER R., LUTERBACHER J., REIST T. et TRÖSCH J. (2011) - The largest floods in the High Rhine basin since 1268 assessed from documentary and instrumental evidence. *Hydrological Sciences Journal*, vol. 56, n° 5, p. 733-758.
- WILHELM B., BALLESTEROS CANOVAS J.A., CORELLA AZNAR J.P., KÄMPF L., SWIERCZYNSKI T., STOFFEL M., STOREN E. et TOONEN W. (2018) - Recent advances in paleoflood hydrology: From new archives to data compilation and analysis. *Water Security*, vol. 3, p. 1-8.