

Analyse diachronique de la vulnérabilité par l'évaluation des dommages potentiels : quels enjeux dans le temps ?

Carine Heitz, Julien Brun, Anne Rozan et Brice Martin

Volume 18, numéro 3, décembre 2018

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/1065314ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Université du Québec à Montréal
Éditions en environnement VertigO

ISSN

1492-8442 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Heitz, C., Brun, J., Rozan, A. & Martin, B. (2018). Analyse diachronique de la vulnérabilité par l'évaluation des dommages potentiels : quels enjeux dans le temps ? *VertigO*, 18(3).

Résumé de l'article

Située le long de la Liepvette, une rivière torrentielle des Vosges moyennes, la ville de Lièpvre (Alsace, France) a subi un intense développement urbain en zone inondable depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale. En l'absence de dispositifs de protection suffisants, cela s'est traduit par une augmentation significative du risque, liée, surtout, à une augmentation de la vulnérabilité. Pour quantifier cette dernière, nous nous sommes appuyés sur une méthode innovante qui allie approche géohistorique (collecte d'informations dans les archives, reconstruction cartographique des enjeux passés) et modélisation des crues dans des conditions hydrauliques antérieures. Ce travail, réalisé dans le cadre du programme franco-allemand ANR-DFG TRANSRISK 2, a permis d'évaluer le risque en termes économiques, condition nécessaire pour hiérarchiser les différents paramètres du risque et analyser son évolution dans le temps et dans l'espace.

Tous droits réservés © Université du Québec à Montréal et Éditions en environnement VertigO, 2018



Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter en ligne.

<https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/>

Cet article est diffusé et préservé par Érudit.

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche.

<https://www.erudit.org/fr/>

Analyse diachronique de la vulnérabilité par l'évaluation des dommages potentiels : quels enjeux dans le temps ?

Carine Heitz , Julien Brun , Anne Rozan et Brice Martin

Introduction

- 1 La vulnérabilité d'un espace exposé à un risque évolue en fonction de l'aléa et des enjeux (Hufschmidt et al., 2005) et se caractérise, de fait, par une certaine « dynamique » (Scarwell et Laganier, 2004). Pour les inondations, l'augmentation concomitante de l'aléa et de la vulnérabilité fait fréquemment suite à des changements de comportements des cours d'eau dus à l'évolution climatique et aux modifications morphologiques naturelles ou anthropiques du bassin, aux changements dans l'occupation du sol (Meyer et Turner, 1994 ; Mitchell, 2003 ; Rotmans et al, 1994) et à l'accélération depuis le XXe siècle de l'urbanisation d'espaces inondables. Cependant, un réel paradoxe perdure dans la gestion des inondations : malgré l'existence de nombreuses données précises sur les processus (White et al., 2001), de protection quasi-systématique des zones exposées par des aménagements techniques et de retours d'expérience sur l'efficacité de ces mesures, les conséquences des inondations semblent s'aggraver (Barredo, 2009 ; Pielke et Downton, 2000 ; Swiss Re, 2011, 2012 ; Trocherie et al., 2004 ; White et al., 2001). Ce constat n'est pas nouveau. Au début des années 1940, Gilbert White (1940) s'interroge sur la rationalité de la gestion des risques d'inondation et plus particulièrement sur les liens entre l'évolution du risque, la mise en place de systèmes de protection et le développement de zones inondables constatant que le risque d'inondation augmente en dépit de l'accroissement des mesures structurelles de protection. Dans le même esprit, White (1958) et plus récemment Montz et Grunfest (1986) montrent que pour la période 1936-1985, aux États-Unis, malgré une forte croissance des dépenses de protection face aux inondations, les

dommages subis deviennent de plus en plus importants. Les auteurs expliquent alors cela par une urbanisation grandissante dans les zones inondables qui expose de plus en plus d'individus au risque. Il s'agit par ailleurs d'une situation décrite par Martin et al. (2010) dans la plaine du Rhin (en France) au XIXe siècle.

- 2 L'urbanisation s'accroît, les types d'infrastructures et de bâtiments évoluent dans le temps, mais n'existe-t-il pas d'autres facteurs qui entrent en jeu dans l'augmentation de la vulnérabilité face aux inondations ? Et dans celle du coût des catastrophes mis en évidence par les sociétés de réassurances (Swiss Re 2011, 2012) ? À ce sujet, Barredo (2009) suggère que l'augmentation des dommages est liée à des facteurs d'ordre socio-économiques, témoins de l'accroissement de la population et de l'accumulation de richesses. D'autres auteurs (D'Ercole et Pigeon, 1999 ; Meur-Férec et Morel, 2004) mettent en avant les mécanismes de protection existants qui aboutissent à l'exposition d'un nombre d'individus de plus en plus important. Pour certains (Becerra et al., 2013 ; November et al., 2008), la présence de dispositifs de protection influence la représentation des individus de leur degré d'exposition (par un effet psychologique qui va consister à dénier le risque ou sous-estimer les probabilités d'occurrence, par exemple). La littérature anglo-saxonne parle également du « levee effect » ou « effet digue » : la digue est souvent considérée par les riverains comme un rempart infailible contre les inondations (Parker, 1995 ; Tobin, 1995). Un exemple de cet « effet digue » est donné par Ludy et Kondolf (2012) qui montrent l'absence de conscience du risque pour une population installée à l'arrière d'un aménagement offrant une protection contre un événement centennal. Pour Scarwell et Laganier (2004, p. 65), il existe une « spirale du risque » : « la construction d'ouvrages de protection comme les travaux de curage conduisent progressivement les populations qui se croient protégées, à occuper de nouvelles terres dans les vallées inondables en arrière des digues et en aval des barrages ou retenues collinaires jouant un rôle d'écrêteur de crues. À l'occasion d'événements exceptionnels ou par manque d'entretien des aménagements, le système protecteur ne joue plus son rôle ; les digues cèdent et inondent alors des zones désormais très vulnérables ».
- 3 Aux États-Unis, les études menées suite à l'ouragan Katrina pointent les logiques d'aménagement du territoire basées sur l'édification de digues permettant de rendre constructibles des zones jusqu'alors soumises à un fort aléa (Mancebo, 2006 ; Nelson et al., 2006). Burby (2006) parle ainsi du « Safe Development Paradox » : en voulant sécuriser un territoire pour le développer, les autorités américaines ont créé de toutes pièces les conditions d'une catastrophe. Ce paradoxe se retrouve en France, dans le cas de la ville de Mulhouse (Alsace). Pour accompagner les politiques d'industrialisation de la ville, un canal de décharge de l'ill a été construit au milieu du XIXe siècle. Cela a entraîné une croissance de l'urbanisation en zone inondable. Cette protection s'est révélée insuffisante et s'est traduite par une aggravation des conséquences des inondations en ville, à l'inverse du reste du bassin de l'ill. Le canal de décharge a alors été rectifié à plusieurs reprises, et ce jusqu'à l'obtention d'un ouvrage efficace pour protéger les zones urbanisées en croissance continue (Martin et al., 2010).
- 4 Pour décrire l'évolution de ces systèmes, Parker (1995) utilise le terme d'escalade, définissant ainsi l'évolution du niveau de protection structurelle. Chaque mise en place d'une nouvelle protection contre les inondations est suivie d'une phase de développement urbain sur les espaces gagnés sur la rivière, censés être protégés. Après une période de stagnation, une phase de protection supplémentaire trouve sa justification

(souvent économique) dans l'augmentation des enjeux en zones protégées. Et ce cycle se répète dans le temps et dans l'espace. Dans cette optique, après une analyse géohistorique détaillée du développement de la municipalité de Scionzier dans la vallée de l'Arve en Savoie, López-Peláez et Pigeon (2011) mettent en évidence ce phénomène, parlant de « co-évolution » entre les mesures de protection structurelles et l'urbanisation. Ils mettent en avant le fait que ces aménagements sont à chaque fois une nécessité pour protéger les enjeux existants, mais servent aussi à motiver les développements futurs. Ces mêmes conclusions se retrouvent dans l'étude de Fuchs et al. (2016) dans les Alpes suisses et autrichiennes ou dans des travaux sur des terrains français par exemple (Combe, 2007 ; Defossez, 2009 ; Vinet, 2007).

- 5 Pour mesurer et évaluer les relations entre l'urbanisation et la protection structurelle, notamment en termes de coût-bénéfice, il est possible d'utiliser l'évaluation des dommages potentiels des inondations qui consiste en un outil de quantification économique (Merz et al., 2010). Cette méthode est intéressante à plusieurs titres : elle permet de mesurer l'évolution de la vulnérabilité structurelle¹ dans le temps et de la quantifier monétairement. Elle offre également la possibilité de s'extraire des biais induits par le recensement, parfois lacunaire, des dommages constatés (ou réels). En effet, cette mesure monétaire permet de comparer des scénarii de dommages potentiels dans le temps et dans des configurations urbaines différentes (par lissage des valeurs singulières). Cependant, dans la littérature, cette méthode est peu utilisée dans une démarche rétrospective (Cammerer et Thieken, 2013). Or, il paraît pertinent de l'adapter en ce sens afin de voir si son utilisation permet de mettre en avant des dommages potentiels de façon diachronique.
- 6 L'hypothèse testée ici est la suivante : il existe une relation entre la protection, l'urbanisation et la vulnérabilité des territoires face aux inondations. Pour qualifier cette relation dans le temps, il est intéressant d'utiliser la méthode de l'évaluation des dommages potentiels sur une longue période en l'adaptant à un cas d'étude particulier. Ainsi, ce travail se propose d'établir une reconstitution historique de la vulnérabilité en comparant les dommages potentiels à différents pas de temps avec pour objectif de mettre en relation l'évolution de cette vulnérabilité avec les aménagements des cours d'eau et les dynamiques d'occupation du territoire. Seule la vulnérabilité liée aux bâtis et aux industries sont prises en compte dans cette étude : il s'agit des enjeux principaux présents dans ce cas d'étude
- 7 Dans une première partie, un rapide état de l'art relatif aux méthodes de calculs des dommages utilisées en économie sera dressé. Dans une deuxième partie, le cas d'études (Lièpvre et sa vallée) sera exposé. Puis la méthode d'évaluation des dommages potentiels mise en place sera présentée (partie 3), avant d'essayer de qualifier la relation entre urbanisation, aménagements techniques et dommages potentiels moyens dans le temps (partie 4). Enfin, l'intérêt, les limites et les perspectives offertes par la méthodologie utilisée seront discutés (partie 5).

État de l'art et positionnement conceptuel de notre recherche

- 8 L'évaluation *a priori* des dommages potentiels des inondations est une approche bien connue et pratiquée : les autorités de nombreux pays lui ont manifesté un intérêt depuis

plus de 50 ans. Par exemple, en France, la notion de dommages potentiels moyens annuels (DPMA) émerge avec le développement des analyses coût-bénéfice (ACB), dans un contexte où il devient nécessaire de comparer les coûts et les bénéfices des mesures de protection contre les inondations (Hubert et Ledoux, 1999). Par l'intermédiaire de la production de scénarii, il est possible de déterminer la rentabilité économique de projets de protection face au risque. Pour cela, la méthode ACB permet :

- de calculer la différence des dommages potentiels avant et après projet, avec le coût du projet en lui-même,
- de confronter différentes options possibles,
- de prioriser les actions à mener (CEPRI, 2011 ; Erdlenbruch et al., 2008).

- 9 Alors que la littérature abonde sur cette évaluation *a priori* des risques (Hammond et al., 2014 ; Hubert et Ledoux, 1999 ; Jongman et al., 2012 ; Merz et al., 2010), un nombre limité de travaux porte sur l'analyse rétrospective des dommages potentiels. Ainsi, Cammerer et Thielen (2013) proposent une quantification de l'évolution de la vulnérabilité par une analyse rétrospective ou des projections par construction de scénarii d'occupation du sol et d'évolution de l'aléa. Leur analyse est essentiellement centrée sur les risques d'inondations et d'avalanches qui présentent une méthodologie de calcul de dommages comparable (Tableau 1). Ces études sont toutefois susceptibles de montrer des imprécisions en cascades dues notamment aux échelles adoptées (échelles régionales ou nationales - Eleuterio, 2012). Fuchs et Bründl (2005) analysent le risque d'avalanche à l'échelle communale avec un unique point de vue historique et apportent un niveau de détail supérieur aux études précédemment citées. Zischg (2016) présente un travail historique sur l'évolution de la vulnérabilité à très long terme dans la vallée de l'Aare (Suisse), mais sans aller jusqu'à la quantification des dommages économiques. Sur une période de 200 ans, l'auteur se focalise sur l'influence des transformations anthropiques et de l'occupation du sol sur le nombre de bâtiments vulnérables. Ce travail, à l'instar d'études semblables, conclut à une augmentation nette des dommages potentiels attribuée majoritairement à l'urbanisation.

Tableau 1. Revue de la littérature sur les variations temporelles des dommages potentiels des inondations et des avalanches en fonction de données historiques et de scénarii / State of the art of the time variations of potential damages due to floods and avalanches depending on scenarios and historical data

Aléa	Auteurs	Période étudiée	Lieu	Échelle
Avalanches	Cammerer et Thielen (2013) ; Cammerer et al. (2013)	1971-2030 (historique et scénarii)	Tyrol (Autriche)	Régionale
Avalanches	Fuchs et Bründl (2005)	1950-2000 (historique)	Davos (Suisse)	Communale
Inondations	Beckers et al. (2013)	2009-2100 (scénarii)	Bassin de la Meuse	Régionale
Inondations	Elmer et al. (2012)	1990-2020 (historique et scénarii)	Bas du bassin de la Mulde (Allemagne)	Régionale

Inondations	Te Linde et al. (2011)	2000-2030 (scénarii)	Bassin du Rhin	Régionale
Inondations	de Moel et al. (2011)	1900-2100 (historique et scénarii)	Pays-Bas	Nationale
Inondations	Hall et al. (2003)	2002-2080 (scénarii)	Angleterre	Nationale

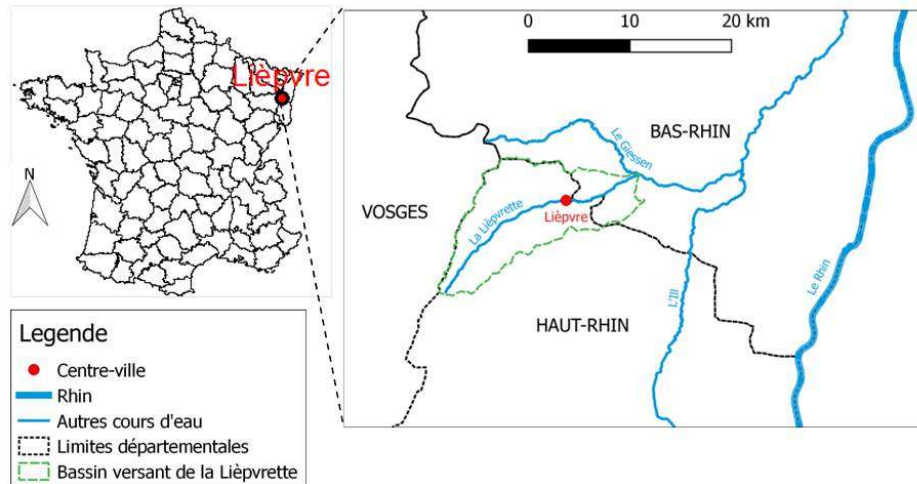
- 10 Pour cette étude, une méthode d'évaluation rétrospective de la vulnérabilité structurelle face aux inondations est mise en œuvre. Il s'agit ici de coupler les méthodes utilisées aujourd'hui pour quantifier le risque avec un travail de recherche sur la géohistoire des inondations et de leur gestion sur un terrain particulier : la commune de Lièpvre. Garamond (2014, p. 3) définit la géohistoire comme une discipline qui « *s'intéresse au temps - au singulier - c'est-à-dire à l'histoire, au récit, mais aussi, et c'est ce qui fait sa spécificité, aux durées - au pluriel - dans la mesure où elle a pour objectif de mettre en évidence les permanences et inerties des dynamiques commandées par les formes spatiales et ainsi de comprendre le - voire les - passé(s)* ». Ainsi, cette démarche géohistorique appliquée aux risques est vue comme une source de données utiles pour construire le modèle de dommages (évolution dans le temps et dans l'espace de l'occupation du sol, des activités économiques, des modifications anthropiques des cours d'eau) et comme une trame d'explication des variations temporelles de la vulnérabilité. À ce propos, Garamond (2014, p. 3) ajoute que « *ces archives apportent des informations clés sur les tendances (stationnaires ou non), les phénomènes répétitifs, mais aussi aléatoires qui, une fois réunis, permettent de dessiner les contours de ce que l'on peut nommer « l'enveloppe des variabilités historiques* ». S'inspirant des travaux de Fuchs et Bründl (2005) sur les avalanches et des travaux historiques de Freudenburg et al. (2008), le modèle temporel de dommages construit dans cette présente étude vise à atteindre un niveau de détail plus fin, et cela à des pas de temps rapprochés. Il est fondé sur un travail considérable de collectes et de traitement de données d'archives.

Lièpvre et sa vallée : une forte exposition aux inondations et des enjeux importants

- 11 Pour illustrer nos propos, le cas de la commune de Lièpvre (1 715 habitants - INSEE, 2015), située dans la vallée de la Lièpvrette, à la frontière entre les limites administratives du Haut-Rhin et du Bas-Rhin (Alsace, France - Figure 1) est étudié. Lièpvre est traversée par la Lièpvrette et son affluent le Rombach, cours d'eau à caractère torrentiel. Une partie significative des espaces urbanisés de la commune se situe dans le lit majeur de la Lièpvrette, entraînant d'importants dégâts lors d'inondations. En effet, il s'agit d'une des vallées alsaciennes les plus exposées au risque d'inondation selon la base de données des inondations historiques ORRION² (Martin et al., 2015 ; Himmelsbach et al., 2015 ; Himmelsbach, 2013). La ville a subi des inondations importantes en 1872, 1876, 1882, 1896, 1910, 1919, 1920, 1933, 1947, 1990. Si dans un premier temps, ces événements ont fortement impacté le développement de l'industrie textile, la désindustrialisation au cours du XXe siècle a laissé place à de nombreuses friches industrielles. Leur reconversion

s'est traduite par l'émergence de zones d'activités nouvelles dans les secteurs autrefois inondés. Ces changements dans l'occupation du sol ont alors modifié les enjeux et la vulnérabilité.

Figure 1. Localisation de Lièpvre en France et dans le bassin versant du Giessen-Lièpvrette / Localisation of Lièpvre in France and in the Lièpvrette catchment



- 12 En raison de sa situation frontalière, la vallée de la Lièpvrette a toujours été un peu « oubliée » par les pouvoirs publics, notamment en matière de prévention des risques. Les responsabilités en termes d'aménagement et de gestion du risque d'inondation ont oscillé entre les services déconcentrés de l'État et le Conseil Général du Haut-Rhin et les interlocuteurs ont souvent changé : le syndicat intercommunal à vocations multiples (SIVOM) de la vallée de Sainte-Marie-aux-Mines entre 1965-1990 est devenu le District du Val d'Argent (1991-2000), puis la Communauté de Communes du Val d'Argent depuis 2001. Aujourd'hui, la vallée de la Lièpvrette bénéficie d'un intérêt nouveau puisqu'un schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE) a été signé en 2016, un plan de prévention des risques d'inondation (PPRI) est en cours d'instruction et un programme d'action de prévention contre les inondations (PAPI) est initié depuis 2015.
- 13 Afin de pouvoir mesurer les dommages potentiels de manière diachronique, la première étape est de recenser de l'information relative à Lièpvre et à son histoire, notamment celle liée aux inondations, aux Archives départementales du Haut-Rhin et du Bas-Rhin, à la Société d'Histoire du Val de Lièpvre et à la mairie de la commune. Malgré l'importance des inondations qui ont frappé la vallée de la Lièpvrette, les informations qui leur sont associées restent lacunaires en raison de l'histoire tourmentée de l'Alsace et de l'accès limité aux sources (pertes, oublis, changement de langue au cours de l'Histoire). Toutefois, les nouvelles données acquises sur les inondations historiques enrichissent la base de données ORRION et sont structurées afin de faciliter leur intégration dans les modèles hydrauliques et les fonctions de dommages établis dans ce travail. Des

informations relatives à l'occupation du sol et à son évolution, à l'histoire industrielle de la vallée, à l'histoire des aménagements mis en place pour protéger la commune face aux inondations ont également été collectées. Les archives sont analysées manuellement dans un premier temps : il s'agit de lire toutes les informations qu'elles contiennent, de les valider par triangulation puis de les structurer dans une base de données. Par l'utilisation de requêtes, certaines informations contenues dans les archives et qui sont constitutives des données intégrées dans les modèles (données chiffrées sur les hauteurs d'eau, données calculées d'enveloppe de crues...) sont identifiées. La bonne qualité des données est un pré requis essentiel pour une modélisation *ad hoc*. Cette condition est remplie pour la période 1946-2015 expliquant les bornes temporelles de ce travail. Pour les événements s'étant produits avant la Seconde Guerre mondiale, trop de données manquent : il a été impossible de collecter des données fiables et suffisantes sur les changements dans l'occupation des sols, l'extension des inondations et le débit de pointe, par exemple. Malheureusement sur la période retenue, seules deux inondations importantes sont survenues (1947 et 1990). Bien que peu nombreux, ces événements récents sont très bien documentés (Tableau 2) et sont responsables de nombreux dommages aux réseaux (Figure 2) et d'inondations récurrentes des zones habitées et de la zone industrielle de Bois l'Abbesse (en aval de Lièpvre), avec des hauteurs d'eau dépassant les 2 m. (Fluvial.IS, 2011).

Tableau 2. Crues connues supérieures à la décennale à Lièpvre au cours du XXe et du XXIe siècle.
Note : il n'existe pas de mesures pour 1947 / Ten-years floods in Lièpvre during the XXe and XXIe century. Nota : There is no data for 1947

Date	Débit à Lièpvre	Période de retours
Décembre 1947 *	54,5	14 ans
Avril 1983	56,6	15 ans
Février 1990	79,9	73 ans
Décembre 1991	60,9	19 ans

Source : adapté à partir de Hydratec (2015) sauf * évalué à partir de Rothé et Jung (1952) / Adapted from Hydratec (2015) excepted * from Rothé and Jung (1952).

Figure 2. Route emportée par la Lièpvrette en amont de Lièpvre, lors des inondations d'avril 1983 / Damages on the road in Lièpvre (upstream the Lièpvrette catchment) during the floods that occurred in April 1983.



Sources : extrait du journal l'Alsace, 12 avril 1983 / L'Alsace, April, 12th 1983.

- 14 Sur ce point, notons également que la dimension historique de cette étude limite à l'évaluation des dommages tangibles directs, en particulier les dommages physiques aux bâtis et à leurs contenus. Les dommages directs et indirects sur les réseaux, sur l'activité agricole ou les populations n'ont pas été pris en compte pour plusieurs raisons. Tout d'abord, concernant les dommages aux réseaux, la littérature fait état de peu de cas d'études : seul Eleuterio (2012) explicite la démarche pour ces calculs. Face à la complexité des données à collecter et de l'imprécision de certaines d'entre elles dans le cas de Lièpvre (archives peu ou mal conservées), ce paramètre n'a pas été pris en compte dans les fonctions de dommages. Concernant les dommages liés aux espaces agricoles, cette activité autrefois florissante, est désormais devenue marginale à Lièpvre (15 % de la surface totale de la commune – moins de 10 exploitants (INSEE, 2015)). Bien que cette activité fût importante après-guerre, l'évaluation des dommages aux cultures et au bétail suppose une fine connaissance des évolutions paysagères du territoire : cela n'est pas envisageable dans une approche diachronique, notamment en raison de la difficulté de localiser précisément les zones cultivées et les élevages. En effet, les recensements agricoles ne permettent pas de localiser précisément les différents types de couverts présents sur les parcelles. Les approximations liées à une identification *a posteriori* des couverts agricoles auraient rendu l'évaluation des dommages trop imprécise. La population n'est pas prise en compte, car les fonctions de dommages définies dans le modèle se focalisent sur la vulnérabilité structurelle. La méthode utilisée ne répond pas une analyse multicritères : une telle démarche supposerait de calibrer les fonctions de dommages avec des données individuelles, parfois lacunaires, et induirait d'importantes approximations de calculs (les dommages aux populations sont

difficilement quantifiables dans les temps longs). Ainsi, seule la vulnérabilité structurelle est retenue ici et se justifie également par une forte industrialisation de la vallée et la commune de Lièpvre : les dommages liés au bâti et à l'activité industrielle sont alors plus intéressants à analyser.

Le calcul des dommages potentiels historiques : définition et mise en application

- 15 Pour ce travail, le calcul des dommages potentiels des inondations dans sa dimension temporelle est une démarche innovante qui a nécessité le développement d'une méthodologie adaptée. Quantifier l'évolution des dommages potentiels consiste à calculer les dommages potentiels à différentes dates successives, selon les méthodes classiques de l'évaluation *a priori* des dommages (Hubert et Ledoux, 1999). La difficulté de l'exercice ne réside pas dans la dimension temporelle de la méthode, mais plutôt dans la collecte de données historiques qui permettront d'appliquer la méthode pour une date antérieure. Ainsi, la méthode de calcul des dommages potentiels créée ici est développée autour de 3 étapes majeures : (1) Modélisation fine des inondations, (2) Construction de cartes des enjeux passés et présents, (3) Quantification des dommages par l'application des fonctions de dommages.

Une modélisation fine des inondations pour qualifier l'aléa

- 16 Afin de permettre le calcul des dommages potentiels moyens, la description des aléas comprend la modélisation d'un large éventail de crues potentielles avec des périodes de retours différentes. Pour cette étude, des scénarii d'inondations ayant des périodes de retours de 10, 20, 50, 100, 200 et 500 ans (scénarii Q10, Q20, Q50, Q100, Q200 et Q500) ont été modélisés. La connaissance précise des enveloppes d'inondations est nécessaire pour identifier les zones d'enjeux présents actuellement et par le passé sur le territoire : il s'agit de répondre à la question de la qualification de ces enjeux pour pouvoir ensuite les quantifier dans le modèle.
- 17 Le modèle hydraulique élaboré est basé sur des données produites pour les besoins de la mise en place du PAPI Giessen-Liepvrette (Hydratec, 2015). Il a été conçu sous le logiciel HEC RAS en utilisant le domaine filaire et le domaine 2D. La construction des hydrogrammes de crue injectés dans le modèle provient d'une analyse hydrologique produite avec la méthode du GRADEX (Roche et al., 2012) adaptée pour les petits bassins versants à fort relief, avec un faible temps de concentration des précipitations, comme c'est le cas pour la Lièpvrette. Le modèle numérique de terrain (MNT) utilisé est issu des données LiDAR³ datant de 2007, dont la précision est de 50 cm pour l'horizontale et de 20 cm pour la verticale, et son usage pour les profils de fond de rivière est valide (Tingaud, 2011). Les résultats de la simulation sont en format raster d'une précision horizontale de 50 cm.
- 18 Après la caractérisation des crues dans la situation hydromorphologique actuelle, nous avons procédé à la modélisation d'états antérieurs en effaçant successivement les aménagements et les rectifications effectués sur le cours d'eau au cours de la période d'étude (1946-2015). Ces aménagements ont été recensés à partir des archives municipales et départementales et par dires d'experts⁴. La Lièpvrette n'a pas subi de

travaux structurants sur la période d'étude, seuls les ajustements aux abords immédiats de la zone d'étude ont été considérés. Les quelques rectifications qui ont été opérées sont synthétisées dans le tableau 3. Parmi l'ensemble des travaux effectués (et identifiés dans les archives), seules trois campagnes (1983, 1988 et 1993) ont pu être modélisées, car elles étaient suffisamment renseignées.

Tableau 3. Liste des travaux sur la Lièpvrette effectués dans la commune de Lièpvre entre 1946 et 2015 / Lièpvrette's planning done in the municipality of Lièpvre between 1946 and 2015.

	Date de réalisation	Nature des travaux
1	1967/68	Nature des travaux non identifiée
2	1973/74	Rectifications du lit
3	1975/76	Nature des travaux non identifiée
4	1983*	Rectification du lit
5	1988*	Rectification du lit
6	1993*	Réalisation de 2 seuils ; Remblaiement pour endiguer

* = modification intégrée au modèle / * = planning that have been integrated in the modelling.

L'occupation du sol : donnée essentielle pour appréhender la dynamique spatiale

- 19 Il s'agit d'établir une cartographie des enjeux présents sur la zone inondable prise en compte pour du calcul de dommages. Cette cartographie nécessite de définir une typologie puis de collecter les données relatives aux enjeux présents dans la zone d'étude. Des cartes d'enjeux par type de bâti sont constituées à partir des cartographies vectorielles actuelles du bâti (2013) fournies par la base de données BD TOPO de l'IGN. Les cartes d'enjeux de 1946 à 2002 sont progressivement dérivées des cartes topographiques anciennes, des cadastres anciens et des photographies aériennes par photo-interprétation (Tableau 4), selon la méthodologie de Robin et Gondeaux (2007). Les photographies aériennes représentent une source importante de données, car elles sont disponibles sur l'ensemble de la période considérée à des pas de temps très réguliers. La construction des cartes d'occupation des sols est réalisée par numérisation sous un système d'information géographique (SIG) en partant de la carte de 2015 jusqu'à la carte de 1946. Neuf couches d'occupation sont produites pour les années 1946, 1957, 1963, 1977, 1981, 1986, 1994, 2002 et 2015.

Tableau 4. Synthèse des données géographiques sources utilisées pour caractériser l'occupation du sol / Geographical data that have been used to define the land use planning.

Source	Auteurs [Années]	Données fournies
--------	------------------	------------------

BD TOPO	IGN [2013]	Emprise du bâti, typologie
BD PARCELLAIRE	IGN [2011]	Emprise du bâti, typologie
BD ADRESSES	IGN [2013]	Adresses
BD ORTHO	IGN [2002, 2011]	Emprise du bâti (photo aérienne)
BDOC	CIGAL [2000, 2008, 2011]	Typologie, occupation du sol
Photos aériennes (séries)	IGN [1951, 1956, 1961, 1963, 1975, 1977, 1980, 1981, 1985, 1986, 1988, 1991, 1992, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998]	Emprise du bâti
Cartes	IGN [1957, 1981, 2009, 2013]	Emprise du bâti
Cadastre	MRU [1946], Commune de Lièpvre [1984]	Emprise du bâti

- 20 Une typologie des enjeux est établie autour de trois catégories majeures : les logements, les entreprises privées, les équipements publics. Ce travail nécessite la construction d'un registre historique des activités économiques implantées dans la commune de Lièpvre. Pour cela, les données du tissu économique local actuel (INSEE, 2015) sont croisées avec celles des archives municipales et départementales. Cinq types d'informations sont collectés : la date de création de l'activité, sa date de cessation, son adresse postale, son activité principale exercée (ou code APE) codifiée selon la nomenclature d'activités française (NAF : Rév2, 2008) et son effectif salarial. Une fois les activités économiques et les établissements publics identifiés, le reste du bâti est considéré comme étant des logements privés.

Le calcul des dommages potentiels pour quantifier la vulnérabilité

- 21 Les deux premières étapes de ce travail sur les caractérisations de l'aléa et des enjeux constituent deux cartes à croiser pour obtenir les dommages potentiels. En effet, la quantification des dommages monétaires est agrégée et utilisée comme indicateur de l'évolution de la vulnérabilité dans le temps. Elle s'effectue, de fait, par l'intermédiaire de fonctions de dommages croisant les paramètres physiques de l'aléa avec les caractéristiques des enjeux.
- 22 Les fonctions de dommages doivent être ajustées le plus fidèlement possible à la réalité du terrain pour minimiser une potentielle incertitude sur les résultats finaux (Eleuterio, 2012). Le choix du modèle utilisé pour calculer les fonctions de dommages répond à des critères pragmatiques : il doit prendre en compte les données disponibles et celles à produire avec les moyens et le temps imparti (Hubert et Ledoux, 1999). Le modèle utilisé conditionne également les paramètres à considérer dans la description de l'aléa et des enjeux, ainsi que la typologie de l'occupation du sol. Il doit également être en adéquation

avec l'échelle de l'étude (Apel et al., 2009 ; Eleuterio et al., 2008). Le choix opéré ici suit une revue de littérature française et internationale⁵ et répond aux catégories d'enjeux à analyser (Tableau 5).

Tableau 5. Fonctions de dommages utilisées pour chaque catégorie d'enjeux / Damaged functions for each stakes.

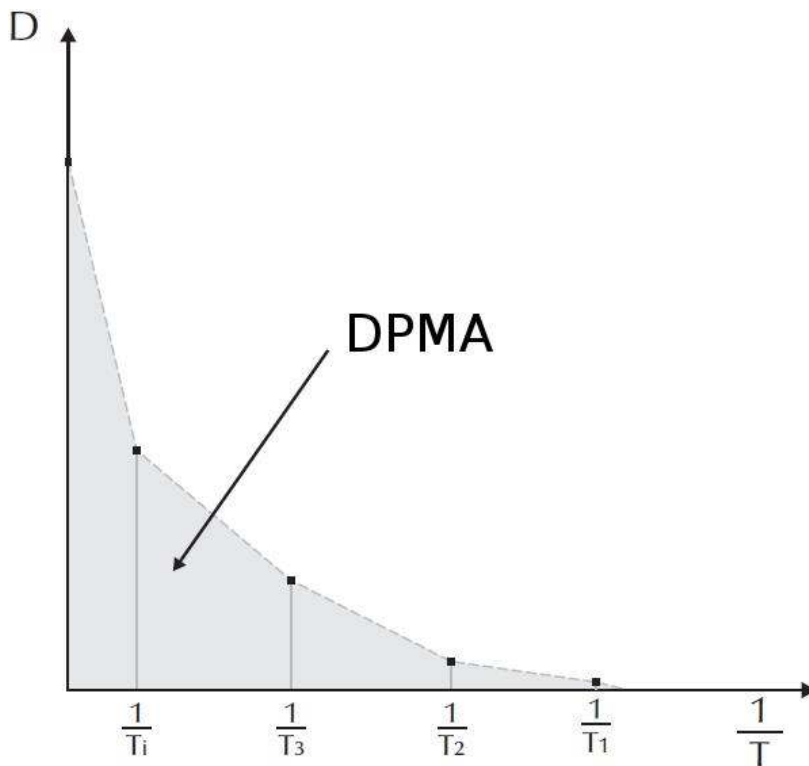
Catégories	Modèle	Type
Logement	Plan Rhône (Ledoux, 2010)	Relatives
Entreprises (non agricoles)	Standard Method (Pays-Bas) (Kok et al., 2004)	Relatives
Équipements publics	ANUFLOOD (Australie) (DERM, 2002)	Absolues

- 23 Les fonctions de dommages aux logements et aux entreprises sont des fonctions de dommage relatives (ou des fonctions d'endommagement) qui nécessitent une première estimation de la valeur totale des enjeux. Afin de ne pas surestimer ou sous-estimer cette valeur totale des enjeux, un coefficient d'endommagement (qui varie en fonction de l'exposition) pondère cette estimation. L'évaluation de la valeur des logements est basée sur l'actualisation de la valeur calculée par Eleuterio (2012) pour le Haut-Rhin et est basée sur l'évolution des prix du bâti ancien (Notaires de France, 2016). La valeur obtenue est un prix moyen du logement estimé à 501 €/m².
- 24 En ce qui concerne les entreprises, la fonction relative de dommages requiert l'évaluation des enjeux exposés par les entreprises. Dans un premier temps, une valeur type des enjeux est déterminée en distinguant les entreprises par leur code APE, selon la classification NAF (Rév. 2, 2008), à partir des statistiques nationales d'entreprises (soit la base de données Alisse (INSEE, 2013)). Cette valeur peut être calculée par salarié et par entreprise en considérant les données suivantes : la valeur du bâti de l'entreprise, la valeur des équipements et la valeur des stocks (Auffret et al., 2010). Dans un second temps et pour calculer l'enjeu exposé des entreprises de Lièpvre, la valeur des entreprises de Lièpvre est déterminée en fonction du nombre de salariés quand cette donnée existe ou à défaut par entreprise.
- 25 Une fois les dommages potentiels calculés pour chaque inondation potentielle, le DPMA est déterminé. Ce dernier est une somme des dommages pondérée par la probabilité d'occurrence des inondations. C'est la valeur annuelle espérée des dommages des inondations. On l'obtient grâce à la formule suivante :

$$DPMA = \int_{T=T_d}^{T=\infty} D(T)p(T)dT$$

- 26 Avec :
- 27 $D(T)$: coût pour l'événement de période de retour T
- 28 T_d : période de retour de l'événement débordant, c'est-à-dire la plus faible crue qui crée des dommages
- 29 Cela revient à calculer l'aire sous la courbe de dommages ($D(T)$ – Figure 3).

Figure 3. Représentation de la courbe de dommages / Damages curve.



Source : Modifiée de Erdlenbruch et al. (2008) / Adapted from Erdlenbruch et al. (2008.)

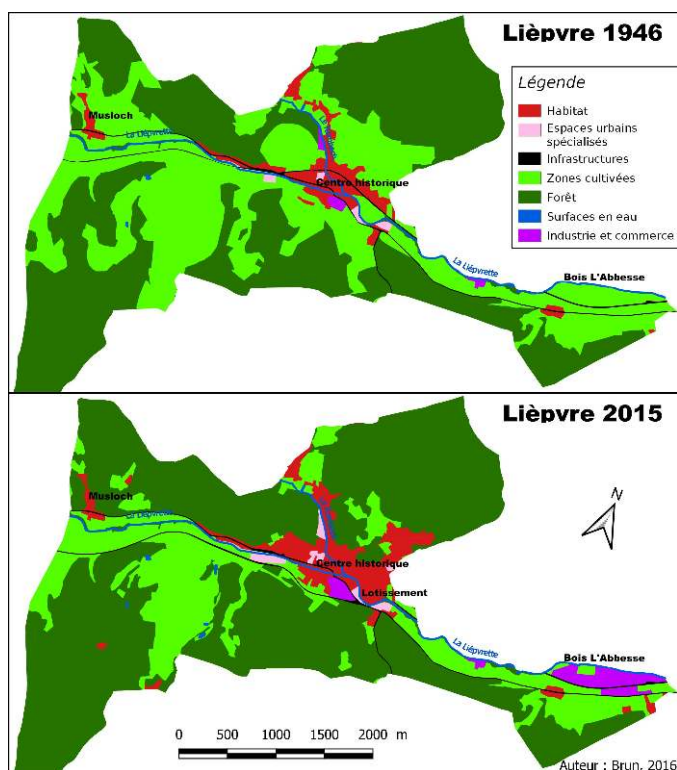
- 30 Toutes les valeurs monétaires s'expriment en € 2015 pour comparer l'ensemble des résultats sans ajouter d'effet d'inflation. La réactualisation des valeurs monétaires non énoncées en valeur € 2015 s'est effectuée grâce à l'indice des prix à la consommation.

Diachronie des dommages potentiels selon l'urbanisation et la vulnérabilité face aux inondations

L'urbanisation dans la commune de Lièpvre comme indicateur d'enjeux

- 31 En 1946, la couverture forestière représentait environ 60 % de la superficie totale de la commune de Lièpvre, contre 34 % pour les terres agricoles, 4 % pour l'habitat et 0,25 % pour l'industrie et le commerce. En 2015, avec les mutations de l'agriculture et la fermeture des paysages, la forêt progresse et représente aujourd'hui environ 68 % de la surface totale (Giacona, 2014). La surface agricole représente 22 % et les espaces urbanisés recouvrent 6,5 % de surface allouée. Les industries et les commerces couvrent 2 % (Figure 4).

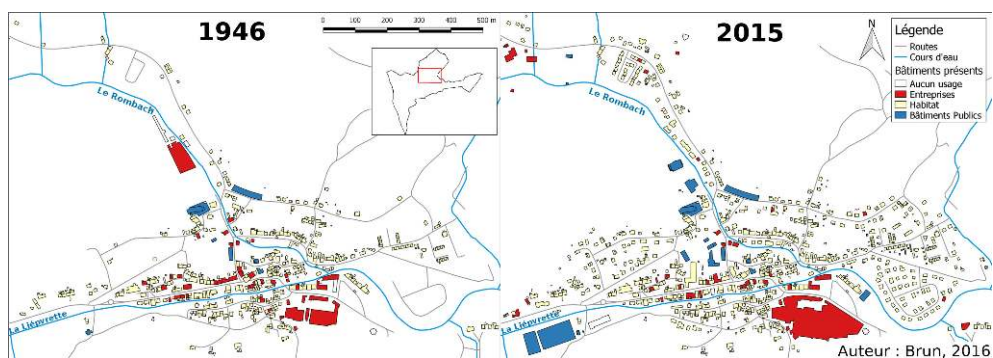
Figure 4. Évolution de l'occupation du sol entre 1946 et 2015 / Land use planning evolution between 1946-2015.



Sources : BdOCS2011/2012-CIGAL v2

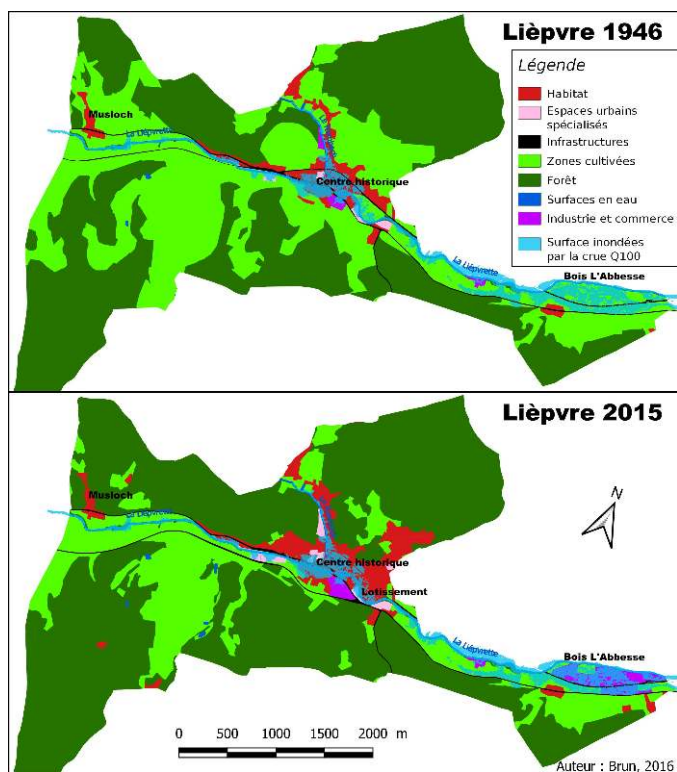
- 32 L'occupation du sol a de ce fait eu un impact important sur les enjeux recensés dans la commune de Lièpvre. Entre 1946 et 2015, les différences suivantes sont significatives : l'implantation de nouveaux lotissements et l'augmentation de l'aire urbaine (Figure 5) le développement de la zone industrielle de Bois l'Abbesse (non représentée sur la carte). En termes d'enjeux exposés, les zones sinistrées et les dommages associés ont également été fortement modifiés entre 1946 et 2015. À cet égard, la figure 6 identifie les zones inondées en cas d'une inondation forte (Q100) et les espaces touchés sur le territoire de la commune.

Figure 5. Cartes de l'évolution des enjeux au centre de Lièpvre en 1946 et en 2015 / Stakes'evolution in the city center of Lièpvre in 1946 and in 2015.



Source : Cartes de l'évolution des enjeux au centre de Lièpvre en 1946 : cartes anciennes, cadastres et photographies aérienne et en 2015 : BD TOPO de l'IGN.

Figure 6. Zones inondées (Q100) et occupation du sol entre 1946 et 2015 / Flooded areas (Q100) and land use planning between 1946 and 2015.

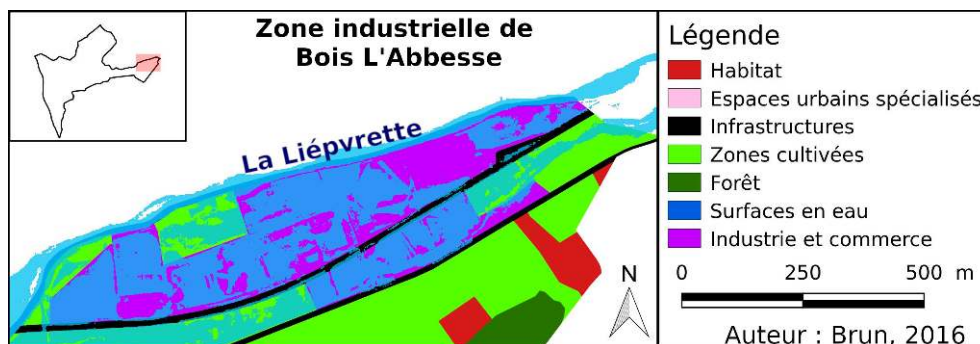


La zone industrielle de Bois l'Abbesse se trouve à l'extrémité Est de la commune / Industrial estate Bois l'Abbesse is located on the East part of the municipality.

Sources : BdOCS2011/2012-CIGAL v2.

- 33 Cartes de l'évolution des enjeux au centre de Lièpvre en 1946 (sources : cartes anciennes, cadastres et photographies aériennes) et en 2015 (sources : BD TOPO de l'IGN). Stakes' evolution in the city center of Lièpvre in 1946 (sources : historical maps, land registers, aerial photographs) and in 2015 (sources : BD TOPO from IGN)
- 34 Ces cartes montrent que la commune de Lièpvre est soumise à un fort aléa inondation. Actuellement, 18 % de la surface urbaine dédiée à l'habitat est localisée en zone inondable en cas d'une crue de référence Q100. Cette surface était de 12 ha en 1946, et a augmenté de 17 % du fait notamment du développement de plusieurs lotissements aux abords de la rivière. Cette logique de construction en zone inondable, et ce malgré la mise en œuvre depuis les années 1980 d'une réglementation désormais contraignante, est loin d'être un cas isolé en France (Laporte, 2009) et en Alsace (With, 2014 ; Martin et al., 2010).
- 35 Dans le même temps, l'implantation d'une importante zone industrielle dotée de nombreuses infrastructures en zone inondable entraîne une augmentation de la surface industrielle et commerciale inondée en cas de crue de référence (Q100) de 0,7 ha en 1946 à 13 ha en 2012 (soit 55 % du total de la surface aujourd'hui – Figure 7).

Figure 7. Zones inondées (Q100) dans la zone industrielle de Bois l'Abbesse en 2012 / Flooded areas (Q100) in the industrial estate Bois l'Abbesse in 2012.



Sources : BdOCS2011/2012-CIGAL v2.

- 36 À travers les documents d'archives, les différents travaux d'aménagement qui ont concerné la Lièpvrette ont pu être recensés. Il apparaît que leurs conséquences sur le comportement hydraulique des cours d'eau restent faibles en cas d'inondations. En effet, entre 1946 et aujourd'hui, les zones de débordement demeurent inchangées. Néanmoins, au niveau de la zone industrielle de Bois l'Abbesse, les zones inondées étaient légèrement plus importantes par le passé et il existe une différence de hauteurs d'eau entre 1946 et aujourd'hui (environ une dizaine de cm en moyenne en moins).

Une vision temporelle des conséquences des inondations : les données historiques face aux courbes de dommages

- 37 Les courbes de dommages fournissent des informations particulièrement intéressantes pour valider de manière chiffrée l'interprétation géohistorique de l'évolution du risque d'inondation. Dans le cas de la vallée de la Lièpvrette, la chronologie des inondations depuis le XIXe siècle montre une aggravation des inondations à la fin de ce siècle, liée en grande partie à l'installation d'établissements industriels (essentiellement textiles) à proximité du cours d'eau. Après les grandes inondations de 1910, 1919 et 1920, la vallée présente pendant les années 1930 un taux d'endommagement plus élevé que dans les autres vallées vosgiennes. Cette tendance semble d'ailleurs s'affirmer entre 1970 et nos jours (Grunenwald, 2015) et cela malgré la disparition des industries textiles. Une intensité plus forte, localement, de l'aléa inondation pourrait être invoquée, mais cette explication paraît difficilement plausible aux vues des caractéristiques spatiales des inondations dans les vallées vosgiennes et de l'atténuation probable de la réponse aux précipitations et à la fonte des neiges liée à l'augmentation du couvert forestier. Reste donc l'hypothèse d'une augmentation de la vulnérabilité en zone inondable, associée à une inefficacité d'un endiguement construit *a posteriori* des inondations : c'est le cas du lotissement de Lièpvre, de la zone industrielle de Bois l'Abbesse (Grunenwald, 2015). Or, que montrent la modélisation et les courbes de dommages ? L'inefficacité des aménagements et une aggravation du risque liée à l'augmentation des enjeux vulnérables en zone inondable, pour aboutir, *in fine*, à une augmentation du coût d'une inondation centennale. Ce résultat est intéressant, car depuis 1990 il ne s'est plus produit de crue significative dans ce secteur. Toutefois, il est connu que la mémoire du risque s'estompe vite (Brahim, 2010). Ainsi, cette petite vallée, un peu délaissée en termes de prévention s'avère peut-être l'une de plus exposée en cas d'inondation majeure. L'analyse

géohistorique le supposait clairement, la courbe de dommages le prouve à travers ses estimations chiffrées.

Les dommages potentiels moyens de 1946 à aujourd'hui : quelles évolutions ? Quelles conséquences ?

- 38 Les dommages potentiels liés aux inondations sont globalement en hausse (à partir de la crue de référence Q20 et sur toute la période) reflétant l'importance du développement territorial en zones inondables. L'augmentation des dommages potentiels est, de fait, très importante pour les inondations les plus violentes, à partir de Q50 (Tableau 6).

Tableau 6. Dommages potentiels historiques sur l'ensemble de la commune de Lièpvre. Matrice des résultats bruts / Historical potential damages on Lièpvre municipality. Matrix of row data.

Période de retour (Q)	10	20	50	100	200	500
Fréquence	0.1	0.05	0.02	0.01	0.005	0.002
	Dommages (€)					
1946	2 604	23 436	583 692	3 387 649	3 800 991	4 758 404
1957	2 604	23 436	579 003	2 326 256	2 656 527	3 423 364
1963	2 604	23 436	670 657	3 132 167	3 582 834	4 570 261
1977	2 604	58 102	1 081 442	4 577 860	5 190 537	6 459 004
1981	2 604	62 223	996 586	4 853 711	5 558 730	6 825 102
1986	2 604	58 102	673 081	5 507 944	6 211 894	7 800 877
1994	2 604	53 232	2 902 506	8 685 333	9 723 099	11 253 075
2002	2 604	53 232	6 991 274	13 571 212	14 634 592	16 523 715
2015	2 604	53 232	8 614 966	16 990 002	18 283 833	20 442 118

- 39 Ces augmentations se retrouvent dans le calcul des DPMA, avec une croissance générale de 532 % soit 2,7 % par an en moyenne. Cette hausse n'est pas constante : un point de rupture apparaît à partir de 1986. En effet, entre 1946 et 1986, les DPMA augmentent de 1,1 % par an, contre 4,9 % entre 1986 et 2015. Seule l'année 1957 est caractérisée par une baisse ponctuelle.
- 40 Les dommages aux entreprises représentent 56 % (1957) et 92 % (2015) des dommages recensés sur la commune (Tableau 7). C'est d'ailleurs cette catégorie de dommages qui explique largement la forme de l'évolution des DPMA. La ville bénéficie d'une intense activité industrielle liée au textile à partir du XIXe siècle, mais cette activité subit un fort déclin après-guerre de sorte qu'il n'existe plus de négociants en textile sur la commune de Lièpvre depuis le début des années 1980. La baisse de 1957 correspond à la fermeture

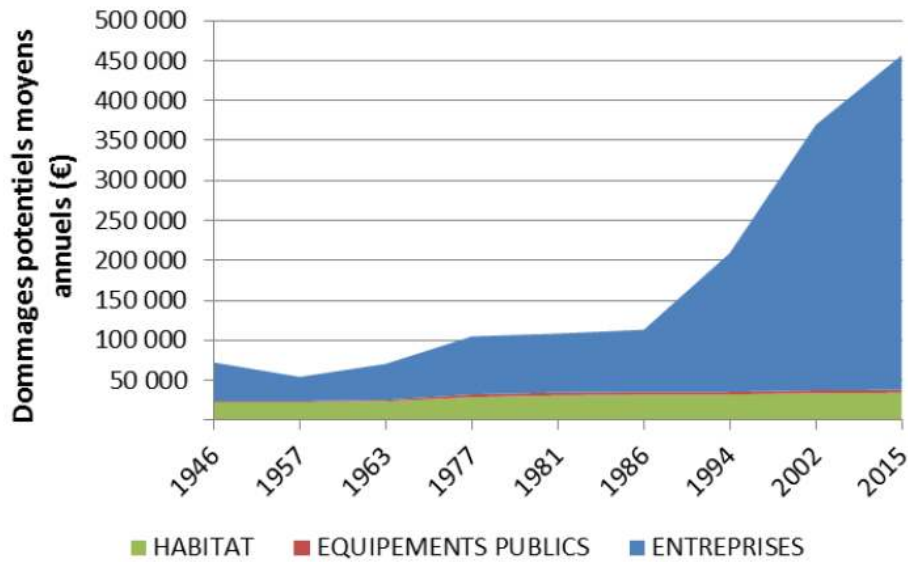
d'une usine textile majeure, dont le site est rapidement racheté par un autre industriel. La disparition progressive des dernières usines textiles est largement compensée par les activités créées dans une nouvelle zone industrielle à partir de 1976. Sur l'ensemble de la période, cela se traduit par une augmentation des dommages de 3,2 % par an en moyenne, mais 5,2 % à partir de 1986. Notons toutefois que ce n'est pas la seule installation de nouvelles entreprises qui a un effet sur les dommages : le développement des activités existantes alourdit par ailleurs les investissements et les dommages potentiels. De plus, il est intéressant de noter qu'entre 1963 et 1981, la croissance des DPMA est régulière et de plus de 1 % puis elle chute. La nouvelle législation relative à la déclaration au titre de catastrophes naturelles de 1982 aurait eu un effet sur les mesures à prendre afin de limiter les dommages. À cette période, la croissance économique générale de la vallée de la Lièpvrette était également en recul avec un impact sur les investissements effectués dans les entreprises faisant baisser les DPMA.

Tableau 7. Évolution des dommages potentiels moyens par catégorie sur la période d'étude / Evolution of the mean potential damages per classes on the time period 1946-2015.

Année	DPMA par catégorie (€ 2015)			DPMA Total (€ 2015)
	ENTREPRISES	HABITAT	BÂTIMENTS PUBLICS	
1946	48 517	22 491	1 313	72 321
1957	30 453	22 585	1 311	54 349
1963	45 257	23 724	1 539	70 519
1977	72 627	28 782	3 541	104 950
1981	73 776	31 136	3 511	108 424
1986	77 809	31 874	3 528	113 211
1994	173 636	32 189	3 464	209 289
2002	332 284	33 861	3 591	369 737
2015	418 807	34 416	3 600	456 823
<i>Hausse sur la période</i>	+763 %	+53 %	+174 %	+532 %
<i>Hausse annuelle</i>	+3,2 %	+0,6 %	+1,5 %	+2,7 %

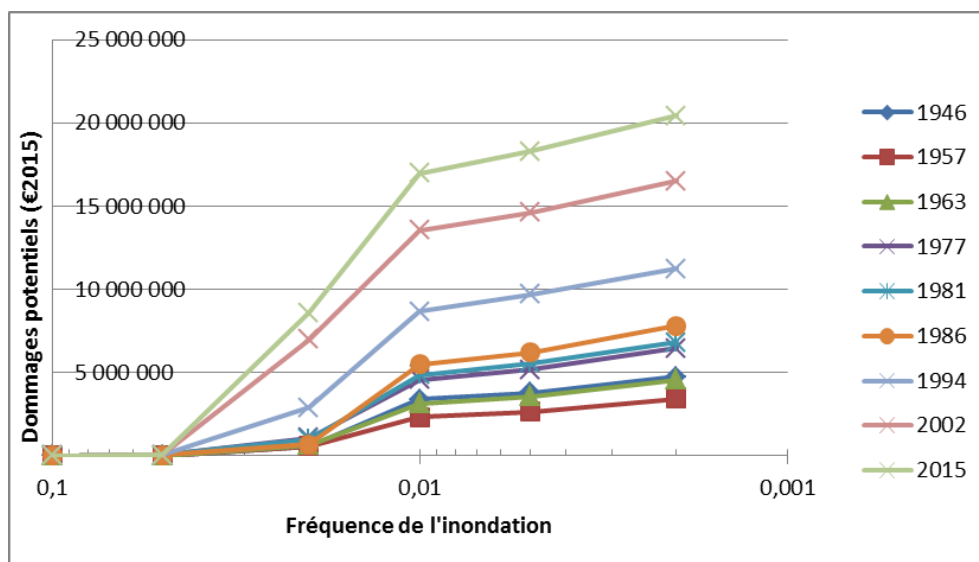
- 41 Les dommages aux logements représentent environ 31 % des dommages au début de la période. La courbe des dommages potentiels aux logements est en hausse régulière sur l'ensemble de la période et marque une certaine cohérence avec l'urbanisation continue des zones inondables sur la commune (Figure 8). Contrairement aux logements, les équipements publics représentent une part très faible des dommages, malgré une légère hausse dans le temps certainement liée à une augmentation depuis 1946 des services présents dans la commune.

Figure 8. Dommages potentiels moyens annuels par catégorie de bâti / Mean potential damages per built up classes.



- 42 Un certain nombre de travaux entrepris sur la Lièpvrette sont recensés en 1983, 1988 et 1993 dans l'objectif de diminuer les conséquences des inondations. Bien qu'ils aient participé à diminuer légèrement l'effet de l'aléa, l'impact sur les dommages reste négligeable : aucune baisse des dommages calculés n'est observable suite à la mise en œuvre des travaux (Figure 9). Les aménagements de protection n'ont pas forcément été suivis par de nouveaux développements urbains à Lièpvre. Néanmoins, la commune s'est fortement étendue, entraînant une augmentation des dommages potentiels. L'hypothèse de ce travail qui stipule que la vulnérabilité des territoires augmente dans le temps se vérifie pleinement à Lièpvre. Cependant, il est impossible d'imputer cette augmentation à une mise en place de mesures de protection sur la Lièpvrette.

Figure 9 : Évolution des dommages potentiels après la mise en place d'aménagement de protection sur la Lièpvrette (pour des inondations de référence) et selon l'augmentation de la zone urbaine / Evolution of the potential damages after the building of protection on the Lièpvrette correlated with the evolution of the urban area.



Discussion : la mesure des dommages potentiels dans le temps, une nouvelle façon de qualifier la vulnérabilité ?

- 43 Les résultats issus de ce travail permettent d'évaluer le risque en termes économiques, condition nécessaire pour hiérarchiser les différents paramètres du risque et analyser son évolution dans le temps et dans l'espace. Des éléments intéressants liés à cette méthode sont à discuter. Tout d'abord, en termes de limites, la méthode proposée ici ne permet de prendre en compte un type de vulnérabilité (structurelle) dans l'estimation des courbes de dommages potentiels suite à des épisodes d'inondation. Cette vision est très partielle et mériterait d'être enrichie par des mesures de vulnérabilités liées aux activités agricoles, aux populations, par exemple. De nouvelles méthodes d'identification de ces enjeux doivent être développées pour y répondre, en respectant l'usage d'archives historiques qui constituent la source de données principales de ces évolutions spatio-temporelles.
- 44 En effet, les sources d'archives constituent des données intéressantes à mobiliser pour qualifier la vulnérabilité dans le temps. La qualité des archives municipales a constitué un atout crucial pour caractériser de manière précise une grande partie des activités économiques de la ville et cela pour l'ensemble de la période étudiée. Cependant, il est nécessaire de rappeler que l'information collectée souffre parfois de certaines lacunes (par exemple, l'absence d'entrées à propos d'une entreprise, l'absence de renseignements permettant de la localiser ou l'absence d'informations quant à son activité). Dans notre cas, l'histoire de toutes les entreprises de surfaces importantes (notamment les usines et les entreprises), à l'origine même de la majeure partie des dommages potentiels, a cependant pu être reconstituée.

- 45 De plus, l'analyse approfondie des évolutions parallèles de l'aléa et de la vulnérabilité permet d'avoir une vision globale des zones d'enjeux présentes sur un territoire. La démarche est ici assez innovante : l'aléa (et sa variabilité temporelle) a été modélisé pour ensuite y associer des degrés de vulnérabilité variant eux aussi dans le temps. Cette nouvelle manière de prendre en compte de façon parallèle et diachronique le risque dans sa globalité a permis de mettre en avant que la vulnérabilité était bel et bien sujette à des variations temporelles (avec une tendance nette à la hausse).
- 46 Enfin, le calcul des dommages potentiels s'avère intéressant pour qualifier les évolutions du risque dans le temps. Dans notre cas d'étude, l'évolution des dommages potentiels sur le territoire de la ville de Lièpvre est essentiellement guidée par l'activité industrielle. Cette dernière est fortement exposée au risque par sa situation géographique et représente une proportion importante des activités de la commune. En effet, contrairement aux enjeux liés aux logements, dont la progression repose sur des dynamiques plutôt lentes, les enjeux économiques sont sujets à des variations ou des facteurs de développement importants. Il faut considérer, non seulement l'installation de nouvelles entreprises, mais aussi leur croissance [intrinsèque], accompagnée d'investissements productifs et de développements immobiliers. Tous ces éléments sont autant de facteurs d'augmentation des enjeux.
- 47 Cependant, d'autres éléments pourraient être pris en compte pour parfaire les courbes de dommages obtenues. L'occupation des sols, l'activité agricole et leurs évolutions spatio-temporelles peuvent générer des dommages importants. Cela n'a pas été entrepris dans cette étude, car cette prise en compte suppose des données de qualité et/ou de reconstruire certaines d'entre elles. Concernant les données agricoles, par exemple, il serait nécessaire de développer une méthode de reconnaissance des surfaces agricoles en place à des pas de temps réguliers et dans le temps (en utilisant des méthodes de télédétection ou par l'analyse des photographies aériennes anciennes). À l'heure actuelle, l'historique des données de surface n'existe pas : les recensements agricoles ne sont pas spatialisés et ne remontent pas très loin dans le temps. Pour éviter toute approximation dans la fonction de calcul ici développée, cette solution n'a pas été retenue ici, mais un travail complémentaire avec une telle perspective paraît pertinent.
- 48 Par l'analyse des dommages potentiels, nous pouvons aussi pointer le fait que les bénéfices des politiques publiques de maîtrise de l'occupation des zones inondables (ou du moins leurs mises en œuvre locales) restent limités. À titre d'exemple : deux événements aux conséquences majeures ont eu lieu sur la période concernée (1947 et 1990) et les dommages potentiels calculés pour ces deux événements restent très élevés. Cela induit que les politiques de planification territoriale et de prévention ne sont pas très efficaces et que le territoire ne montre pas une forte capacité de vivre avec le risque. À ce propos, l'une des perspectives intéressantes de ce travail est de questionner les représentations du risque d'inondation des industriels implantés dans la commune. L'objectif serait alors de mesurer si la présence de gros enjeux (qu'il nous est possible de quantifier grâce à la méthode d'évaluation des dommages) a un impact sur les représentations du risque.

Remerciements

- 49 Les auteurs remercient le projet ANR-DFG TRANSRISKS 2 pour le soutien financier apporté à ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

- Apel, H., G. T. Aronica, H. Kreibich et A. H. Thielen, 2009, Flood risk analyses—how detailed do we need to be ?, *Natural Hazards*, 1, pp. 79-98.
- Auffret, C., M. Dupont, F. Grelot, R. Morvan, A. Néron, C. Peinturier, B. Poupat, M. Renne et A. Soubieus-Bournot, 2010, *Analyse coût bénéfice : Annexes techniques*, CEPRI.
- Barredo, J. I., 2009, Normalised flood losses in Europe : 1970–2006, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 1, pp. 97-104.
- Becerra, S., A. Peltier, J. M. Antoine, D. Labat, J. Chorda, O. Ribolzi, F. Daupras et D. Dartus, 2013, Comprendre les comportements face à un risque modéré d'inondation. Etude de cas dans le périurbain toulousain (Sud-Ouest de la France), *Hydrological Sciences Journal*, 5, pp. 945-965.
- Beckers, A., B. Dewals, S. Epicum, S. Dujardin, S. Detrembleur, J. Teller, M. Piroton et P. Archambeau, 2013, Contribution of land use changes to future flood damage along the river Meuse in the Walloon region, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, pp. 2301-2318.
- Brahim, W., 2010, Mémoires, perceptions, représentations de la crue de février 1990 dans la vallée de la Lauch, Université de Mulhouse.
- Burby, R. J., 2006, Hurricane Katrina and the paradoxes of government disaster policy : Bringing about wise governmental decisions for hazardous areas, *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 1, pp. 171-191.
- Cammerer, H. et A. H. Thielen, 2013, Historical development and future outlook of the flood damage potential of residential areas in the Alpine Lech Valley (Austria) between 1971 and 2030, *Regional Environmental Change*, 5, pp. 999-1012.
- Cammerer, H., A. H. Thielen et P. H. Verburg, 2013, Spatio-temporal dynamics in the flood exposure due to land use changes in the Alpine Lech Valley in Tyrol (Austria), *Natural hazards*, 3, pp. 1243-1270.
- Centre européen de prévention des risques d'inondation (CEPRI), 2011, *L'ACB (analyse coût/bénéfice) : une aide à la décision au service de la gestion des inondations*, Les guides du CEPRI.
- 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 doctorat, Université de Lyon II.
- Defossez, S., 2009, Évaluation des mesures de gestion du risque inondation. Application au cas des basses plaines de l'Aude, Thèse de doctorat, Université Paul Valéry-Montpellier III.

- D'Ercole, R. et P. Pigeon, 1999, L'expertise internationale des risques dits naturels : intérêt géographique, *Annales de géographie*, 608, pp. 339-357.
- de Moel, H., J. C. J. H. Aerts et E. Koomen, 2011, Development of flood exposure in the Netherlands during the 20th and 21st century, *Global Environmental Change*, 2, pp. 620-627.
- Department of Environment and Resource Management (DERM), 2002, *Guidance on the Assessment of Tangible Flood Damages*, Natural Resources and Mine Department, Queensland Government, Brisbane, Australia.
- Eleuterio, J., S. Payraudau et A. Rozan, 2008. Sensibilité de l'évaluation des dommages associés aux inondations en fonction de la caractéristique de la vulnérabilité des bâtiments, *Ingenieries E.A.T.*, 55-56, pp. 29-44.
- Eleuterio, J., 2012, *Flood risk analysis : impact of uncertainty in hazard modelling and vulnerability assessments on damage estimations*, Thèse de doctorat, Université de Strasbourg.
- Elmer, F., J. Hoymann, D. Düthmann, S. Vorogushyn et H. Kreibich, 2012, Drivers of flood risk change in residential areas, *Natural Hazards and Earth System Science*, 5, pp. 1641-1657.
- Erdlenbruch, K., É. Gilbert, F. Grelot et C. Lescoulier, 2008, Une analyse coût-bénéfice spatialisée de la protection contre des inondations. Application de la méthode des dommages évités à la basse vallée de l'Orb, *Ingénieries-EAT*, 53, p. 3, p. 20.
- Fluvial.IS, 2011, *Cartographie des zones inondables du Giessen et de la Lièpvrette selon l'approche Hydrogéomorphologique*, Direction Départementale des Territoires du Bas-Rhin.
- Freudenburg, W. R., R. Gramling, S. Laska et K. T. Erikson, 2008, Organizing hazards, engineering disasters ? Improving the recognition of political-economic factors in the creation of disasters, *Social Forces*, 2, pp. 1015-1038.
- Fuchs, S. et M. Bründl, 2005, Damage potential and losses resulting from snow avalanches in settlements of the canton of Grisons, Switzerland, *Natural Hazards*, 1, pp. 53-69.
- Fuchs, S., V. Röthlisberger, T. Thaler, A. Zischg et M. Keiler, 2016, Natural hazard management from a coevolutionary perspective : Exposure and policy response in the European Alps, *Annals of the American Association of Geographers*, pp. 1-11.
- Gramond, D., 2014, Géohistoire environnementale : contours sémantiques et conceptuels. Discussions sur les héritages et patrimoines reconnus aux zones humides fluviales, *Développement durable et territoires*, 5, 3, 11 p.
- Giacona, F., 2014, Géohistoire du risque d'avalanche dans le Massif vosgien. Réalité spatio-temporelle, cultures et représentations d'un risque méconnu, Thèse de doctorat, Université de Mulhouse.
- Grunenwald, M., 2015, Analyse géo-historique des crues de la Lièpvrette, Thèse de doctorat, Université de Strasbourg.
- Hall, J. W., E. P. Evans, E. C. Penning-Rowsell, P. B. Sayers, C. R. Thorne et A. J. Saul, 2003, Quantified scenarios analysis of drivers and impacts of changing flood risk in England and Wales : 2030-2100, *Global Environmental Change Part B : Environmental Hazards*, 3, pp. 51-65.
- Hammond, M. J., A. S. Chen, S. Djordjević, D. Butler et O. Mark, 2014, Urban flood impact assessment : A state-of-the-art review, *Urban Water Journal*, 1, pp. 14-29.
- Himmelsbach, I., 2013, Erfahrung – Mentalität – Management. Hochwasser und Hochwasserschutz an den nicht-schiffbaren Flüssen im Ober-Elsass und am Oberrhein (1480-2007), Université de Freiburg, 456 p.

- Himmelsbach, I., R. Glaser, J. Schoenbein, D. Riemann et B. Martin, 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, *Hydrological Earth System Sciences*, 19, pp. 1–16.
- Hubert, G. et B. Ledoux, 1999, *Le Coût du risque... : l'évaluation des impacts socio-économiques des inondations*, Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 240 p.
- Hufschmidt, G., M. Crozier et T. Glade, 2005, Évolution of natural risk : research framework and perspectives, *Natural Hazards and Earth System Science*, 3, pp. 375-387.
- Hydratec, 2015, *Etude de l'aléa inondation dans le bassin versant du Giessen*, Direction Départementale des Territoires du Bas-Rhin.
- Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE), 2013, Base de données ALISSE. Caractéristiques des entreprises, année 2013, [En ligne] URL : <http://www.alisse2.insee.fr/>, Accédé le 09 février 2016.
- Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE), 2015, Extrait de la base de donnée Sirene® pour la commune de Lièpvre.
- Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE), 2015, Recensement de la population - Emploi - population active en 2013, [En ligne] URL : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2518836>
- Jongman, B., H. Kreibich, H. Apel, J. Barredo, P. Bates, L. Feyen, A. Gericke, J. Neal, J. Aerts et P. Ward, 2012, Comparative flood damage model assessment : towards a European approach, *Natural Hazards and Earth System Science*, 12, pp. 3733-3752.
- Kok, M., H. Huizinga, A. Vrouwenfelder et A. Barendregt, 2004, Standard method 2004. Damage and casualties caused by flooding, *Client : Highway and Hydraulic Engineering Department*, Delft.
- Laporte, V., 2009, *Croissance du nombre de logements en zones inondables*, Service de l'observation et des statistiques, Commissariat général au développement durable.
- Ledoux, B., 2010, *Guide d'accompagnement pour une méthode standard pour l'analyse coût/bénéfice des projets de prévention des inondations*.
- López-Peláez, J. et P. Pigeon, 2011, Co-evolution between structural mitigation measures and urbanization in France and Colombia : A comparative analysis of disaster risk management policies based on disaster databases, *Habitat international*, 4, pp. 573-581.
- Ludy, J. et G. M. Kondolf, 2012, Flood risk perception in lands "protected" by 100-year levees, *Natural Hazards*, 2, pp. 829-842.
- Mancebo, F., 2007, Katrina et la Nouvelle-Orléans : entre risque « naturel » et aménagement par l'absurde, *Cybergeo : European Journal of Geography*, DOI : 10.4000/cybergeo.90.
- Martin, B., O. Guerrouah, M.-C. Vitoux et L. With, 2010, Forgotten disaster or mastered risk ? geo-historical approach of flood risk In urban area. Exemple of Mulhouse (Alsace, France), *Territorium*, 17, pp. 96-103.
- Martin, B., N. Holleville, B. Furst, F. Giacona, R. Glaser, I. Himmelsbach et J. Schönbein, 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), *Belgeo*, 1, 16 p.
- Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement (MEDDTL), 2011, *Programmes d'action de prévention des inondations (PAPI) : De la stratégie aux programmes d'action/Cahier des charges*, Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement.

- Merz, B., H. Kreibich, R. Schwarze et A. Thielen, 2010, Review article "Assessment of economic flood damage", *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, pp. 1697-1724.
- Meur-Férec, C. et V. Morel, 2004, L'érosion sur la frange côtière : un exemple de gestion des risques, *Natures Sciences Sociétés*, 3, pp. 263-273.
- Meyer, W. et I Turner, 1994, *Changes in land use and land cover : A global perspective*. Cambridge/New York : Cambridge University Press.
- Mitchell, J. K., 2003, European River Floods in a Changing World, *Risk Analysis*, 3, pp. 567-574.
- Montz B. et E. C. Grunfest, 1986, Changes in American urban floodplain occupancy since 1958 : The experiences of nine cities, *Applied Geography*, 4, pp. 325-338.
- Nelson, M., R Ehrenfeucht et S. Laska, 2007, Planning, plans, and people : Professional expertise, local knowledge, and governmental action in post-hurricane Katrina New Orleans, *Cityscape*, 9, 3, pp. 23-52.
- Notaires de France, 2016, Base de données perval. Indices des prix du bâtiment ancien, [En ligne] URL : <http://www.immoprix.com/>, Accédé le 23 Février 2016.
- November, V., M. Penelas et P. Viot, 2008, « L'effet Lully » : un territoire à l'épreuve d'une inondation, *Revue Cosmopolite*, 17, pp. 89-106.
- Parker, D. J., 1995, Floodplain development policy in England and Wales, *Applied Geography*, 4, pp. 341-363.
- Pielke, Jr R. A. et M. W. Downton, 2000, Precipitation and damaging floods : Trends in the United States, 1932-97, *Journal of Climate*, 20, pp. 3625-3637.
- Robin, F.-X. et P. Gondeaux, 2007, Méthodes pour réaliser un historique de l'évolution du bâti, *Extraction*, 132, pp. 133.
- Roche, P.-A., J. Miquel et E. Gaume, 2012, *Hydrologie quantitative : Processus, modèles et aide à la décision*, Springer Science & Business Media.
- Rothé, J.-P. et J. Jung, 1952, *Les inondations de décembre 1947 - janvier 1948 dans la Basse Alsace*, Ministère de l'agriculture - Direction générale du génie rural et de l'hydraulique agricole.
- Rotmans, J., M. Hulme et T. E. Downing, 1994, Climate change implications for Europe : An application of the ESCAPE model. *Global Environmental Change*, 4, 2, pp. 97-124
- Scarwell, H. J. et R. Laganier, 2004, *Risque d'inondation et aménagement durable des territoires*, Presses Universitaires du Septentrion.
- Swiss, Re, 2011, *Flood risk in Brazil : Prevention, adaptation and insurance*.
- Swiss, Re, 2012, *Floods in Switzerland - an underestimated risk*.
- Te Linde, A., P. Bubeck, J. Dekkers, H. De Moel et J. Aerts, 2011, Future flood risk estimates along the river Rhine, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, pp. 459-473.
- Tingaud C., 2011, *Réalisation d'une cartographie des aléas et des inondations pour une crue centennale du Giessen et de son principal affluent, la Lièpvrette*, Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg, Travail de fin d'études.
- Tobin, G. A., 1995, The levee love affair : a stormy relationship ?, *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 3, pp. 359-367.
- Trocherie, F., N. Eckert, X. Morvan et R. Spadone, 2004, *Inondations récentes : quelques éclairages*, Les données de l'environnement, IFEN, pp. 1-4

- Vinet, F., 2007, Approche institutionnelle et contraintes locales de la gestion du risque
Recherches sur le risque inondation en Languedoc-Roussillon. Université Paul Valéry-
Montpellier III.
- White, G., 1958, Changes in urban occupance of flood plains in the United States, *University of
Chicago Press*.
- White, G. F., 1940, State regulation of flood-plain use, *The Journal of Land & Public Utility Economics*,
3, pp. 352-357.
- White, G. F., R. W. Kates et I. Burton, 2001, Knowing better and losing even more : the use of
knowledge in hazards management, *Global Environmental Change Part B : Environmental Hazards*, 3,
pp. 81-92.
- With, L., 2014, Approche géohistorique de la gestion et de la prévention du risque d'inondation :
le cas de la vallée de la Lauch (Haut-Rhin) de 1778 à nos jours, *Revue d'Alsace*, 140, pp. 459-473
- Zischg, A., 2016, River corrections and long-term changes in flood risk in the Aare valley,
Switzerland, *E3S Web Conference*, 7, pp. 11010.

NOTES

1. Dans ce travail, seule la vulnérabilité au bâti et aux entreprises/industries et leurs pertes d'activités est mesurée : d'autres types de vulnérabilités sont également qualifiables, mais elles ne sont pas traitées par un manque de données précises dans le temps et par une augmentation des incertitudes que suppose leur intégration.
2. Cette base de données a été établie dans le cadre du programme franco-allemand TRANSRISK et est accessible sur le site de l'Observatoire régional des risques d'inondation (ORRION), [en ligne] URL: www.orrion.fr
3. Les données issues du LiDAR (pour Light Detection And Ranging) permettent de détecter et de mesurer une distance par la lumière. Cette distance est estimée par l'analyse des propriétés d'un faisceau laser renvoyé par le sol vers l'émetteur du signal.
4. Les chargés de mission Rivières de la Direction Départementale des Territoires (DDT) et de la Directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL) ainsi que les chargés de mission PAPI pour le secteur du Giessen-Liepvrette (rattaché à un Syndicat mixte) ont été sollicités pour préciser/corriger l'inventaire des aménagements sur le cours d'eau.
5. Le lecteur peut consulter à titre d'exemple Auffret et al. (2010); Eleuterio (2012) et Merz et al. (2010).

RÉSUMÉS

Située le long de la Liepvrette, une rivière torrentielle des Vosges moyennes, la ville de Lièpvre (Alsace, France) a subi un intense développement urbain en zone inondable depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale. En l'absence de dispositifs de protection suffisants, cela s'est traduit par une augmentation significative du risque, liée, surtout, à une augmentation de la vulnérabilité. Pour quantifier cette dernière, nous nous sommes appuyés sur une méthode

innovante qui allie approche géohistorique (collecte d'informations dans les archives, reconstruction cartographique des enjeux passés) et modélisation des crues dans des conditions hydrauliques antérieures. Ce travail, réalisé dans le cadre du programme franco-allemand ANR-DFG TRANSRISK 2, a permis d'évaluer le risque en termes économiques, condition nécessaire pour hiérarchiser les différents paramètres du risque et analyser son évolution dans le temps et dans l'espace.

Since the end of the World War 2, the municipality of Lièpvre (Alsace, France – located along the Lièpvrette river) knew an intense urbanization of its flooded areas. The risk of floods (and the vulnerability of the municipality) increased until that time, mainly because of a lack of protection. To quantify this vulnerability we develop an innovative method based on geohistory (to collect data on past events) and modelling of past hydraulic conditions. This study allows us to quantify the risk in an economic way to order the factors at risk. The results allow us to analyze the risk evolution in time and space. This study was done within the ANR-DFG-TRANSRISKS 2 project.

INDEX

Mots-clés : vulnérabilité, dommages potentiels, géohistoire, inondation, spatialisation

Keywords : vulnerability, potential damages, geohistory, floods, modelling

AUTEURS

CARINE HEITZ

Irstea, UMR GESTE, ENGEES, 1 quai Koch, F-67000 Strasbourg, France, courriel : carine.heitz@engees.unistra.fr

JULIEN BRUN

Irstea, UMR GESTE, ENGEES, 1 quai Koch, F-67000 Strasbourg, France.

ANNE ROZAN

ENGEES, UMR GESTE, 1 quai Koch, F-67000 Strasbourg, France. Université de Strasbourg, F-67000 Strasbourg, France, courriel : anne.rozan@engees.unistra.fr

BRICE MARTIN

Centre de recherches sur les économies, les sociétés, les arts et les techniques, Université de Haute-Alsace (CRESAT-UHA), Campus Fonderie 16 rue de la Fonderie F-68093 Mulhouse, France, courriel : brice.martin@uha.fr