



HAL
open science

Exposition et vulnérabilité sociale des villes françaises au risque inondation : une analyse spatiotemporelle à fine échelle (1999-2017)

Kenji Fujiki, Olivier Finance

► To cite this version:

Kenji Fujiki, Olivier Finance. Exposition et vulnérabilité sociale des villes françaises au risque inondation : une analyse spatiotemporelle à fine échelle (1999-2017). *Cybergeographe*: Revue européenne de géographie / *European journal of geography*, 2022, 10.4000/cybergeographe.39179 . hal-04695433

HAL Id: hal-04695433

<https://hal.science/hal-04695433v1>

Submitted on 12 Sep 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 4.0 International License

Cybergeo: European Journal of Geography

Espace, Société, Territoire

2022

1020

Exposition et vulnérabilité sociale des villes françaises au risque inondation : une analyse spatiotemporelle à fine échelle (1999-2017)

Exposure and social vulnerability of French cities to flood risk: a spatiotemporal analysis at a fine scale (1999-2017)

Exposición y vulnerabilidad social en las ciudades francesas por riesgo de inundación: un análisis espaciotemporal a escala fina (1999-2017)

KENJI FUJIKI ET OLIVIER FINANCE

<https://doi-org.scd-rproxy.u-strasbg.fr/10.4000/cybergeo.39179>

Résumés

Français English Español

Plus de la moitié des communes sont concernées par le risque inondation en France. Dans ce contexte, notre étude vise à mesurer la vulnérabilité tant physique que sociale des populations urbaines aux crues au cours des vingt dernières années (1999-2017). La vulnérabilité physique est définie ici par l'exposition des populations à l'aléa inondation, et la vulnérabilité sociale par la propension des populations à subir les conséquences négatives d'une inondation majeure sur le temps long. La mesure de la vulnérabilité s'appuie sur une désagrégation à très fine échelle des données de recensement. Les résultats révèlent un phénomène de cumul dans l'espace de l'exposition et de la vulnérabilité sociale à l'échelle nationale : les indicateurs de vulnérabilité sociale sont systématiquement plus élevés en zone inondable qu'hors zone inondable. Cependant, ce cumul ne semble pas s'aggraver sur la période d'étude. Pour les indicateurs de vulnérabilité sociale, l'écart entre zones inondables et non inondables ne s'accroît pas, tandis que, concernant l'exposition, la croissance de la population en zone inondable demeure inférieure à la croissance démographique globale. Ces observations générales occultent cependant des situations très diverses selon les villes, et notre analyse met en avant l'intérêt d'une approche géographique de la vulnérabilité.

More than half of the municipalities in France are affected by flood risk. In this context, our study aims to measure both the physical and social vulnerability of urban populations to flooding over the last twenty years (1999-2017). Physical vulnerability is defined here by the exposure of populations to the flood hazard, and social vulnerability by the propensity of populations to suffer the negative consequences of a major flood over the long term. The measure of vulnerability is based on a very fine-scale disaggregation of census data. The results reveal a phenomenon of accumulation of exposure and social vulnerability at the national scale: social vulnerability indicators are systematically higher in flood-prone areas than outside flood-prone areas. However, this accumulation does not seem to worsen over the study period. For the indicators of social vulnerability, the gap between flood-prone and non-flood-prone areas does not increase, while for exposure, the population growth in flood-prone areas remains lower than overall demographic growth. However, these general observations conceal very different situations depending on the city, and our analysis highlights the importance of a geographical approach to vulnerability.

Más de la mitad de los municipios están expuestos a inundaciones en Francia. En este contexto, nuestro estudio tiene como objetivo medir la vulnerabilidad física y social de la población urbana por las inundaciones en los últimos veinte años (1999-2017). La vulnerabilidad física se define como la exposición de los habitantes al peligro de inundación. Por su parte, la vulnerabilidad social se comprende como la predisposición de la población a experimentar los efectos de una gran inundación a largo plazo. La medida de vulnerabilidad se sostiene por una desagregación a escala muy fina de datos censales. Los resultados revelan un fenómeno de acumulación en el espacio de exposición y vulnerabilidad social a escala nacional: los indicadores de vulnerabilidad social son sistemáticamente más altos en las zonas inundables que en las menos expuestas. Sin embargo, esta acumulación no parece incrementarse durante el período de estudio. Para los indicadores de vulnerabilidad social, la brecha entre las áreas inundables y no inundables no se incrementa, mientras que, en cuanto a la exposición, el crecimiento de la población en las áreas inundables sigue siendo inferior al crecimiento de la población en general. Sin embargo, estas observaciones invisibilizan situaciones particulares según la ciudad, destacando así en nuestro análisis el interés de una aproximación geográfica a la vulnerabilidad.

Entrées d'index

Mots-clés : exposition, vulnérabilité, inondation, ville, France, approche désagrégée

Keywords : exposure, vulnerability, flood, city, France, disaggregated approach

Palabras claves : exposición, vulnerabilidad, inundación, ciudad, Francia, enfoque desagregado

Notes de l'auteur

Financement

Ce travail a été publié dans le cadre de l'IdEx Université de Strasbourg.

Texte intégral

Introduction

¹ Le risque inondation est le risque qui a entraîné au cours de ces dernières décennies les dommages économiques les plus importants en France, représentant à lui seul 53 % des coûts des sinistres liés à des événements naturels sur la période 1982-2020 (CCR, 2021). Plus de la moitié des communes françaises seraient de fait exposées au moins partiellement au risque (Antoni *et al.*, 2020). Si l'aléa est aujourd'hui cartographié de façon systématique, si les enjeux sont inventoriés dans le cadre des Plans de Prévention des Risques Inondation (PPRI), il manque cependant, aujourd'hui encore, une approche systématique du risque inondation sous l'angle de la vulnérabilité sociale des populations exposées.

² Si le risque peut se définir de premier abord comme le potentiel de pertes d'un territoire (Cardona, 2003 ; Wisner *et al.*, 2003), il émerge de la rencontre de l'aléa, défini par les caractéristiques et la probabilité d'occurrence d'un événement

dommageable (Dauphiné, Provitolo, 2013), et de la vulnérabilité des enjeux (biens, personnes, systèmes, etc.), soit leur degré potentiel d'endommagement (Alexander, 2000). On distingue couramment les approches fondées sur la vulnérabilité biophysique, qui mettent en particulier l'accent sur l'exposition, soit la localisation spatiale des enjeux dans l'enveloppe de l'aléa (Hufschmidt, 2011 ; Veyret, Reghezza, 2005), et les approches fondées sur la vulnérabilité sociale, qui se focalisent sur les causes structurelles et les dynamiques sociales qui font de l'occurrence de l'aléa une catastrophe (Cardona, 2003).

3 Cette analyse vise à synthétiser ces deux approches, en proposant d'établir un diagnostic spatialisé à fine échelle de la vulnérabilité de la population des villes de France métropolitaine face au risque inondation. La vulnérabilité des populations est précisément comprise comme la combinaison de l'exposition et de la vulnérabilité sociale des populations. L'exposition est ici définie comme la localisation des populations dans l'enveloppe de l'aléa. Abordée seule, l'exposition permet d'identifier et de comptabiliser précisément les personnes directement affectées par l'aléa au niveau de leur logement. La vulnérabilité sociale est plus difficilement soluble dans une définition précise et univoque. C'est un écueil majeur de nombre d'études que de considérer la vulnérabilité sociale comme un tout, là où elle s'avère en réalité plurielle : elle varie selon les lieux, la nature de l'aléa, la nature des enjeux exposés, et quand le risque se réalise, selon la temporalité de la catastrophe (Rufat *et al.*, 2015). Notre intérêt porte précisément sur la vulnérabilité sociale comprise comme la propension des populations (nature des enjeux exposés), considérées à leur lieu de résidence habituel, à subir sur le temps long (temporalité de la catastrophe) et du fait de leur profil social les conséquences négatives d'une inondation majeure (nature de l'aléa). L'intérêt est, par hypothèse, de ségréger les personnes qui, parmi l'ensemble des populations potentiellement exposées, sont les plus susceptibles de subir durablement ces conséquences négatives.

4 Ces deux dimensions de la vulnérabilité sont ici combinées, évaluées dans l'espace et dans le temps, avec un intérêt porté spécifiquement sur les villes de France métropolitaine, sur la période 1999-2017. Les villes (considérées ici dans une définition morphologique - les unités urbaines¹) représentent en effet de manière absolue les espaces les plus exposés à l'aléa inondation et *a priori* les plus vulnérables. Adopter une perspective diachronique sur la période s'étendant de 1999 à 2017, avec l'année 2008 comme point d'inflexion potentiel entre deux sous-périodes d'analyse, permet d'identifier d'éventuelles évolutions dans l'exposition et la vulnérabilité sociale que le contexte réglementaire pourrait éclairer. La loi Barnier de 1995, parmi les dispositions les plus récentes et contraignantes sur l'urbanisation en zone inondable (Duvillard *et al.*, 2020), rend obligatoire les Plans de Prévention du Risque d'Inondation (PPRI) dans les communes exposées. Encore très largement minoritaires à la fin des années 1990, ces derniers ont pour beaucoup été mis en œuvre au cours de la décennie 2000² ; la comparaison des deux sous-périodes d'étude peut ainsi éclairer l'efficacité de ces plans de prévention.

5 La situation à risque émergeant d'un cumul de l'exposition et de la vulnérabilité sociale, l'objectif de la présente étude est de questionner ce cumul, d'observer si les territoires les plus exposés sont aussi les plus socialement vulnérables. D'autres travaux, généralement dans d'autres contextes géographiques, se sont attelés à vérifier si la relation entre ces deux composantes du risque était systématique. Cette approche est relativement courante pour l'exposition aux nuisances et sources de pollution (Bocquier *et al.*, 2013 ; Caudeville, Rican, 2016 ; Glatter-Götz *et al.*, 2019 ; Rüttenauer, 2018), plus rares pour l'exposition aux risques majeurs. Concernant ces derniers, les retours de la littérature s'avèrent contradictoires, et ceci d'autant plus que les méthodologies utilisées sont variées, et alors même que la résolution, l'échelle spatiale et temporelle et la méthode d'analyse spatiale ont un impact significatif sur les résultats obtenus (Fielding, Burningham, 2005 ; Maantay, Maroko, 2009). Selon les cas d'étude, les populations socialement vulnérables ou désavantagées peuvent

être plus exposées, ou ne l'être que sous certaines conditions (Chakraborty *et al.*, 2014, 2019 ; Chakraborty, Basu, 2019 ; Faburel, 2008 ; Ilbeigi, Jagupilla, 2020 ; Montgomery, Chakraborty, 2015 ; Qiang, 2019). Les études à large échelle tendent de fait à mettre en évidence l'importance du contexte local dans l'émergence de situations à risque, où se cumulent exposition et vulnérabilité sociale (Downey, 2007). Certaines populations se retrouvent certes captives face au risque, la faiblesse de leurs moyens les contraignant à rester exposées (November, 2012), le risque inondation est cependant bien souvent perçu comme plus limité qu'il ne l'est et mis en balance avec d'autres paramètres dans les choix résidentiels. On peut penser à la proximité de l'eau comme aménité environnementale (Durand *et al.*, 2020 ; Hubert *et al.*, 2003 ; Mauroux, 2015 ; Pautard, 2014 ; Pryce *et al.*, 2011). Cette dernière porte la croissance démographique des zones inondables malgré les risques potentiels (Durand, 2015), et le renchérissement foncier qu'elle provoque dans certains cas peut contribuer à attirer des populations aisées, *a priori* peu vulnérables socialement, dans les zones inondables.

- 6 Cette étude s'inscrit explicitement dans ce débat, en explorant deux hypothèses : (1) Les zones urbaines exposées à l'aléa sont aussi les plus vulnérables sur un plan social, témoignant d'un cumul systématique exposition-vulnérabilité sociale ; (2) Ce cumul tend à s'intensifier au cours du temps. Afin de tester ces deux hypothèses, une double focale d'analyse peut être déployée : à l'échelle nationale, pour quantifier le risque inondation de manière globale, et à l'échelle des agglomérations exposées, pour comparer ces dernières les unes aux autres. Pour ce faire, notre étude s'appuie sur l'utilisation de données de très haute résolution, sur une emprise large – celle de l'ensemble de la France métropolitaine, afin de désagréger à grande échelle la population et les sous-groupes de population identifiés comme socialement vulnérables. Nous pouvons dès lors ségréger les zones exposées – donc inondables – des zones non inondables, et tester la validité de nos hypothèses. Si les méthodes de désagrégation à grande échelle, couplées à l'utilisation de données de haute résolution, sont courantes dans les études d'exposition (Freire, Aubrecht, 2012 ; Rosencrants, Ashley, 2015 ; Smith *et al.*, 2019 ; Strader *et al.*, 2015 ; Wing *et al.*, 2018 ; Qiang *et al.*, 2017), elles sont bien plus rarement utilisées dans le cadre d'analyses de la vulnérabilité sociale (Contreras *et al.*, 2020 ; Nelson *et al.*, 2015 ; Tate *et al.*, 2021), *a fortiori* sur une emprise aussi large que l'échelle nationale, et dans le cadre d'une analyse spatio-temporelle.
- 7 Les aspects méthodologiques de sélection des données et la chaîne de traitements élaborée, reposant sur la cartographie dasymétrique, précèdent une exposition des résultats selon les focales d'analyse retenues : à l'échelle nationale, puis à l'échelle individuelle des agglomérations exposées.

Cerner l'exposition et la vulnérabilité sociale de la population en territoires à risque important d'inondation : aspects méthodologiques

- 8 La méthodologie retenue repose sur la désagrégation de données du recensement afin d'estimer premièrement la population exposée au lieu de résidence et deuxièmement la vulnérabilité sociale de ces résidents. Des données de caractérisation de l'aléa sont couplées à des données de caractérisation des populations via l'exploitation de données de description des éléments bâtis du territoire permettant l'application de méthodes de cartographie dasymétrique.

Données mobilisées

9 Trois grands types de données sont mobilisés afin de cerner l'exposition et la vulnérabilité sociale en lien avec le risque inondation dans les villes françaises : des zonages de l'aléa inondation, des données de recensement et des données de bâti servant à croiser recensement et zonage.

Zonages de l'aléa inondation

10 Trois zonages de l'aléa inondation sont identifiés comme autant de définitions candidates : une variante de la cartographie de l'aléa inondation dans les Territoires à Risque Important d'inondation (BD TRI), l'Atlas des Zones Inondables (BD AZI), et une variante de la cartographie de l'aléa du Joint Research Center construite à l'échelle européenne (BD JRC). Le tableau 1 compare ces zonages selon différents critères, de couverture, de qualité spatiale ou encore de cohérence temporelle.

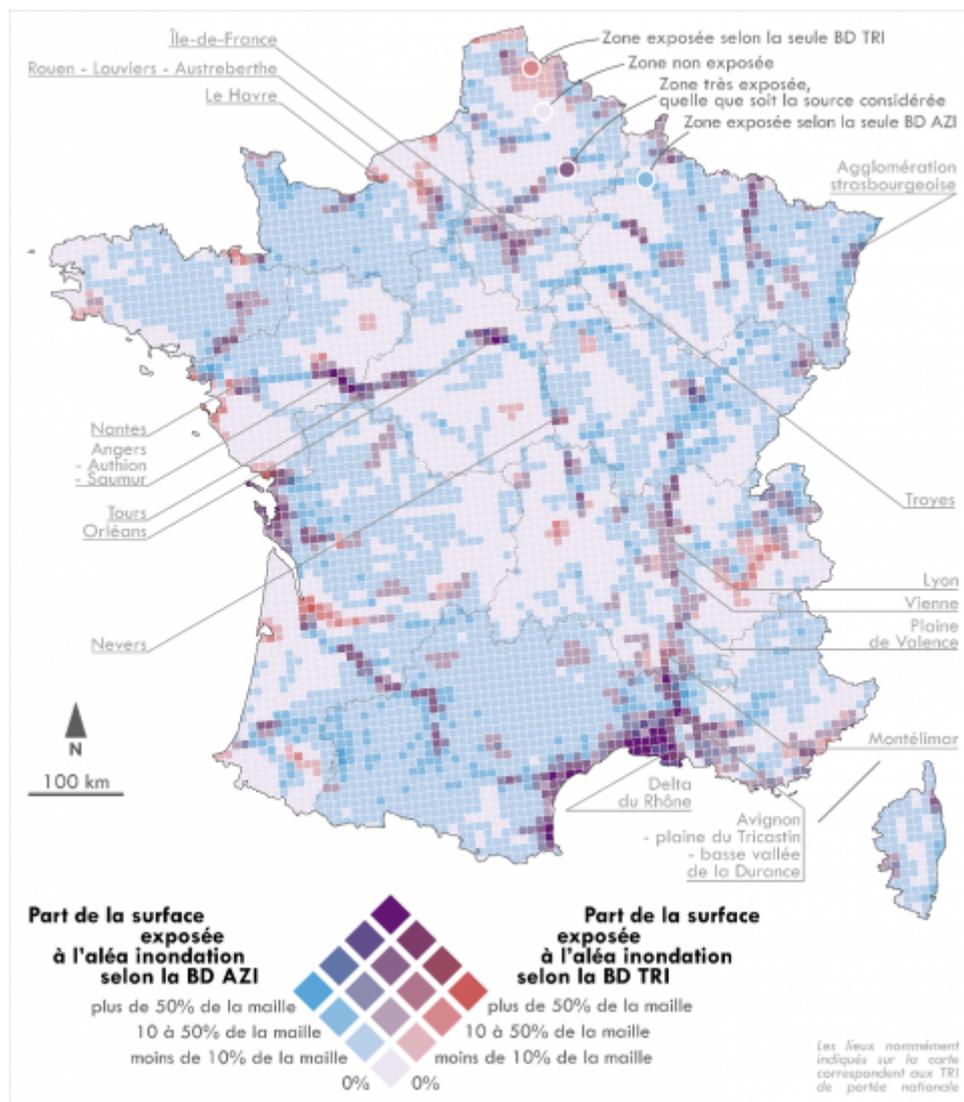
Tableau 1 : Comparaison des bases de données d'aléa

	Aléa(s) couvert(s)	Existence de scénarios multiples		Couverture spatiale	Prise en compte des aménagements hydrauliques	Précision spatiale de la donnée	Comparabilité des données entre zones couvertes	Organismes impliqués dans la production (et la mise à disposition) des données	Cohérence temporelle
Cartographie de l'aléa - Territoires à Risque Important d'inondation [BD TRI]	Débordement de cours d'eau et submersion marine	Oui Différentes fréquences d'occurrence de l'aléa ; scénario moyen de crue commun à tous les TRI (fréquence de retour annuelle comprise entre 1 / 100 et 1 / 300)		France métropolitaine (non exhaustive) ; seules les zones les plus exposées sont couvertes (concentrations importantes d'emplois et/ou d'habitants)	Oui, considérés ou non comme défilants selon les scénarios	Bonne Échelle au moins égale à 1 / 25 000	Assez cohérente Méthodologie cohérente et comparable dans l'espace et dans le temps (standard Directive inondation), peu de marges de manœuvre dans l'application de la méthodologie par les DREAL	Données produites par les services déconcentrés de l'État (DREAL), publiées sur le site georisques.gouv.fr édité par le ministère de la Transition écologique et hébergé par le BRGM	Oui
Atlas des Zones Inondables [BD AZI]		Non Emprise basée sur les plus hautes eaux connues ou sur une crue centennale	Scénario commun : crue centennale (ou scénario assimilé)	France métropolitaine ; très forte hétérogénéité inter-départementale (autant dans la méthodologie, les aléas couverts, l'exhaustivité et la disponibilité de la donnée)	Oui, mais de façon hétérogène	Bonne, mais hétérogène Échelle comprise entre 1 / 10 000 et 1 / 25 000	Peu cohérente	Données produites par les services déconcentrés de l'État (DDT ou DREAL)	Non Date de mise à jour irrégulière et variable selon les départements
River flood hazard maps for Europe and the Mediterranean Basin region [BD JRC]	Débordement de cours d'eau	Oui Différentes fréquences d'occurrence de l'aléa		Europe et bassin méditerranéen	Non : sur-estimation de l'aléa	Faible Zones inondables projetées sur une grille de 100 m de côté	Cohérente	Données du Joint Research Center, extraites du site data.jrc.europa.eu (Dottori et al., 2022)	Oui

Fujiki, Finance, 2022

11 La BD TRI (issue de l'application de la Directive Inondation, 2007) constitue le meilleur compromis : elle s'appuie sur une méthode standardisée de cartographie à grande échelle de l'aléa, ce qui en fait la seule permettant une comparaison cohérente, robuste et précise des situations vis-à-vis de l'aléa inondation dans les différentes villes françaises. Elle est retenue dans une variante assimilable à la crue centennale (scénario moyen). La BD TRI a cependant pour inconvénient de ne pas couvrir l'ensemble du territoire, mais uniquement les territoires les plus exposés à l'aléa. La plus grande complétude de la BD AZI peut sembler de prime abord un argument solide face à la BD TRI ; mais la très forte hétérogénéité interdépartementale des données de la BD AZI (qui peut s'apprécier sur la figure 1, avec notamment de très importants effets de bordure visibles au niveau des limites de certains départements) l'écarte de fait. De la même façon, la précision spatiale de la BD JRC, source ne tenant par ailleurs pas compte des aménagements hydrauliques qui pourraient réduire la zone d'aléa, s'avère bien trop faible en contexte intra-urbain. Ainsi, seule la BD TRI sera exploitée dans les analyses menées à grande échelle ; elle ne sera comparée ou couplée aux autres que lorsqu'il s'agira d'établir un état des lieux à l'échelle nationale.

Figure 1 : Couverture spatiale des bases de données AZI et TRI à l'échelle nationale



Fujiki, Finance, 2022

Données démographiques et données de désagrégation spatiale associées

- 12 Afin d'estimer précisément la population présente en zones inondables et sa vulnérabilité à l'échelle urbaine, nous mobilisons premièrement le recensement de la population au niveau des IRIS (îlots de recensement), plus petites unités spatiales de diffusion des résultats des recensements. Il n'est cependant pas envisageable de ségréger simplement ces unités spatiales d'une part en IRIS exposés et d'autre part en IRIS non exposés, sans réaliser de très grandes approximations. Comme explicité ultérieurement dans cette contribution, les données des recensements de la population recueillies à l'échelle des IRIS sont désagrégées en quête d'une plus grande précision spatiale, via une base de données des éléments bâtis du territoire (BD Topo) permettant cette opération. Cela rend possible l'identification au sein des IRIS partiellement soumis à l'aléa inondation des effectifs de population issus du recensement qui sont exposés. Ainsi, les indicateurs nécessaires du recensement de la population, la géographie administrative associée et la BD Topo sont collectés pour reproduire l'analyse à trois dates (1999, 2008 et 2017), en cherchant la cohérence temporelle maximale entre les sources (tableau 2).

Tableau 2 : Cohérence temporelle des sources

	Sources retenues et description	Variantes des sources utilisées pour cerner l'exposition et la vulnérabilité sociale		
		en 1999	en 2008	en 2017
Les zones exposées à l'aléa inondation	BD TRI Emprise des zones inondables pour un scénario moyen (crue centennale ou scénario assimilé)	Millésime 2020 Version 2 des TRI (utilisation rétroactive de la définition la plus récente de l'aléa)		
Le recensement de la population	Recensement Statistiques sur les habitants et les logements, leur nombre et leurs caractéristiques socio-éco-démographiques	Millésime 1999	Millésime 2008	Millésime 2017
		Producteur : INSEE Diffuseur : ADISP	Producteur et diffuseur : INSEE	
		Recensement exhaustif	Recensement basé sur enquêtes opérées par roulement	
La géographie administrative	Contours IRIS Contours des communes et des IRIS (lots de recensement permettant la diffusion des résultats du recensement à l'échelle infra-communale)	Millésime 2000 (compatible avec le recensement 1999)	Millésime 2010 (compatible avec le recensement 2008)	Millésime 2019 (compatible avec le recensement 2017)
		Producteur : INSEE Diffuseur : ADISP	Producteur et diffuseur : IGN	
		Limites et précision géométrique de la géographie administrative variables selon les années (cf. Annexe 1)		
Le bâti et sa volumétrie	BD Topo Description vectorielle de précision métrique des éléments bâtis et des surfaces d'activité en 2D (surfaces au sol) et en 3D [volumétrie totale]	BD Topo Pays v1.2 (2002-2006)	BD Topo v2.1 (2013)	BD Topo v3.0 (2020)
		Producteur et diffuseur : IGN		
		Millésimes correspondant aux dates de publication, nécessairement postérieures aux prises de vue aériennes sur lesquelles se base la construction de la donnée		

Fujiki, Finance, 2022

- 13 Malgré l'écart temporel apparent entre les sources utilisées pour une année donnée, les sources d'information sont bien compatibles et cohérentes. En particulier, l'écart substantiel entre les millésimes de la BD Topo et les données du recensement se justifie par le décalage temporel qui existe entre les prises de vues aériennes et la publication des données qui en sont issues.

Sélection des indicateurs de vulnérabilité sociale

- 14 Les données de recensement, désagrégées ensuite à très grande échelle via les données de bâti, permettent d'estimer et de spatialiser des indicateurs de vulnérabilité sociale. Le choix de ces indicateurs n'est cependant pas neutre, et pour procéder à une sélection éclairée de ces derniers, nous nous appuyons sur une quinzaine de travaux, parmi les plus récents, évaluant les trajectoires des populations et des territoires sinistrés par une catastrophe majeure d'origine naturelle, et mettant en relation les niveaux de reconstruction³ en fonction des profils sociaux et démographiques. Des profils associés à des faibles niveaux de reconstruction, et donc à des trajectoires post-catastrophes défavorables, sont alors considérés comme des profils socialement vulnérables.
- 15 Les 14 ressources identifiées (tableau 3) ont en commun de proposer des modèles statistiques (régressions) estimant un niveau de reconstruction, mais demeurent hétérogènes à la fois dans leur méthodologie, leur niveau d'observation, l'aléa considéré, et surtout dans l'indicateur de mesure du niveau de reconstruction. Ni la définition ni la mesure de la reconstruction ne font consensus, avec des indicateurs très variables selon les études : taux de repopulation ou de croissance démographique, autoévaluation par les individus ou par les municipalités du niveau de reconstruction post-catastrophe, niveau d'instabilité résidentielle, évolution du taux de pauvreté, etc. Cet inventaire reste non exhaustif et s'appuie exclusivement sur des cas d'étude étrangers ; si la reconstruction post-catastrophe a bien sûr été étudiée en France, et en détail (par exemple chez Moatty, 2015), il s'agit cependant d'événements avec une ampleur spatiale et une intensité limitées : en France métropolitaine, aucune catastrophe majeure d'origine naturelle n'a eu lieu au cours des dernières décennies, ce qui limite les possibilités d'en tirer des retours d'expérience généralisables sur la vulnérabilité sociale des populations⁴.

Tableau 3 : Inventaire des études post-catastrophes évaluant le niveau de reconstruction (variable dépendante) en fonction des caractéristiques sociodémographiques des populations et/ou des territoires sinistrés

Référence	Aléa(s) (et date de survenue le cas échéant)	Zone d'étude	Niveau d'observation	Variable dépendante mesurée	Période d'étude
Aldrich (2012)	Séisme de Kobe (1995)	Municipalités de Kobe (Japon)	Municipalités	Taux de croissance démographique	1990-2008
Aldrich (2016)	Tsunami du Tohoku (2011)	Municipalités côtières du Tohoku (Japon)	Municipalités	Indice de reconstruction multidimensionnel	2011-2013
Bubeck & Thieke, (2017)	Inondation (2013)	Allemagne	Individus	Reconstruction des ménages (autoévaluation)	18 mois après l'occurrence de l'aléa
Elliott (2010)	Ouagan Katrina (2005)	Quartiers de Lower Ninth Ward et Lakeview, ville de La Nouvelle-Orléans (E-U)	Individus	Reconstitution des liens sociaux	9-16 mois après l'occurrence de l'aléa
Elliott & Howell (2016)	Aléas divers	États-Unis	Multiplés : individus, ménages, quartiers, comtés	Instabilité résidentielle (nombre de déménagements)	1999-2011
Griego et al. (2020)	Ouagan Harvey (2017)	Aire métropolitaine de Houston (E-U)	Ménages	Reconstruction des ménages (autoévaluation)	4-5 mois après l'occurrence de l'aléa
Kamel (2012)	Ouagan Katrina (2005)	Aire métropolitaine de La Nouvelle-Orléans (E-U)	Quartiers	Taux de repopulation des quartiers	2005-2010
Kamel & Loukaitou- Sideris (2004)	Séisme de Northridge (1994)	Aire métropolitaine de Los Angeles (E-U)	Quartiers	Accès aux aides fédérales pour les ménages sinistrés	1990-2000
Lee (2018)	Aléas divers	Comtés métropolitains des États-Unis	Quartiers	Taux de pauvreté	1970-2000
Myers et al. (2008)	Ouagans Katrina et Rita (2005)	Comtés du Golfe du Mexique (E-U)	Comtés	Taux d'émigration des territoires	10 mois après l'occurrence de l'aléa
Paxson & Rouse (2008)	Ouagan Katrina (2005)	Ville de La Nouvelle-Orléans (E-U)	Individus	Retour des ménages sur le territoire	2004-2007
Peacock et al. (2014)	Ouagans Andrew (1992) et Ike (2008)	Comtés de Miami-Dade et Galveston (E-U)	Logements	Valeur foncière des logements	1992-1996 (Andrew), 2008-2012 (Ike)
Shimada (2015)	Aléas divers	Japon	Préfectures	Taux de croissance démographique	1981-2012
Zhang & Peacock (2009)	Ouagan Andrew (1992)	Sud du comté de Miami-Dade (E-U)	Logements	Valeur foncière des logements	1992-1996

Fujiki, Finance, 2022

16 De ces travaux⁵ peuvent être tirés divers enseignements utiles afin d'éclairer le choix des indicateurs de vulnérabilité sociale à retenir dans notre étude, au regard de la définition que nous en faisons - la propension des populations à subir durablement les conséquences négatives de la crue⁶. Si des facteurs très divers sont mobilisés dans les différentes études, peu d'entre eux font finalement consensus ; le tableau 4 en propose une synthèse, à partir desquels différents indicateurs de vulnérabilité sociale pouvant être approchés avec les données du recensement français sont retenus.

Tableau 4 : Identification des facteurs de vulnérabilité sociale antérieurs à l'occurrence de la catastrophe ayant des impacts sur la reconstruction

Facteurs et variables		Impact sur la reconstruction	Études porteuses post-catastrophes (en gras : les facteurs apparaissant significatifs dans plus de trois études)	Indicateurs spatialisés de vulnérabilité sociale retenus comme proxies
Capital social		positif	Aldrich (2012, 2016), Elliott (2010), Shimada (2015)	Part de ménages non-propriétaires
Conditions de logement	Ménages propriétaires	positif	Elliott & Howell (2016), Peacock et al. (2014), Kamel (2012), Paxson et Rouse (2008), Zhang & Peacock (2009)	
	Habitat collectif / démité du bâti	négatif	Peacock et al. (2014), Kamel (2012), Myers et al. (2008)	
Facteurs socio-économiques	Faiblesse du niveau de vie (pauvreté, faiblesse ou précarité des revenus)	négatif	Aldrich (2012), Griego et al. (2020), Kamel (2012), Kamel & Loukaitou-Sideris (2004), Lee (2018), Myers et al. (2008), Peacock et al. (2014), Zhang & Peacock (2009)	Taux de chômage
	Éducation	positif	Elliott & Howell (2016)	
	Minorités (ethniques, raciales)	négatif	Elliott & Howell (2016), Kamel (2012), Kamel & Loukaitou-Sideris (2004), Paxson & Rouse (2008), Zhang & Peacock (2009)	Part de population étrangère
	Statut immigrant	négatif	Kamel & Loukaitou-Sideris (2004)	
Structure familiale et démographique	Handicap	négatif	Griego et al. (2020)	
	Ménages célibataires - familles monoparentales	négatif	Elliott & Howell (2016)	
	Genre (femme)	négatif	Bubeck & Thieken (2017)	
	Taille du ménage / nombre d'enfants à charge	négatif	Paxson & Rouse (2008)	

Fujiki, Finance, 2022

17 Parmi l'ensemble des facteurs identifiés, le déficit de capital social, le fait d'être

locataire, le fait d'être issu d'une minorité raciale ou ethnique ou encore la faiblesse des revenus semblent affecter de façon significative la trajectoire des populations sinistrées et donc la propension de ces dernières à subir durablement les conséquences négatives d'une catastrophe :

- Des niveaux faibles d'épargne et de revenus limitent la capacité des habitants sinistrés à se remettre rapidement d'une catastrophe, par exemple à reconstruire leur logement ou à en trouver un autre (Green *et al.*, 2007 ; Masozera *et al.*, 2007). En France, cependant, les revenus des ménages individuels ne sont pas connus ni par les recensements, ni par le biais d'une autre base de données disponible à fine échelle, de manière désagrégée, cohérente, sur l'ensemble de la période d'étude et sur l'ensemble du territoire. Nous nous sommes donc reportés sur le taux de chômage, indicateur indirect de la pauvreté et parmi les plus couramment utilisés dans les études de vulnérabilité (Bigi *et al.*, 2021), afin d'approcher les revenus disponibles.
- Les minorités raciales et ethniques sont également défavorisées, d'abord du fait de plus faibles ressources économiques, ensuite du fait de discriminations raciales qui peuvent être exacerbées lors du processus de reconstruction (Fothergill *et al.*, 1999). Dans le cadre de notre analyse, c'est la part de population étrangère qui est utilisée comme substitut de l'appartenance à une minorité (raciale, ethnique), les recensements en France n'informant pas de ce statut⁷. En France, la situation sociale des résidents étrangers demeure de fait globalement plus défavorable que celle du reste de la population : entre autres exemples, en 2018, le taux de chômage des femmes et des hommes étrangers hors UE est de 23,8 % et 19,6 % respectivement, contre 8,5 % pour les résidents français⁸.
- Les propriétaires sont enfin et à l'inverse largement favorisés dans la période post-catastrophe, du fait d'une meilleure situation économique, de l'absence de loyer à payer, et de politiques publiques priorisant généralement la reconstruction des logements occupés par les ménages propriétaires (Logan, 2006 ; Peacock *et al.*, 2007 ; Whittle *et al.*, 2010). En France, on peut certes poser l'hypothèse de disparités sociales atténuées entre locataires et propriétaires, grâce au dispositif assurantiel Cat-Nat qui permet d'indemniser les ménages victimes de catastrophes naturelles quel que soit leur statut. Cependant, les propriétaires peuvent également bénéficier d'un capital social plus élevé. Défini comme le lien existant entre les individus, et constitué de l'ensemble des ressources liées à la possession d'un réseau durable de relations et à l'appartenance à un groupe (Bourdieu, 1980 ; Putnam, 2000), le capital social joue en effet un rôle majeur en situation post-catastrophe (Moatty *et al.*, 2017). Il permet entre autres aux habitants d'un territoire sinistré de mutualiser les efforts de reconstruction, de faire porter leur voix auprès des autorités pour peser sur les plans de reconstruction supra-locaux (Aldrich, 2012 ; Shimada, 2015). Ce capital social fait écho au "*capital de reconstruction*" évoqué par Hernandez (2009), défini comme l'ensemble des ressources matérielles, sociales, culturelles accumulées par un groupe pour faciliter la reconstruction. Si le capital social, par nature multidimensionnel, est difficile à saisir au travers d'indicateurs quantitatifs exhaustifs et sans ambiguïté (Shimada, 2015), différents travaux ont mis en évidence la forte intrication, dans différents contextes géographiques, entre le statut de propriétaire occupant et le capital social (Brisson, Usher, 2007 ; DiPasquale, Glaeser, 1999 ; Roskruege *et al.*, 2013 ; Yamamura, 2011). Dans notre étude, la part de ménages non propriétaires renseigne donc à la fois sur les conditions de logement et, indirectement, sur le potentiel déficit de capital social.

18 Notons enfin que nous avons fait le choix de ne pas multiplier les indicateurs, ni de les agréger sous la forme d'un indice synthétique, bien qu'il s'agisse d'une approche fréquente dans les études de vulnérabilité (Cutter *et al.*, 2003 ; Fekete, 2009 ; Flanagan *et al.*, 2011 ; Koks *et al.*, 2015 ; Rygel *et al.*, 2006). Les indices de vulnérabilité rencontrent en effet des limites conceptuelles et méthodologiques majeures (Rufat *et al.*, 2019), de sorte que nous leur préférons des indicateurs spécifiques, directement intelligibles, avec une valeur informative et non prédictive. L'objet de l'étude est de suivre l'évolution de la vulnérabilité sur le temps long, d'identifier les territoires *a priori* les plus vulnérables, tout en proposant une méthodologie simple et reproductible, applicable aisément sur d'autres indicateurs.

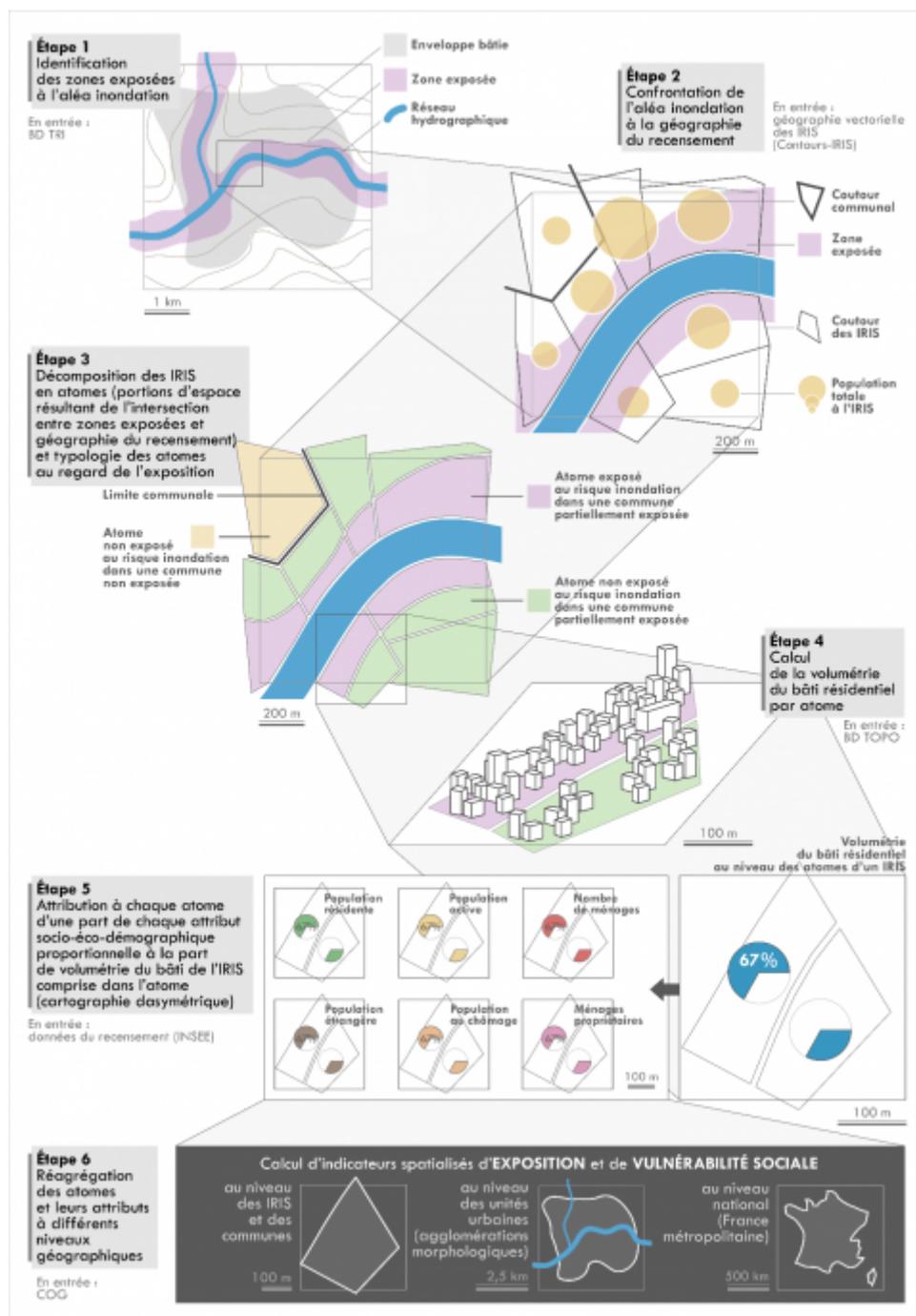
Méthodologie de désagrégation à fine échelle des données de recensement via la volumétrie du bâti exposé

19 Pour estimer précisément en zone inondable et hors zone inondable les effectifs de la population totale et des différents groupes de population qui y résident à une échelle plus fine que celle de l'IRIS, nous nous appuyons sur les techniques d'estimation des populations à très grande échelle régulièrement utilisées dans le cadre des études visant à caractériser l'exposition à l'aléa (Mennis, 2015).

20 La figure 2 explicite la chaîne de traitements suivie. L'étape 1 est simplement constituée par la cartographie des zones couvertes par l'aléa inondation. La surimposition de la géographie infra-communale du recensement (étape 2) indique très vite qu'il serait simpliste et source d'approximations trop importantes de considérer l'intégralité de chaque IRIS et les populations y résidant comme exposés ou non de manière binaire et globale. Les étapes 3 à 5 sont alors nécessaires pour estimer plus finement la quantité de population exposée et sa vulnérabilité sociale.

21 Dans les techniques d'estimation des populations à très fine échelle, il faut distinguer les approches statistiques des méthodes fondées sur la désagrégation spatiale (Biljecki *et al.*, 2016). Les approches statistiques (ou géostatistiques) consistent à construire un modèle statistique à partir d'un échantillon d'observations connues, en identifiant des variables explicatives (souvent relatives aux modes d'occupation des sols) pour prédire la taille ou la densité de la population (la variable dépendante), et à appliquer le modèle pour prédire cette dernière sur des observations non mesurées⁹. Les approches de désagrégation, quant à elles, consistent à répartir la population d'une entité géographique source (par exemple des municipalités ou des régions) au sein d'entités cibles (par exemple une couche de bâti ou un carroyage uniforme du territoire) en fonction d'une variable auxiliaire, très généralement une variable surfacique. Dans les approches de désagrégation, la méthode la plus simple consiste à désagréger la population de l'entité source en fonction de la superficie totale des entités cibles, avec le postulat implicite d'une homogénéité spatiale des enjeux dans les entités sources et cibles. De façon opérationnelle, ce sont néanmoins les méthodes de cartographie dasymétrique qui sont utilisées, visant dans leur version la plus commune à désagréger la population en fonction de la seule surface réellement bâtie ou habitée du territoire (Freire *et al.*, 2016 ; Tapp, 2010 ; Wright, 1936). Cependant, beaucoup plus que l'algorithme de spatialisation choisi et sa sophistication, ce sont bien la qualité et la précision des données utilisées qui permettent d'obtenir des estimations proches de la réalité (Batista e Silva *et al.*, 2013 ; Martin *et al.*, 2000). Biljecki *et al.* (2016) mettent en évidence, dans une comparaison des méthodes d'estimations de la population à fine échelle, l'intérêt d'utiliser comme variable auxiliaire des données en trois dimensions, relatives au volume du bâti ou à la surface par étage, comparativement aux données en deux dimensions, relatives à la seule surface au sol du bâti.

Figure 2 : Chaîne de traitements suivie dans l'élaboration d'indicateurs spatialisés d'exposition et de vulnérabilité sociale autour du cas d'une ville fictive



Fujiki, Finance, 2022

22 Dans le cadre de cette étude, le choix a donc été fait de s'appuyer sur une méthode de cartographie dasymétrique fondée sur l'utilisation de données 3D de haute résolution, via la BD Topo présentée précédemment. Les étapes 3 à 5 de la figure 2 illustrent cette démarche. L'intersection spatiale entre la géographie vectorielle des IRIS et le zonage de l'aléa inondation (étape 3) permet premièrement d'obtenir des atomes de trois types selon leur exposition propre et l'exposition de leur commune d'appartenance (exposés, non exposés dans une commune non exposée, non exposés dans une commune partiellement exposée). La volumétrie totale de bâti résidentiel de chaque atome est calculée via la BD Topo dans l'étape 4, et il est attribué en étape 5 à chaque atome la même proportion d'habitants et de chaque attribut démographique que la proportion de volumétrie du bâti de l'IRIS observée à l'atome.

23 Dans une dernière étape, les atomes sont regroupés à l'échelle d'analyse souhaitée, de l'IRIS à l'échelle nationale en passant par l'échelle de la commune et de l'unité urbaine. La mesure de la précision des résultats obtenus est décrite en annexe 2.

Cette réagrégation à différentes échelles d'analyse ouvre la possibilité de calculer des indicateurs d'exposition à chacune de ces échelles (nombre et part de population exposée), tout comme de vulnérabilité sociale (part de population socialement vulnérable en zone inondable et hors zone exposée à l'échelle d'analyse souhaitée). Ce sont ces indicateurs qui sont exploités dans les sections suivantes de cette étude, à l'échelle nationale tout d'abord puis à l'échelle individuelle des agglomérations exposées.

Dynamiques de vulnérabilité à l'échelle nationale

24 L'estimation de la population soumise au risque inondation au niveau national est intrinsèquement liée à la définition de l'aléa choisie. S'il est communément admis que plusieurs millions d'habitants sont exposés à ce risque, les estimations varient très largement entre des approches minimalistes et maximalistes de la définition de l'aléa. L'exploitation de l'Enveloppe Approchée des Inondations Potentielles (EAIP)¹⁰ aboutit par exemple à une estimation de la population exposée à un débordement de cours d'eau à 16,8 millions d'habitants en France métropolitaine, et celle exposée à un risque de submersion marine à 1,4 million d'habitants. Le Commissariat Général au Développement Durable (CGDD) estime, quant à lui, la population en zone inondable à environ 6,2 millions d'habitants (Service de l'Observation et des Statistiques, 2012) à partir d'une cartographie de la BD AZI et des PPRI (Plans de Prévention des Risques Inondation) croisée à la répartition de la population construite par désagrégation surfacique simple. Il s'agit ici de préciser l'ordre de grandeur de la population exposée à l'aléa inondation en nous appuyant sur la méthodologie proposée précédemment, avant d'en esquisser la vulnérabilité sociale.

Une croissance de l'exposition qui décélère à l'échelle nationale

25 L'application de la chaîne de traitements proposée dans la section précédente permet d'aboutir à une estimation de très grande précision et à très grande échelle de la population exposée à l'aléa inondation. En 2017, la population de France métropolitaine résidant en zone inondable peut être estimée à 2,61 millions d'habitants en nous appuyant sur la BD TRI (tableau 5). Les autres sources de données impliquent une estimation substantiellement supérieure. Elle s'élèverait à 4,14 millions d'habitants en nous appuyant sur la BD AZI, voire à 4,93 millions en considérant l'une ou l'autre de ces définitions de l'aléa. Enfin, dans le cadre d'une approche maximaliste de l'aléa, en intégrant à la fois les zones couvertes par les bases TRI, AZI et JRC, on décompterait 6,73 millions d'habitants en zone inondable, en cohérence avec l'ordre de grandeur des estimations du CGDD évoqué précédemment. Quelle que soit la source choisie, la quantité de population exposée est en croissance soutenue sur la période 1999-2017 (de 180 000 à 519 000 habitants exposés supplémentaires en deux décennies, selon la source), mais cette croissance absolue est cependant moitié moindre entre 2008 et 2017 que sur la première partie de la période couverte (évolution de l'ordre de 2,5 % entre 2008 et 2017, contre 5 % environ entre 1999 et 2008). Outre cette rupture entre les deux périodes, on note aussi que même si la croissance absolue de la population est notable, elle reste inférieure à la croissance globale de la population : la part de la population totale exposée décroît de 1999 à 2008 et de 2008 à 2017, et ceci quelle que soit la définition de l'aléa. Ces estimations sont ainsi largement inférieures à celles fondées sur l'EAIP, dont les postulats – aléa extrême et absence de considération des aménagements de

protection – correspondent à une approche (plus que) maximaliste de l'aléa inondation.

Tableau 5 : Indicateurs d'exposition au risque inondation à l'échelle nationale

		BD TRI			BD AZI			BD AZI & TRI			BD AZI & TRI & JRC		
		1999	2008	2017	1999	2008	2017	1999	2008	2017	1999	2008	2017
Population exposée	Brute (millions)	2,43	2,55	2,61	3,84	4,04	4,14	4,58	4,80	4,93	6,21	6,53	6,73
	Évolution (%)	+4,70	+2,58		+5,37	+2,49		+4,82	+2,51		+5,26	+2,94	
Part de la population totale exposée	Brute (%)	4,16	4,10	4,04	6,55	6,51	6,41	7,83	7,73	7,62	10,61	10,52	10,41
	Évolution (points)	-0,06	-0,06		-0,05	-0,10		-0,10	-0,11		-0,09	-0,11	

Fujiki, Finance, 2022

26 La croissance absolue de population soutenue, identifiée à partir de nos diverses sources, est par ailleurs en cohérence avec les autres travaux portant sur l'évaluation de l'exposition en France : un rapport du CGDD fait état de la construction de près de 100 000 logements en zone inondable entre 1999 et 2006, dans les 424 communes françaises comptant plus de 10 000 habitants soumises au risque inondation (Laporte, 2009). La variation relative négative de population exposée (tout comme la rupture de la variation brute entre les deux parties de la période considérée), quant à elle, est probablement à mettre en lien avec la mise en place effective des PPRI tout au long des années 2000. Ces dispositifs viennent réguler l'urbanisation des zones inondables, et ce malgré la pression foncière forte qui s'exerce sur les espaces littoraux et fluviaux (Rode, 2012). Duvillard *et al.* (2020) mettent en évidence, dans le cas du Gard, l'impact majeur de la réglementation, et en particulier de la loi Barnier de 1995 (qui rend obligatoire les PPRI), pour freiner le rythme des constructions en zone inondable. Le rapport du CGDD déjà cité met aussi en évidence le fait que la création de logements en zone inondable se fait d'abord par densification, beaucoup plus que par extension urbaine (Laporte, 2009).

Un cumul exposition-vulnérabilité sociale observé à l'échelle nationale

27 Afin d'identifier le potentiel cumul entre exposition et vulnérabilité sociale à l'échelle nationale, les indicateurs de vulnérabilité sélectionnés précédemment sont calculés à la fois pour les zones inondables, les zones non inondables des communes exposées, les zones non exposées et pour l'échelle nationale. Quelle que soit la base de données utilisée pour caractériser l'aléa, et quel que soit l'indicateur sélectionné, les zones inondables affichent systématiquement des taux de vulnérabilité sociale plus élevés que les zones non inondables, même en tenant compte du contexte géographique – ce que permet la comparaison entre zones inondables et zones non inondables des communes exposées (tableau 6). On observe par exemple avec la BD TRI que la part de ménages non propriétaires est supérieure de 3 points en zones inondables par rapport aux zones non inondables des communes exposées (plus de 55 % en 2017 contre un peu plus de 52 %) ; le taux de chômage et la part d'étrangers sont également systématiquement supérieurs en zone inondable.

Tableau 6 : Indicateurs de vulnérabilité sociale à l'échelle nationale

		BD TRI			BD AZI		
		1999	2008	2017	1999	2008	2017
Part de ménages non propriétaires (%)	Zones inondables	57,1	55,2	55,2	52,1	50,0	50,1
	Zones non inondables des communes exposées	54,6	52,0	52,3	47,3	44,2	44,2
	Hors zones exposées	38,8	35,9	35,8	42,4	39,7	39,6
	France métropolitaine	45,3	42,4	42,4	45,3	42,4	42,4
	Variation relative de l'indicateur en zones inondables par rapport au contexte local ou national (1999-2017)	-1,9 pt en zones inondables -2,3 pts en zones non inondables des communes exposées -2,9 pts en France métropolitaine	Ratio contextuel = 0,82 Décroissance plus lente en zone inondable Ratio national = 0,65 Décroissance plus lente en zone inondable			-2,0 pts en zones inondables -3,1 pts en zones non inondables des communes exposées -2,9 pts en France métropolitaine Ratio contextuel = 0,65 Décroissance plus lente en zone inondable Ratio national = 0,69 Décroissance plus lente en zone inondable	
Taux de chômage (%)	Zones inondables	15,5	13,2	15,7	14,7	12,6	15,0
	Zones non inondables des communes exposées	15,0	12,6	15,1	13,1	11,2	13,7
	Hors zones exposées	12,0	10,1	12,3	13,0	10,8	12,9
	France métropolitaine	13,2	11,1	13,4	13,2	11,1	13,4
	Variation relative de l'indicateur en zones inondables par rapport au contexte local ou national (1999-2017)	+0,2 pt en zones inondables +0,1 pt en zones non inondables des communes exposées +0,2 pt en France métropolitaine	Ratio contextuel = 2,28 Croissance plus rapide en zone inondable Ratio national = 0,95 Croissance similaire en zone inondable			+0,4 pt en zones inondables +0,5 pt en zones non inondables des communes exposées +0,2 pt en France métropolitaine Ratio contextuel = 0,70 Croissance plus lente en zone inondable Ratio national = 1,91 Croissance plus rapide en zone inondable	
Part d'étrangers (%)	Zones inondables	8,2	8,6	10,4	7,2	7,4	8,9
	Zones non inondables des communes exposées	7,1	7,4	8,9	5,8	6,0	7,2
	Hors zones exposées	4,5	4,7	5,6	5,2	5,4	6,3
	France métropolitaine	5,6	5,8	6,9	5,6	5,8	6,9
	Variation relative de l'indicateur en zones inondables par rapport au contexte local ou national (1999-2017)	+2,2 pts en zones inondables +1,8 pt en zones non inondables des communes exposées +1,3 pt en France métropolitaine	Ratio contextuel = 1,21 Croissance plus rapide en zone inondable Ratio national = 1,69 Croissance plus rapide en zone inondable			+1,6 pt en zones inondables +1,4 pt en zones non inondables des communes exposées +1,3 pt en France métropolitaine Ratio contextuel = 1,13 Croissance plus rapide en zone inondable Ratio national = 1,24 Croissance plus rapide en zone inondable	

Fujiki, Finance, 2022

28 La dynamique est cependant plus difficile à interpréter : la part de ménages non propriétaires diminue légèrement entre 1999 et 2017 en zone inondable (- 1,9 point), mais de façon moins prononcée que dans le reste du territoire. La comparaison de ces évolutions peut s'effectuer à partir d'un ratio contextuel ramenant l'évolution de l'indicateur de vulnérabilité en zones inondables à celle des zones non inondables des communes exposées, et d'un second ratio dit national ramenant l'évolution en zones inondables à celle observée à l'échelle nationale (tableau 6). Nous préférons le ratio contextuel au ratio national, qui de fait est dépendant de la structure spatiale de l'indicateur à petite échelle. En nous focalisant sur le ratio contextuel et la base TRI, il s'avère que les indicateurs de vulnérabilité s'accroissent plus vite – ou décroissent moins vite – en zones inondables que dans les zones non inondables des communes exposées. La décroissance de la part de ménages non propriétaires est plus lente en zones inondables (ratio contextuel de 0,82), et le taux de chômage et la part d'étrangers croissent plus rapidement en zones inondables (ratios contextuels respectivement de 2,28 et 1,21).

29 Au-delà de ce bilan global, on observe cependant une forte hétérogénéité spatiale qui peut être approchée par une analyse par classe de taille des villes.

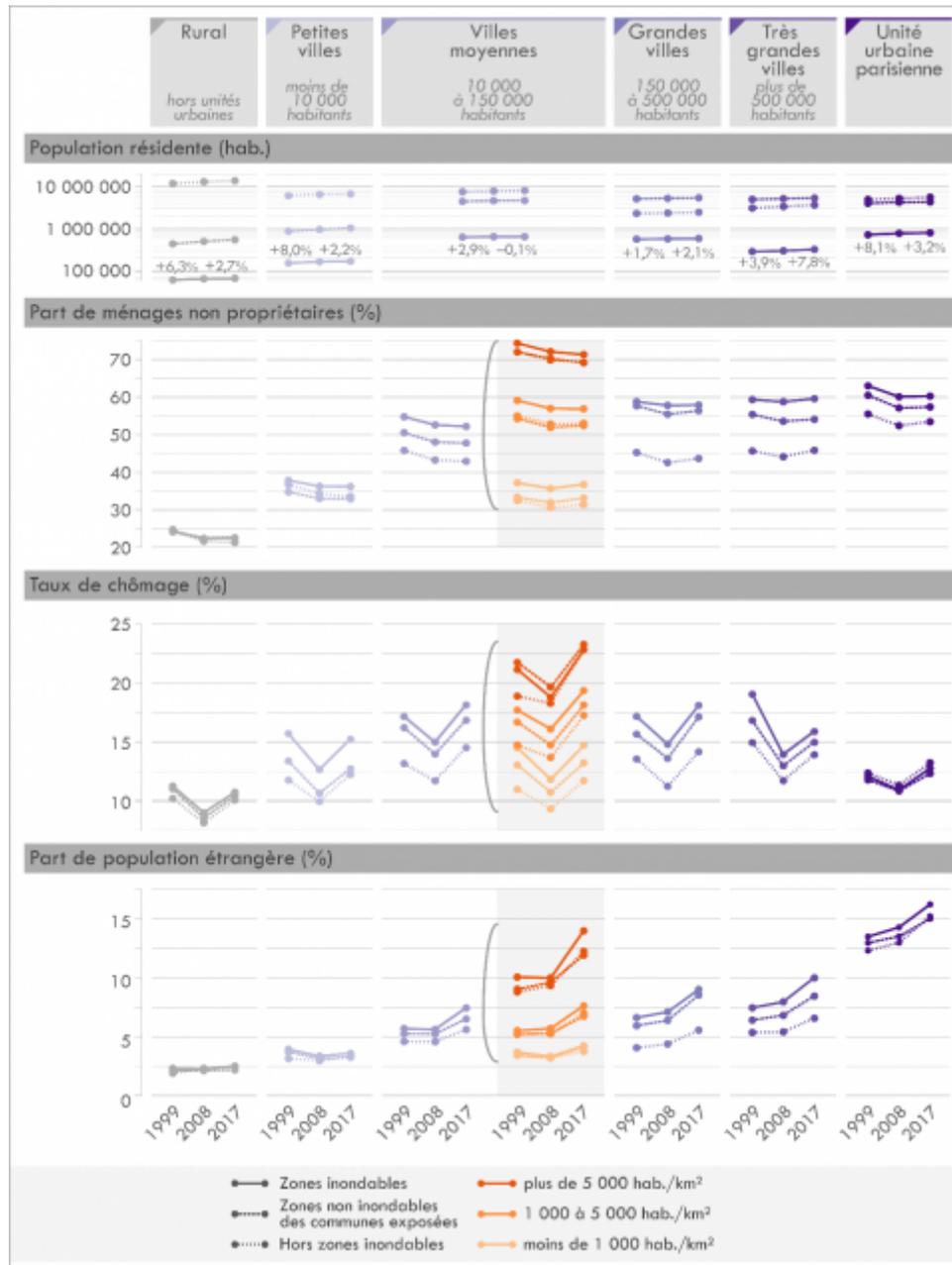
Ampleur et variation de l'exposition et de la vulnérabilité sociale par classes de taille des villes

30 La croissance de la population en zone inondable qui transparait à l'échelle nationale à partir de la base TRI (tableau 5) varie nettement selon la taille des villes (figure 3), considérées dans cette contribution selon un critère morphologique et classifiées en quatre catégories selon leur population totale, en plus de l'agglomération parisienne, considérée à part¹¹.

31 Par rapport à la croissance à l'échelle nationale de la population exposée (+4,70 % entre 1999 et 2008, +2,58 % entre 2008 et 2017), certaines catégories de villes se

distinguent à chaque période. Entre 1999 et 2008, cette croissance est bien plus marquée dans l'unité urbaine parisienne ou encore dans les petites villes. Cette croissance ralentit ensuite dans l'agglomération parisienne (+59 000 habitants entre 1999 et 2008 contre +25 000 habitants entre 2008 et 2017), tout en présentant un taux de croissance supérieur à celui de l'échelle nationale. Dans la deuxième partie de la période étudiée, la variation de population exposée est particulièrement notable dans le cas des très grandes villes (+7,8 %, soit +24 000 habitants) ou à l'inverse dans les villes moyennes (-0,1 %, soit -500 habitants, contre +2,9 % et +18 000 habitants entre 1999 et 2008). De fait, les trajectoires démographiques considérées à l'échelle des communes et des agglomérations ont un impact déterminant sur la croissance de la population en zone inondable (Duvillard *et al.*, 2020).

Figure 3 : Indicateurs d'exposition et de vulnérabilité sociale selon la taille des villes (et selon la densité de population, dans le cas des villes moyennes)



En restreignant l'analyse à la seule comparaison des zones inondables et des zones non inondables des communes exposées, on observe que les niveaux de vulnérabilité sociale tendent à être plus élevés dans les zones inondables, quelle que soit la taille des agglomérations, avec cependant de fortes disparités selon le type d'indicateur choisi (figure 3). Concernant la part de ménages non-propriétaires, les niveaux les plus élevés se retrouvent dans les zones inondables des grandes et très grandes villes

ainsi que dans les zones inondables de l'agglomération parisienne (60 % de ménages non-proprétaires environ) ; les écarts de niveaux avec les zones non inondables des communes exposées sont particulièrement notables dans l'agglomération parisienne (près de 3 points d'écart), dans les villes moyennes (plus de 4 points en 2017) et les très grandes villes (5,5 points en 2017). Concernant le taux de chômage, la différence est la plus marquée dans les villes moyennes¹² : c'est d'ailleurs dans les zones inondables des villes moyennes qu'on observe le plus haut taux de chômage en France métropolitaine en 2017, supérieur à 18 %. L'écart entre zones inondables et non inondables est plus marqué dans les très grandes villes et l'agglomération parisienne concernant la part de population étrangère, avec un niveau record observé dans les zones inondables de la capitale (16 %). Notons enfin que, dans les grandes villes, l'écart est certes plus réduit entre les zones inondables et non inondables des communes exposées, cependant, dans l'absolu, ces niveaux demeurent systématiquement élevés, quel que soit l'indicateur choisi : 57 % de ménages non-proprétaires en zone inondable, un taux de chômage de 18 %, une proportion de population étrangère supérieure à 9 %.

33 La dynamique observée, sur la période d'étude, est plus nuancée encore, avec de fortes variations observées selon le type d'agglomérations et les indicateurs. Les villes moyennes voient leur part de population étrangère et taux de chômage augmenter en zone inondable, et plus rapidement que dans les zones non inondables des communes exposées ; la part de ménages non-proprétaires diminue légèrement dans les zones inondables, cependant de façon moins rapide que dans les zones non inondables. Dans les grandes villes, taux de chômage et proportion de population étrangère augmentent également en zone inondable, mais à un rythme moins soutenu que les zones non inondables ; la part de ménages non-proprétaires est quasi-stable. Dans l'agglomération parisienne, on observe également une croissance de la part de population étrangère et du taux de chômage dans les zones inondables, une légère diminution de la part de ménages non-proprétaires, des évolutions du même ordre que celles observées hors zones inondables. Les très grandes villes apparaissent ici à contre-courant des dynamiques observées ailleurs : la part de population étrangère augmente dans les zones inondables, avec un écart accru vis-à-vis des zones non inondables ; la part de ménages non-proprétaires stagne en zone inondable, tandis qu'elle tend à diminuer légèrement hors zone inondable. Surtout, le taux de chômage diminue fortement dans les zones inondables (en partant certes de très haut, les zones inondables des très grandes villes présentant les taux de chômage les plus importants en 1999) : l'écart se réduit aussi avec les zones non inondables.

34 Cette analyse par classes de taille de villes peut être raffinée, en ségrégeant les résultats sur les indicateurs de vulnérabilité en fonction de classes de densité de population résidente à grande échelle¹³. Ceci est illustré sur la figure 3 dans le cas des villes moyennes, les milieux qui concentrent le plus grand nombre d'habitants en zone inondable après l'agglomération parisienne. Si la population exposée se stabilise dans l'ensemble dans les villes moyennes, l'exposition croît fortement dans les zones relativement peu denses (+9,6 % entre 1999 et 2017), décroît dans les zones relativement denses (-2,0 %), et revient en 2017 à son niveau de 1999 dans les zones les plus denses après une croissance marquée (+3,1 % entre 1999 et 2008, -2,9 % entre 2008 et 2017). Surtout, la vulnérabilité sociale semble s'y accentuer d'autant plus que la densité de population est élevée (figure 3) : cette vulnérabilité est toujours plus marquée dans les zones les plus denses que dans les zones moins densément peuplées, elle est par ailleurs presque systématiquement plus marquée dans les zones inondables les plus denses que dans les zones non inondables les plus denses, et la croissance du taux de chômage et de la part de la population étrangère dans les villes moyennes est largement portée par les zones inondables les plus denses. On observe donc une restructuration notable de la vulnérabilité des villes moyennes : une exposition plus élevée dans les espaces peu denses, une vulnérabilité sociale accrue dans les espaces plus denses, qui accompagne une décroissance démographique.

Dynamiques de vulnérabilité à l'échelle des agglomérations exposées

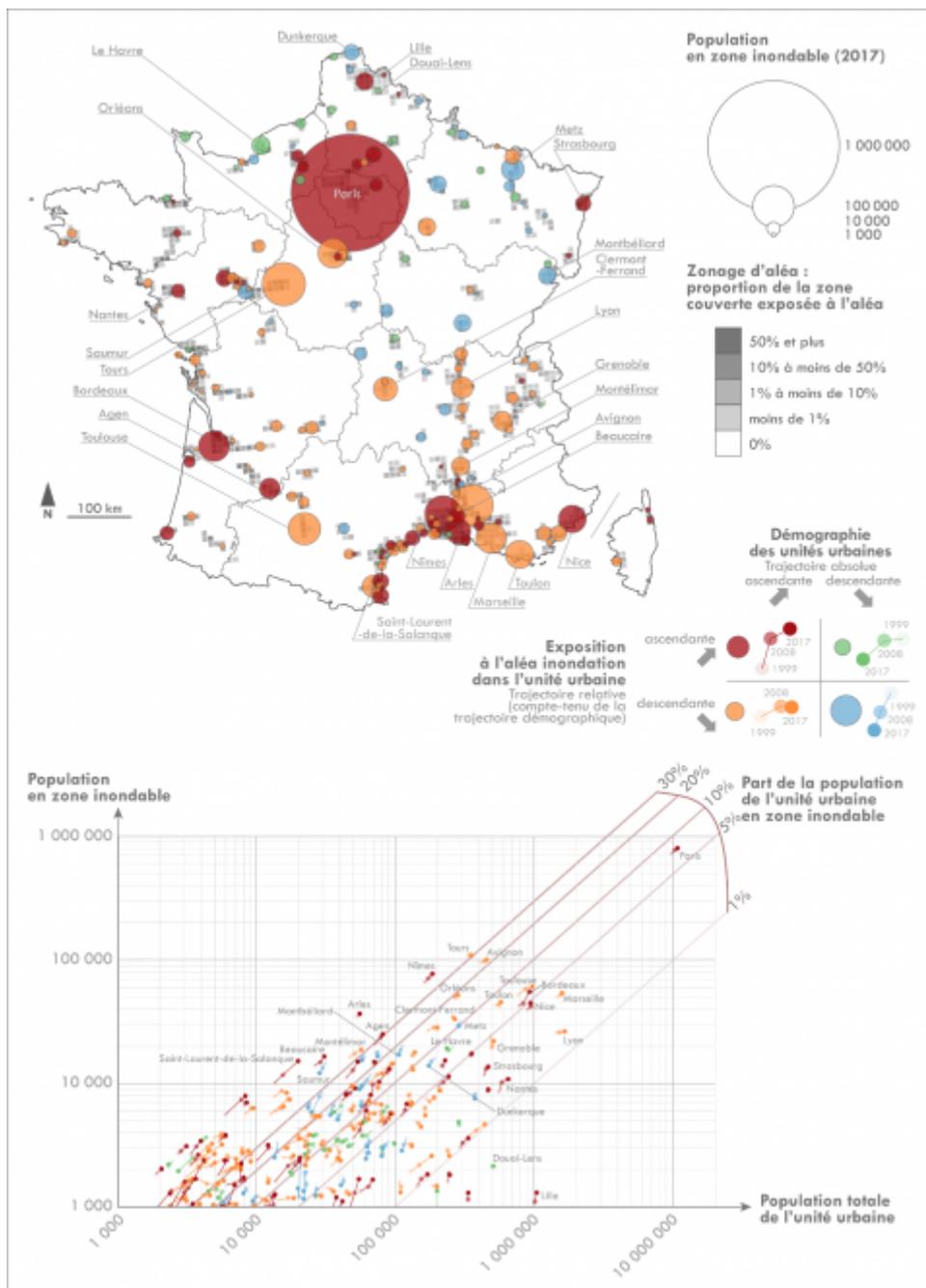
35 Dans cette dernière partie, l'approche par classe de ville est abandonnée en individualisant chaque unité urbaine. Les résultats à l'échelle nationale masquent de fait de fortes variations à l'échelle locale ; il s'agit ici d'identifier des contextes locaux d'exposition et de vulnérabilité spécifiques par rapport aux tendances identifiées précédemment à l'échelle nationale et par classes de villes. Pour les révéler, nos analyses sont décomposées à l'échelle des 195 unités urbaines comportant plus de 1 000 habitants en zone inondable en 2017 selon la BD TRI.

Une croissance de la population en zone inondable corrélée à la croissance démographique globale des villes

36 Les trajectoires d'exposition des unités urbaines révèlent tout d'abord une très forte concentration spatiale de la population urbaine exposée. Dix agglomérations cumulent à elles seules 54 % de la population totale résidant en zone inondable : Paris (809 000 habitants), Tours (109 000), Avignon (101 000), Nîmes (77 000), Toulouse (61 000), Bordeaux (55 000), Marseille (54 000), Orléans (52 000), Toulon (46 000), Nice (45 000). Ces dix grandes et très grandes villes présentent cependant des profils d'exposition divers, de moins de 5 % de population exposée (Marseille et Nice) à plus de 40 % (Nîmes).

37 Cette distribution inégale de l'exposition se retrouve dans les dynamiques observées entre 1999 et 2017 (figure 4) : certes, l'évolution de la population en zone inondable est corrélée à la trajectoire démographique globale des villes, les villes en croissance observant généralement une croissance de la population en zone inondable, et inversement¹⁴. Cependant, certaines agglomérations se détachent par des situations atypiques. Pour prendre l'exemple des très grandes villes, si celles-ci voient toute leur population en zone inondable augmenter dans l'absolu, cette croissance se fait à des rythmes très hétérogènes : la croissance en zone inondable est ainsi bien supérieure à Bordeaux qu'à Lyon (augmentation de 30 % contre 3 % entre 1999 et 2017), alors que les deux agglomérations observent un taux de variation comparable de leur population totale.

Figure 4 : Trajectoires d'exposition des unités urbaines au risque inondation



Fujiki, Finance, 2022

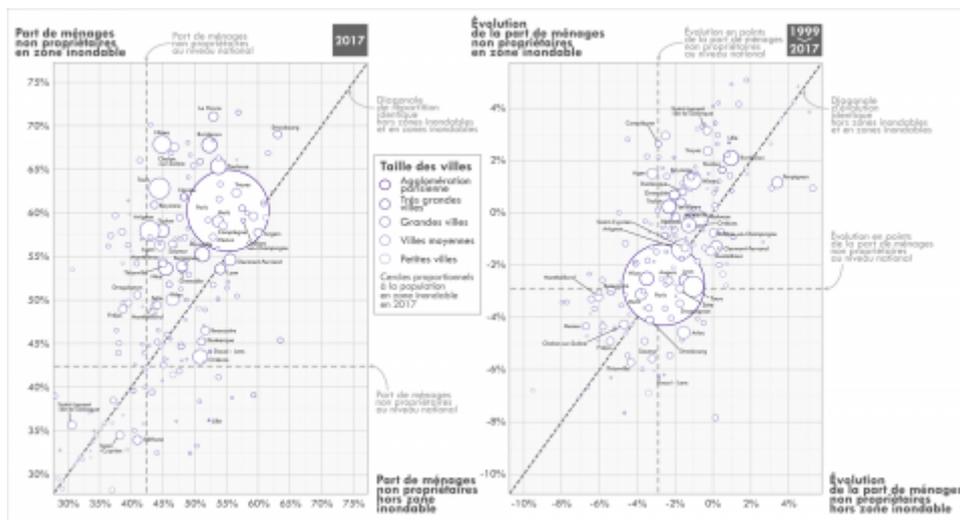
38 Des tendances régionales émergent de cette analyse. On remarque premièrement l'axe rhodanien où la croissance démographique en zone inondable est contenue à des niveaux plus faibles que la croissance démographique globale, résultant en une trajectoire d'exposition descendante de ces villes. Le littoral méditerranéen se détache à l'inverse par un grand nombre de cas de villes où la croissance démographique est plus forte encore en zones inondables qu'au niveau de l'ensemble de l'agglomération, résultant en une augmentation relative de la part de population exposée au cours du temps. Les villes en décroissance démographique présentent elles aussi des trajectoires d'exposition variables, ascendantes avec une décroissance moins rapide de la population en zones inondables comme au Havre, ou descendantes avec une décroissance plus rapide de la population exposée comme à Metz.

Une majorité de villes qui cumule exposition et vulnérabilité sociale

39 Si à l'échelle nationale, les zones inondables présentent des niveaux de vulnérabilité sociale plus élevés que le reste du territoire, à l'échelle des agglomérations, la situation est plus nuancée. Les trois figures suivantes comparent, à gauche, les valeurs de chaque indicateur de vulnérabilité sociale retenu en zones inondables et hors zones inondables pour chaque agglomération en 2017, et à droite son évolution entre 1999 et 2007 (figures 5, 6 et 7). Sur ces figures, la diagonale correspond à une situation d'équilibre dans la vulnérabilité sociale et dans l'évolution de la vulnérabilité sociale entre zones inondables et non inondables d'une même agglomération ; une ville positionnée au-dessus de la diagonale affiche alors une vulnérabilité sociale plus marquée en zone inondable.

40 Concernant la part de ménages non propriétaires, ce premier indicateur présente à la fois des valeurs supérieures à la moyenne nationale de manière quasi-systématique, et des valeurs plus importantes en zones inondables qu'en zones non inondables dans la très grande majorité des agglomérations (figure 5). Parmi les dix villes les plus exposées, Nîmes et Bordeaux présentent des niveaux très élevés de vulnérabilité sociale, avec environ 68 % de ménages non-propriétaires en zone inondable, contre 52 % hors zone inondable pour Bordeaux et 45 % pour Nîmes. Dans une moindre mesure, Paris, Toulouse, Tours, Avignon et Toulon présentent aussi une surreprésentation des ménages non-propriétaires en zone inondable, alors qu'Orléans se démarque par une part de ménages non propriétaires plus faible en zone inondable que ce qui est observé dans le reste de l'agglomération. La dynamique sur les vingt dernières années est beaucoup plus nuancée : notons cependant que la décroissance globale de la part de ménages non-propriétaires ne s'observe pas dans les zones inondables de Toulon, Nîmes et Bordeaux.

Figure 5 : Vulnérabilité sociale des zones inondables urbaines au prisme de la part des ménages non propriétaires

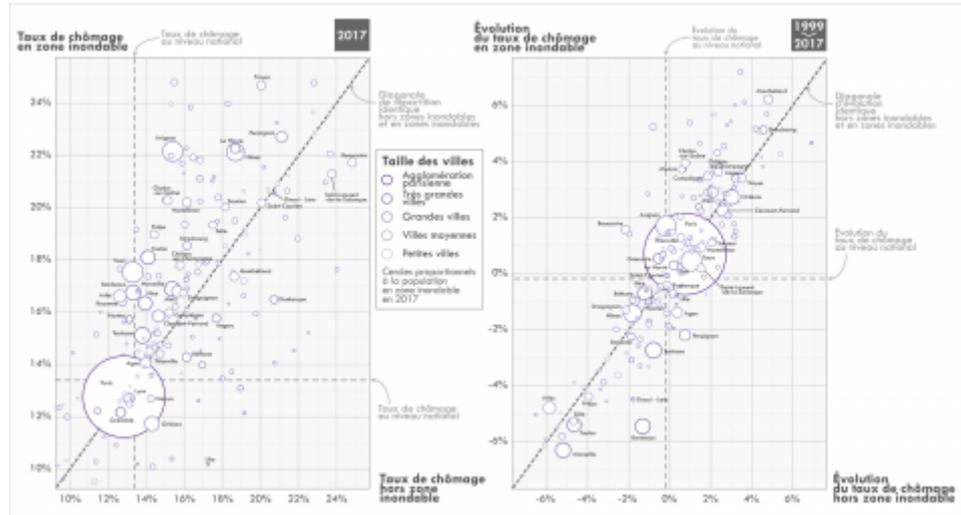


Fujiki, Finance, 2022

41 Lorsque l'on aborde la vulnérabilité sociale sous l'angle du chômage, on observe dans une grande majorité d'agglomérations un taux supérieur en zone inondable à celui estimé hors de celle-ci (figure 6). Cependant et contrairement à l'indicateur précédent, les très grandes villes semblent ici moins vulnérables socialement – l'agglomération parisienne se situe même en-dessous de la moyenne nationale – contrairement à une partie significative des grandes villes et villes moyennes. Avignon et Nîmes apparaissent comme des villes à la fois très exposées et présentant de très hauts niveaux de vulnérabilité sociale : le taux de chômage est de 22 % à Nîmes et à Avignon en zone inondable (contre 19 % et 15 % hors zone inondable). À l'inverse et ici encore, Orléans se distingue par un faible taux de chômage de sa zone inondable : moins de 12 %, contre plus de 14 % hors zone inondable. Dans les évolutions observées entre 1999 et 2017, notons également une situation très

disparate, avec peu de différences entre les zones inondables et non inondables (cercles proches de la diagonale) : Bordeaux apparaît ici comme une exception majeure, où la diminution du taux de chômage en zone inondable est très marquée (-5,5 points) et beaucoup plus forte que celle observée sur le reste de l'agglomération (-1 point). En 2017, le taux de chômage en zone inondable est encore relativement élevé (17 %), mais l'écart s'est fortement réduit avec le reste de l'agglomération.

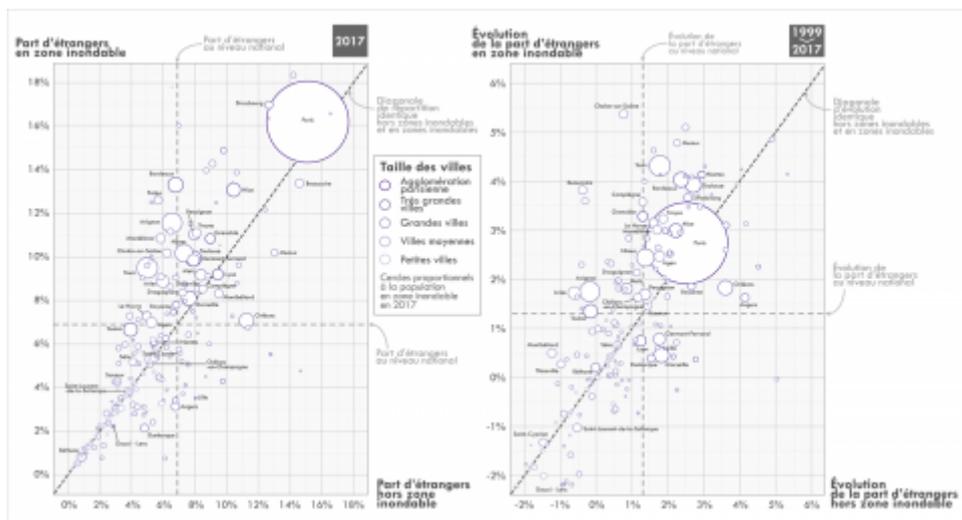
Figure 6 : Vulnérabilité sociale des zones inondables urbaines au prisme du taux de chômage



Fujiki, Finance, 2022

42 Enfin, la part de population étrangère est certes généralement plus élevée en zones inondables qu'hors de celles-ci, mais les disparités entre agglomérations sont importantes (figure 7). Cette part apparaît de fait relativement faible dans les zones inondables d'un grand nombre de villes moyennes, souvent même inférieure à la moyenne nationale (7 %). Parmi les villes fortement exposées de plus grande taille, on retrouve une proportion très élevée d'étrangers en zone inondable dans l'agglomération parisienne (16 % en zone inondable), à Bordeaux et à Nice (13 % en zone inondable contre respectivement 7 % et 10 % hors zone inondable), dans une moindre mesure à Avignon, Nîmes, Tours ou Toulouse (environ 10 à 11 % en zone inondable contre 8 % hors zone inondable). À Orléans, si la part de population étrangère est élevée hors zone inondable (supérieure à 11 %), cette proportion est à peine supérieure à la moyenne nationale dans la zone inondable de l'agglomération. Dans une très grande majorité d'agglomérations, la proportion d'étrangers croît, et ceci plus rapidement en zone inondable qu'hors de celles-ci : les agglomérations de Tours, de Bordeaux, de Toulouse sont particulièrement concernées (+4 points environ), dans une moindre mesure Nice (+3 points) ou Paris (pour cette dernière, l'augmentation de la part d'étrangers en zone inondable est identique à celle observée hors de celle-ci, inférieure à 3 points). À l'inverse, à Orléans, l'augmentation dans la zone inondable est largement inférieure à celle observée hors zone inondable (+2 points contre +4 points), de même qu'à Marseille (+0,5 point contre +2 points).

Figure 7 : Vulnérabilité sociale des zones inondables urbaines au prisme de la part d'étrangers



Fujiki, Finance, 2022

Conclusion

43 À la lecture des résultats, nous pouvons tenter de répondre aux hypothèses posées initialement, abordant le cumul systématique exposition-vulnérabilité sociale et son intensification au cours du temps :

1. Sur un plan synchronique, nous observons effectivement un cumul entre exposition et vulnérabilité sociale. La vulnérabilité sociale, quel que soit l'indicateur choisi, est plus élevée en zone inondable qu'hors zone inondable, à l'échelle nationale. Si les écarts observés peuvent paraître relativement faibles (quelques points), ils demeurent porteurs de sens du fait de l'emprise de notre analyse, intégrant l'ensemble du territoire métropolitain. Le cumul observé reste valable quelle que soit la classe d'agglomérations analysée, et ce même en tenant compte du contexte géographique, en comparant les zones inondables et non inondables des seules communes exposées.
2. Sur un plan diachronique, la réponse est beaucoup plus nuancée, et on ne peut conclure dans le sens d'une intensification systématique du cumul exposition-vulnérabilité sociale au cours du temps. À l'échelle nationale, la part de population exposée diminue (même si la quantité de personnes exposées augmente), mais la vulnérabilité sociale de la population croît plus rapidement ou décroît plus lentement en zones inondables qu'hors de celles-ci. À l'échelle des villes, l'exposition stagne depuis 2008 dans les villes moyennes, là où elle présente une croissance modérée à forte respectivement dans les grandes et les très grandes villes. Concernant la vulnérabilité sociale, les dynamiques sont clairement contradictoires selon la taille des agglomérations et l'indicateur choisi. Notons néanmoins la situation particulière des très grandes villes, avec une diminution forte du taux de chômage en zone inondable, à rebours de ce qui est observé dans les autres classes d'agglomérations où ce même taux augmente.

44 Les résultats obtenus doivent être observés au regard des limites des données et des indicateurs utilisés, tant pour caractériser l'aléa que la vulnérabilité sociale. Concernant la caractérisation de l'aléa, et donc de l'exposition, celle-ci s'appuie sur le postulat d'un zonage de l'aléa inondation demeuré identique entre 1999 et 2017 : ce postulat ignore donc les évolutions qui ont eu lieu au cours des vingt dernières années – la création d'aménagements structurels visant à protéger les populations, ou à l'inverse l'extension des zones artificialisées et imperméabilisées qui ont pu altérer, localement, l'aléa. De même, notre analyse à l'échelle urbaine s'appuie sur

une base de données (BD TRI) qui se focalise par définition sur les zones les plus à risque, excluant ainsi une partie de la hiérarchie urbaine et limitant de fait la portée de nos conclusions. Les petites villes sont en majorité non couvertes par cette base, et celles qui le sont se situent généralement à proximité des grandes villes, et ne sont donc pas nécessairement représentatives de l'ensemble des petites villes potentiellement affectées par l'aléa. Des analyses complémentaires non publiées, menées à partir des BD AZI et JRC et intégrant davantage de petites villes, tendent cependant vers des résultats similaires. Concernant la vulnérabilité sociale, les dynamiques observées à l'échelle des agglomérations exposées, par ailleurs et généralement peu marquées, doivent être d'autant plus nuancées du fait des imprécisions propres à la méthode de cartographie dasymétrique, à l'hétérogénéité dans la résolution des données utilisées selon la date de recensement. Enfin, la parcimonie avec laquelle le nombre et le type d'indicateurs ont été choisis pourrait occulter d'autres dimensions de la vulnérabilité sociale ; la méthodologie proposée ici, simple, détaillée et reproductible, est aisément répliquable sur d'autres indicateurs pour compléter ces résultats.

45 Si les hypothèses trouvent des réponses franches à l'échelle nationale, les tendances identifiées occultent de fortes disparités géographiques d'une agglomération à l'autre. L'exposition est ainsi très inégalement répartie dans l'espace ; dix agglomérations concentrent 54 % de la population en zone inondable en France, presque un tiers du total pour la seule agglomération parisienne. Ces zones inondables sont diversement vulnérables sur un plan social : si les indicateurs de vulnérabilité sociale sont majoritairement plus élevés en zone inondable qu'hors zone inondable, certaines villes se distinguent ainsi par une situation inverse : dans les agglomérations les plus exposées à l'aléa, Orléans présente ainsi un taux de chômage, une part de population étrangère, une part de ménages non-proprétaires inférieures en zone inondable à ce qui est observé hors zone exposée. Cette étude confirme ici l'intérêt d'une approche spatialisée et géographique de la vulnérabilité, pour comprendre comment les contextes locaux aboutissent à des situations à risque.

46 Si cette étude, à vocation exploratoire, a pour limite d'être strictement descriptive, elle pourra à l'avenir à être complétée par un modèle statistique explicatif pour comprendre les mécanismes socio-spatiaux qui favorisent le cumul observé entre exposition et vulnérabilité sociale. L'état du marché foncier, les politiques de l'habitat et plus globalement les politiques d'aménagement urbain sont autant de clés de compréhension indispensables pour mettre en évidence les motifs pour lesquels, dans certains territoires, ce sont effectivement les populations les plus vulnérables socialement qui sont aussi les plus exposées, et pourquoi cette situation s'inverse, ponctuellement, sur d'autres territoires.

Bibliographie

Aldrich D., 2012, *Building resilience. Social capital in post-disaster recovery*, The University of Chicago Press, Chicago, Londres.

Aldrich D., 2016, "It's who you know: factors driving recovery from Japan's 11 March 2011 disaster", *Public Administration*, vol. 94, 399-413, [en ligne]. URL: <https://onlinelibrary-wiley-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/doi/abs/10.1111/padm.12191>
DOI : 10.1111/padm.12191

Alexander D., 2000, *Confronting catastrophe. New perspectives on natural disasters*, Oxford University Press, Oxford.

Antoni V., Albizzati C., Quintelier C., 2020, *Risques climatiques : six Français sur dix sont d'ores et déjà concernés*, CGDD, Paris, [en ligne]. URL: <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2020-01/datalab-essentiel-202-risques-climatiques-janvier2020.pdf>

Batista e Silva F., Gallego J., Lavalley C., 2013, "A high-resolution population grid map for Europe", *Journal of Maps*, vol. 9, 16-28, [en ligne]. URL: <https://www.tandfonline-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/doi/ref/10.1080/17445647.2013.764830>

DOI : 10.1080/17445647.2013.764830

Bigi V., Comino E., Fontana M., Pezzoli A., Rosso M., 2021, "Flood Vulnerability Analysis in Urban Context: A Socioeconomic Sub-Indicators Overview", *Climate*, vol. 9, No.12, [en ligne]. URL: <https://www.mdpi.com/2225-1154/9/1/12>

Biljecki F., Ohori K.A., Ledoux H., Peters R., Stoter J., 2016, "Population Estimation Using a 3D City Model: A Multi-Scale Country-Wide Study in the Netherlands", *PLOS ONE*, vol. 11, [en ligne]. URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0156808>
DOI : 10.1371/journal.pone.0156808

Bocquier A., Cortaredona S., Boutin C., David A., Bigot A., Chaix B., Gaudart J., Verger P., 2013, "Small-area analysis of social inequalities in residential exposure to road traffic noise in Marseilles, France", *European Journal of Public Health*, vol. 23, 540-546, [en ligne]. URL : <https://academic-oup-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/eurpub/article/23/4/540/425766>
DOI : 10.1093/eurpub/cks059

Bourdieu P., 1980, "Le capital social", *Actes de la recherche en sciences sociales*, vol. 31, 2-3, [en ligne]. URL: https://www.persee.fr/doc/arss_0335-5322_1980_num_31_1_2069
DOI : 10.3917/idee.169.0063

Brisson D., Usher C.L., 2007, "The Effects of Informal Neighborhood Bonding Social Capital and Neighborhood Context on Homeownership for Families Living in Poverty", *Journal of Urban Affairs*, vol. 29, 65-75, [en ligne]. URL: <https://onlinelibrary-wiley-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/doi/abs/10.1111/j.1467-9906.2007.00323.x>
DOI : 10.1111/j.1467-9906.2007.00323.x

Bubeck P., Thielen A., 2017. "What helps people recover from floods? Insights from a survey among flood-affected residents in Germany", *Regional Environmental Change*, vol. 18, 287-296, [en ligne]. URL : <https://link-springer-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/article/10.1007/s10113-017-1200-y>
DOI : 10.1007/s10113-017-1200-y

Cardona O., 2003, "The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective: a necessary review and criticism for effective risk management", in: Bankoff G., Frerks G., Hilhorst D. (eds), *Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People*, Earthscan, Londres, 37-51.

Caudeville J., Rican S., 2016, "Étude de l'inégalité socio-environnementale en France : associations spatiales entre désavantage social des populations et proximité à un site potentiellement dangereux", *Environnement, Risques, Santé*, vol. 15, 39-47.

CCR, 2021, Bilan Cat Nat-CCR-sinistralite-statistiques-generales, [WWW Document], [en ligne]. URL <https://geoportail.ccr.fr/portal/apps/sites/#/bilancatnat/pages/sinistralite-statistiques-generales>

Chakraborty J., Basu P., 2019, "Linking Industrial Hazards and Social Inequalities: Environmental Injustice", in: Gujarat, India., *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 16, No.1, 42 p., [en ligne]. URL: <https://www.mdpi.com/1660-4601/16/1/42>

Chakraborty J., Collins T.W., Montgomery M.C., Grineski S.E., 2014, "Social and Spatial Inequities in Exposure to Flood Risk in Miami, Florida", *Natural Hazards Review*, vol. 15, [en ligne]. URL: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29NH.1527-6996.0000140>

Chakraborty J., Grineski S.E., Collins T.W., 2019, "Hurricane Harvey and people with disabilities: Disproportionate exposure to flooding in Houston, Texas", *Social Science & Medicine*, vol. 226, 176-181, [en ligne]. URL: <http://www.sciencedirect.com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/science/article/pii/S0277953619301121>
DOI : 10.1016/j.socscimed.2019.02.039

Contreras D., Chamorro A., Wilkinson S., 2020, "The spatial dimension in the assessment of urban socio-economic vulnerability related to geohazards", *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 20, 1663-1687, [en ligne]. URL: <https://nhess.copernicus.org/articles/20/1663/2020/>
DOI : 10.5194/nhess-20-1663-2020

Cutter S., Boruff B., Shirley W., 2003, "Social vulnerability to environmental hazards", *Social Science Quarterly*, vol. 84, 242-261, [en ligne]. URL : <https://onlinelibrary-wiley-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/doi/abs/10.1111/1540-6237.8402002>
DOI : 10.1111/1540-6237.8402002

Dauphiné A., Provitolo D., 2013, *Risques et catastrophes : observer, spatialiser, comprendre, gérer*, Armand Collin, Paris.
DOI : 10.3917/arco.dauph.2013.01

DiPasquale D., Glaeser E.L., 1999, "Incentives and Social Capital: Are Homeowners Better Citizens?", *Journal of Urban Economics*, vol. 45, 354-384, [en ligne]. URL: <https://www->

sciencedirect-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/science/article/pii/S0094119098920988
DOI : 10.1006/juec.1998.2098

Dottori F., Alfieri L., Bianchi A., Skoien J., Salamon P., 2021, "A new dataset of river flood hazard maps for Europe and the Mediterranean Basin region", *Earth System Science Data*, vol. 14, 1549-1569, [en ligne]. URL: <https://essd.copernicus.org/articles/14/1549/2022/>
DOI : 10.5194/essd-2020-313

Downey L., 2007, "US Metropolitan-area Variation in Environmental Inequality Outcomes", *Urban Studies*, vol. 44, 953-977, [en ligne]. URL : <https://www-jstor-org.scd-rproxy.u-strasbg.fr/stable/43084810>

Durand S., 2015, "Du marécage à la zone résidentielle protégée : trajectoire d'une zone inondable", *Les Annales de la Recherche Urbaine*, vol. 110, 174-185, [en ligne]. URL : https://www.persee.fr/doc/aru_0180-930x_2015_num_110_1_3178
DOI : 10.3406/aru.2015.3178

Durand S., Lutoff C., Duvillard S., 2020, "Facteurs d'influence des choix résidentiels en zone inondable : des principes aux pratiques effectives des acteurs", in : Lutoff C., Durand S. (dir.), *Mobilités Face Aux Événements Hydrométéorologiques Extrêmes 2. Analyse Des Rythmes d'adaptation*, ISTE Editions, Londres, 67-93.

Duvillard S., André-Poyaud I., Choquet C.A., 2020, "Les rythmes d'urbanisation en zone inondable", in : Lutoff C., Durand S. (dir.), *Mobilités Face Aux Événements Hydrométéorologiques Extrêmes 2. Analyse Des Rythmes d'adaptation*, ISTE Editions, Londres, 33-66.

Elliott J.R., Howell J., 2016. "Beyond Disasters: A Longitudinal Analysis of Natural Hazards' Unequal Impacts on Residential Instability", *Social Forces*, vol. 95, 1181-1207, [en ligne]. URL : <https://academic-oup-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/sf/article-abstract/95/3/1181/2527555>

Elliott J.R., Haney T., Sams-Abiodun P, 2010. "Limits to social capital: comparing network assistance in two New Orleans neighborhoods devastated by hurricane Katrina", *The Sociological Quarterly*, vol. 51, 624-648, [en ligne]. URL : <https://www-tandfonline-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/doi/full/10.1111/j.1533-8525.2010.01186.x>
DOI : 10.1111/j.1533-8525.2010.01186.x

Faburel G., 2008, "Les inégalités environnementales comme inégalités de moyens des habitants et des acteurs territoriaux", *Espace Populations Sociétés*, No.1, 111-126. URL: <http://journals.openedition.org.scd-rproxy.u-strasbg.fr/eps/2430>
DOI : 10.4000/eps.2430

Fekete A., 2009, "Validation of a social vulnerability index in context to river-floods in Germany", *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 9, 393-403, [en ligne]. URL: <https://nhess.copernicus.org/articles/9/393/2009/>
DOI : 10.5194/nhess-9-393-2009

Fielding J., Burningham K., 2005, "Environmental inequality and flood hazard", *Local Environment*, vol. 10, 379-395, [en ligne]. URL: <https://www-tandfonline-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/doi/abs/10.1080/13549830500160875?journalCode=cloe20>

Flanagan B., Gregory E., Hallisey E., Heitgerd J., Lewis B., 2011, "A social vulnerability index for disaster management", *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, vol. 8, [en ligne]. URL: <https://www-degruyter-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/document/doi/10.2202/1547-7355.1792/html>

Fothergill A., Maestas E., DeRouen Darlington J., 1999, "Race, Ethnicity and Disasters in the United States: a review of the literature", *Disasters*, vol. 23, 156-173, [en ligne]. URL: <https://pubmed-ncbi-nlm-nih-gov.scd-rproxy.u-strasbg.fr/10379098/>
DOI : 10.1111/1467-7717.00111

Freire S., Aubrecht C., 2012, "Integrating population dynamics into mapping human exposure to seismic hazard", *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 12, 3533-3543, [en ligne]. URL: <https://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/12/3533/2012/>
DOI : 10.5194/nhess-12-3533-2012

Freire M., Macmanus K., Pesaresi M., Doxsey-Whitfield E., Mills J., 2016, "Development of new open and free multi-temporal global population grids at 250 m resolution", AGILE 2016, Helsinki.

Glatter-Götz H., Mohai P., Haas W., Plutzar C., 2019, "Environmental Inequality in Austria: Do inhabitants' socioeconomic characteristics differ depending on their proximity to industrial polluters?", *Environmental Research Letters*, vol. 14, [en ligne]. URL: <https://iopscience-iop-org.scd-rproxy.u-strasbg.fr/article/10.1088/1748-9326/ab1611>
DOI : 10.1088/1748-9326/ab1611

Green R., Bates L., Smyth A., 2007, "Impediments to recovery in New Orleans' Upper and Lower Ninth Ward: one year after hurricane Katrina", *Disasters*, vol. 31, 311-335, [en ligne]. URL : <https://pubmed-ncbi-nlm-nih-gov.scd-rproxy.u-strasbg.fr/18028156/>

- Griego A.L., Flores A.B., Collins T.W., Grineski S.E., 2020. "Social vulnerability, disaster assistance, and recovery: A population-based study of Hurricane Harvey in Greater Houston, Texas", *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 51, 101766, [en ligne]. URL : <https://www.sciencedirect-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/science/article/abs/pii/S2212420920312681?via%3Dihub>
- Hernandez J., 2009, "The Long Way Home : une catastrophe qui se prolonge à La Nouvelle-Orléans, trois ans après le passage de l'ouragan Katrina", *L'Espace Géographique*, vol. 38, 124-138, [en ligne]. URL : http://www.cairn.info.scd-rproxy.u-strasbg.fr/resume.php?ID_ARTICLE=EG_382_0124
DOI : 10.3917/eg.382.0124
- Hubert G., Capblancq J., Barroca B., 2003, "L'influence des inondations et des documents réglementaires sur le marché foncier en zone inondable", *Annales des Ponts et Chaussées*, No.105, 32-39.
- Hufschmidt G., 2011, "A comparative analysis of several vulnerability concepts", *Natural Hazards*, vol. 58, 621-643, [en ligne]. URL: <https://link-springer-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/article/10.1007/s11069-011-9823-7>
DOI : 10.1007/s11069-011-9823-7
- Ilbeigi M., Jagupilla S.C.K., 2020, "An Empirical Analysis of Association between Socioeconomic Factors and Communities' Exposure to Natural Hazards", *Sustainability*, vol. 12, [en ligne]. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/16/6342>
- Kamel N., 2012. "Social Marginalisation, Federal Assistance and Repopulation Patterns in the New Orleans Metropolitan Area following Hurricane Katrina", *Urban Studies*, vol. 49, 3211-3231, [en ligne]. URL : <https://journals-sagepub-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/doi/10.1177/0042098011433490>
DOI : 10.1177/0042098011433490
- Kamel N., Loukaitou-Sideris A., 2004. "Residential assistance and recovery following the Northridge earthquake", *Urban Studies*, vol. 41, 533-562, [en ligne]. URL : <https://journals-sagepub-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/doi/10.1080/0042098042000178672>
DOI : 10.1080/0042098042000178672
- Kates R., Colten C., Laska S., Leatherman S., 2006., "Reconstruction of New Orleans after Hurricane Katrina: a research perspective", *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, vol. 103, 14653-14660, [en ligne]. URL: <https://www.pnas-org.scd-rproxy.u-strasbg.fr/doi/10.1073/pnas.0605726103>
DOI : 10.1073/pnas.0605726103
- Koks E., Jongman B., Husby T., Botzen W., 2015, "Combining hazard, exposure and social vulnerability to provide lessons for flood risk management", *Environmental Science and Policy*, vol. 47, 42-52, [en ligne]. URL : <http://www.sciencedirect-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/science/article/pii/S1462901114002056>
DOI : 10.1016/j.envsci.2014.10.013
- Laporte V., 2009, *Croissance du nombre de logements en zones inondables (Le Point Sur - No. 6)*, Commissariat Général au Développement Durable, Service de l'Observation et des Statistiques, Paris.
- Lee D., 2018. "The Impact of Natural Disasters on Neighborhood Poverty Rate: A Neighborhood Change Perspective", *Journal of Planning Education and Research*, vol. 40, 447-459, [en ligne]. URL : <https://journals-sagepub-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/doi/10.1177/0739456X18769144>
DOI : 10.1177/0739456X18769144
- Lindell M., 2013, "Recovery and reconstruction after disaster", in: Bobrowsky, P., *Encyclopedia of Natural Hazards*, Springer et Business Media B.V., Berlin, 812-824.
- Logan J., 2006., *The impact of Katrina: race and class in storm-damaged neighborhoods*, Brown University, Providence.
- Maantay J., Maroko A., 2009, "Mapping urban risk: Flood hazards, race, & environmental justice in New York", *Applied Geography*, vol. 29, 111-124, [en ligne]. URL: <http://www.sciencedirect-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/science/article/pii/S0143622808000428>
- Martin D., Tate N.J., Langford M., 2000, "Refining Population Surface Models: Experiments with Northern Ireland Census Data", *Transactions in GIS*, vol. 4, 343-360, [en ligne]. URL: <https://onlinelibrary-wiley-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/doi/abs/10.1111/1467-9671.00060>
DOI : 10.1111/1467-9671.00060
- Masozera M., Bailey M., Kerchner C., 2007, "Distribution of impacts of natural disasters across income groups: a case study of New Orleans" *Ecological Economics*, vol. 63, 299-306, [en ligne]. URL : <https://www.sciencedirect-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/science/article/abs/pii/S0921800906003053>
DOI : 10.1016/j.ecolecon.2006.06.013

- Mauroux A., 2015, *Exposition aux risques catastrophiques, politiques de prévention et marchés de l'immobilier en France - État de la connaissance en économie (No. 134)*, Études et documents, Commissariat Général au Développement Durable, Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable, Paris.
- Mennis J., 2015, "Increasing the Accuracy of Urban Population Analysis with Dasymetric Mapping", *Cityscape*, vol. 17, 115-126.
- Moatty A., 2015, *Pour une géographie des reconstructions post-catastrophe : risques - sociétés - territoires*, Thèse de Géographie, Université Montpellier - Paul-Valéry, Montpellier.
- Moatty A., Gaillard J.C., Vinet F., 2017, "Du désastre au développement : les enjeux de la reconstruction post-catastrophe", *Annales de géographie*, vol. 2, No.714, 169-194, [en ligne]. URL: <https://www-cairn-info.scd-rproxy.u-strasbg.fr/revue-Annales-de-geographie-2017-2-page-169.htm>
- Moatty A., Grancher D., Duvat V., 2021, "Leverages and Obstacles Facing Post-Cyclone Recovery in Saint-Martin, Caribbean: Between the 'Window of Opportunity' and the 'Systemic Risk'?", *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 63, [en ligne]. URL : <https://www-sciencedirect-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/science/article/pii/S2212420921004143>
- Montgomery M.C., Chakraborty J., 2015, "Assessing the environmental justice consequences of flood risk: a case study in Miami, Florida", *Environmental Research Letters*, vol. 10, [en ligne]. URL: <https://iopscience-iop-org.scd-rproxy.u-strasbg.fr/article/10.1088/1748-9326/10/9/095010>
DOI : 10.1088/1748-9326/10/9/095010
- Myers C., Slack T., Singelmann J., 2008. "Social vulnerability and migration in the wake of disaster: the case of Hurricanes Katrina and Rita", *Population and Environment*, vol. 29, 271-291, [en ligne]. URL : <https://link-springer-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/article/10.1007/s11111-008-0072-y>
DOI : 10.1007/s11111-008-0072-y
- Nelson K.S., Abkowitz M.D., Camp J.V., 2015, "A method for creating high resolution maps of social vulnerability in the context of environmental hazards", *Applied Geography*, vol. 63, 89-100, [en ligne]. URL : <http://www.sciencedirect.com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/science/article/pii/S0143622815001551>
DOI : 10.1016/j.apgeog.2015.06.011
- November V., 2012, "Comment favoriser l'équité territoriale face aux risques ?", *Métropolitiques*, [en ligne]. URL : <https://metropolitiques.eu/Comment-favoriser-l-equite.html>
- Pautard E., 2014, *Le sentiment d'exposition aux risques environnementaux (Observation & Statistiques No. 567)*, Commissariat Général au Développement Durable, Service de l'Observation et des Statistiques, Paris.
- Paxson C., Rouse C., 2008. "Returning to New Orleans after hurricane Katrina", *American Economic Review*, vol. 98, 38-42, [en ligne]. URL : <https://www-aeaweb-org.scd-rproxy.u-strasbg.fr/articles?id=10.1257/aer.98.2.38>
DOI : 10.1257/aer.98.2.38
- Peacock W., Dash N., Zhang Y., 2007, "Sheltering and Housing Recovery Following Disaster", in: Rodriguez H., Quarantelli E., Dynes R., *Handbook of Disaster Research*, Springer New York, New York, 258-274.
- Peacock W., Van Zandt S., Zhang Y., Highfield W.E., 2014. "Inequities in Long-Term Housing Recovery After Disasters", *Journal of the American Planning Association*, vol. 80, 356-371, [en ligne]. URL : <https://doi-org.scd-rproxy.u-strasbg.fr/10.1080/01944363.2014.980440> | <https://www-tandfonline-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/doi/abs/10.1080/01944363.2014.980440>
DOI : 10.1080/01944363.2014.980440
- Pryce G., Chen Y., Galster G., 2011, "The Impact of Floods on House Prices: An Imperfect Information Approach with Myopia and Amnesia", *Housing Studies*, vol. 26, 259-279, [en ligne]. URL: <https://www-tandfonline-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/doi/abs/10.1080/02673037.2011.542086>
DOI : 10.1080/02673037.2011.542086
- Putnam R., 2000, *Bowling alone: the collapse and revival of American community*, Simon and Schuster, New York.
- Qiang Y., 2019, "Disparities of population exposed to flood hazards in the United States", *Journal of Environmental Management*, vol. 232, 295-304, [en ligne]. URL: <https://www-sciencedirect-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/science/article/pii/S0301479718313057>
DOI : 10.1016/j.jenvman.2018.11.039
- Qiang Y., Lam N.S.N., Cai H., Zou L., 2017, "Changes in Exposure to Flood Hazards in the United States", *Annals of the American Association of Geographers*, vol. 107, 1332-1350, [en

ligne]. URL: <https://www-tandfonline-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/doi/abs/10.1080/24694452.2017.1320214?journalCode=raag21>

Quarantelli E.L., 1999, *The Disaster Recovery Process: What We Know And Do Not Know From Research*, University of Delaware Disaster Research Center, Preliminary Paper 286, 18 p.

Rode S., 2012, "Le chêne ou le roseau : quelles stratégies de gestion du risque d'inondation en France ?", *Cybergeo European Journal Of Geography*, [en ligne]. URL: <https://journals-openedition-org.scd-rproxy.u-strasbg.fr/cybergeo/25299>

Rosencrants T.D., Ashley W.S., 2015, "Spatiotemporal analysis of tornado exposure in five US metropolitan areas" *Natural Hazards*, vol. 78, 121-140, [en ligne]. URL: <https://link-springer-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/article/10.1007/s11069-015-1704-z>
DOI : 10.1007/s11069-015-1704-z

Roskruge M., Grimes A., McCann P., Poot J., 2013, "Homeownership, Social Capital and Satisfaction with Local Government", *Urban Studies*, vol. 50, 2517-2534, [en ligne]. URL: <https://www-jstor-org.scd-rproxy.u-strasbg.fr/stable/26145596>
DOI : 10.1177/0042098012474522

Rufat S., Tate E., Burton C., Maroof A.S., 2015, "Social vulnerability to floods: review of case studies and implications for measurement", *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 14, 470-486, [en ligne]. URL: <https://www-sciencedirect-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/science/article/pii/S2212420915300935>
DOI : 10.1016/j.ijdr.2015.09.013

Rufat S., Tate E., Emrich C.T., Antolini F., 2019, "How Valid Are Social Vulnerability Models?", *Annals of the American Association of Geographers*, vol. 109, 1131-1153, [en ligne]. URL: <https://www-tandfonline-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/doi/full/10.1080/24694452.2018.1535887>
DOI : 10.1080/24694452.2018.1535887

Rüttenauer T., 2018, "Neighbours matter: A nation-wide small-area assessment of environmental inequality in Germany", *Social Science Research*, vol. 70, 198-211, [en ligne]. URL: <https://www-sciencedirect-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/science/article/pii/S0049089X17305197>
DOI : 10.1016/j.ssresearch.2017.11.009

Rygel L., O'Sullivan D., Yarnal B., 2006, "A method for constructing a social vulnerability index: an application to hurricane storm surges in a developed country", *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 11, 741-764, [en ligne]. URL: <https://link-springer-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/article/10.1007/s11027-006-0265-6>
DOI : 10.1007/s11027-006-0265-6

Schroeder J.P., 2007, "Target-Density Weighting Interpolation and Uncertainty Evaluation for Temporal Analysis of Census Data", *Geographical Analysis*, vol. 39, 311-335, [en ligne]. URL : <http://onlinelibrary.wiley.com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/doi/abs/10.1111/j.1538-4632.2007.00706.x>
DOI : 10.1111/j.1538-4632.2007.00706.x

Service de l'Observation et des Statistiques, 2012, *Méthodes d'estimation de population et de logements en zone inondable (Rapport - Développement durable)*, Commissariat général au développement durable, Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, Paris.

Shimada G., 2015., "The role of social capital after disasters: an empirical study of Japan based on Time-Series-Cross-Section (TSCS) data from 1981 to 2012", *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 14, 388-394, [en ligne]. URL: <https://www-sciencedirect-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/science/article/abs/pii/S2212420915300649>

Smith A., Bates P.D., Wing O., Sampson C., Quinn N., Neal J., 2019, "New estimates of flood exposure in developing countries using high-resolution population data", *Nature Communications.*, vol. 10, [en ligne]. URL: <https://www-nature-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/articles/s41467-019-09282-y>
DOI : 10.1038/s41467-019-09282-y

Strader S.M., Ashley W., Walker J., 2015, "Changes in volcanic hazard exposure in the Northwest USA from 1940 to 2100", *Natural Hazards*, vol. 77, 1365-1392, [en ligne]. URL: <https://link-springer-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/article/10.1007/s11069-015-1658-1>
DOI : 10.1007/s11069-015-1658-1

Tapp A.F., 2010, "Areal Interpolation and Dasymetric Mapping Methods Using Local Ancillary Data Sources", *Cartography and Geographic Information Science*, vol. 37, 215-228, [en ligne]. URL: <https://www-tandfonline-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/doi/abs/10.1559/152304010792194976>
DOI : 10.1559/152304010792194976

Tate E., Rahman M.A., Emrich C.T., Sampson C.C., 2021, "Flood exposure and social

vulnerability in the United States", *Natural Hazards*, vol. 106, 435-457, [en ligne]. URL : <https://link-springer-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/article/10.1007/s11069-020-04470-2>
DOI : 10.1007/s11069-020-04470-2

Veyret Y., Reghezza M., 2005, "Aléas et risques dans l'analyse géographique", *Annales des Mines. Responsabilité et environnement*, vol. 40, 61-69, [en ligne]. URL : <https://www.annales.org/edit/re/2005/re40/veyret.pdf>

Whittle R., Medd W., Deeming H., Kashefi E., Mort M., Twigger Ross C., Walker G., Watson N., 2010, *After the rain - learning the lessons from flood recovery in Hull*, Final Project Report (Flood, Vulnerability and Urban Resilience: a real-time study of local recovery following the floods of June 2007 in Hull), Lancaster University, Lancaster.

Wing O.E.J., Bates P.D., Smith A.M., Sampson C.C., Johnson K.A., Fargione J., Morefield P., 2018, "Estimates of present and future flood risk in the conterminous United States", *Environmental Research Letters*, vol. 13, [en ligne]. URL: <https://iopscience-iop-org.scd-rproxy.u-strasbg.fr/article/10.1088/1748-9326/aaac65>
DOI : 10.1088/1748-9326/aaac65

Wisner B., Blaikie P., Cannon T., Ian D., 2003, *At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters*, Routledge, New York.

Wright J.K., 1936, "A Method of Mapping Densities of Population: With Cape Cod as an Example", *Geographical Review*, vol. 26, 103-110, [en ligne]. URL: <https://www-jstor-org.scd-rproxy.u-strasbg.fr/stable/209467>
DOI : 10.2307/209467

Yamamura E., 2011, "How Do Neighbors Influence Investment in Social Capital? Homeownership and Length of Residence. International Advances", *Economic Research*, vol. 17, 451-464, [en ligne]. URL: <https://link-springer-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/article/10.1007/s11294-011-9318-z>
DOI : 10.1007/s11294-011-9318-z

Zandbergen P.A., Ignizio D.A., 2010, "Comparison of Dasymetric Mapping Techniques for Small-Area Population Estimates", *Cartography and Geographic Information Science*, vol. 37, 199-214, [en ligne]. URL: <https://www-tandfonline-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/doi/abs/10.1559/152304010792194985>
DOI : 10.1559/152304010792194985

Zhang Y., Peacock W., 2009. "Planning for housing recovery? Lessons learned from hurricane Andrew", *Journal of the American Planning Association*, vol. 76, 5-24, [en ligne]. URL : <https://www-tandfonline-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/doi/abs/10.1080/01944360903294556>
DOI : 10.1080/01944360903294556

Zoraghein H., Leyk S., Ruther M., Battenfield B., 2016, "Exploiting temporal information in parcel data to refine small area population estimates", *Computers Environment and Urban Systems*, vol. 58, 19-28, [en ligne]. URL : <https://www-sciencedirect-com.scd-rproxy.u-strasbg.fr/science/article/pii/S0198971516300333>

Annexe

Annexe 1 : Mise en conformité géographique des données de recensement

Les recensements de la population mobilisés (1999, 2008, 2017) sont mis à disposition et spatialisés à l'échelle des IRIS. Or, bien que de façon marginale, leur géographie évolue entre les recensements, du fait notamment de fusions de communes ou de divisions d'IRIS présentant une croissance significative de leur population, l'objectif de l'INSEE vise à obtenir des IRIS habités contenant environ 2 000 habitants chacun. Afin d'éviter l'analyse d'évolutions au cours du temps sur des zonages à géométrie variable, il faut ainsi veiller à ce que ces différentes géographies soient compatibles.

Différentes méthodes existent, qui visent notamment à caler la population d'un recensement ancien sur la géographie la plus récente : la méthode de pondération par la densité des entités cibles (*target-density weighting*) apparaît comme une des solutions qui donne les résultats les plus robustes, tout en demeurant simple d'application (Schroeder, 2007). La méthode consiste à désagréger la population des entités de la géographie passée (appelées entités sources) au sein des entités de la géographie présente (appelées entités cibles), en conservant le même

ratio de distribution des populations observé dans ces dernières.

Si le postulat sur lequel s'appuie cette méthode (une distribution spatiale des populations identique au sein des entités cibles, entre les différents recensements) apparaît fragile, différents travaux ont démontré le caractère relativement robuste de la méthode (Schroeder, 2007 ; Zoraghein *et al.*, 2016). Dans le cadre de la présente étude, les différences observées entre les géographies sont minimales, limitant de fait les sources d'erreurs. La création d'une géographie unifiée des IRIS spatialisant l'ensemble des recensements, par l'intermédiaire de cette méthode, permet de garantir la continuité des différents zonages territoriaux (limites des communes et agglomérations), à l'échelle desquels nous mettons à disposition et analysons les résultats.

Sur notre période d'étude, un type de zonage reste cependant et *a priori* constant : le zonage départemental, dont nous nous servons pour valider la méthode de pondération par la densité des entités cibles. En l'occurrence, les estimations des populations en zone inondable, pour 1999 et 2008, sont effectuées (grâce à la méthode de cartographie dasymétrique) à partir des données de recensement spatialisées sur la géographie unifiée (de 2017) d'une part, à partir des données spatialisées sur la géographie d'origine des recensements d'autre part, en vue de comparer les résultats obtenus à partir de la première et de la seconde, et donc de vérifier si l'utilisation de la géographie unifiée ne modifie pas substantiellement nos estimations. Ici, nous utilisons la BD AZI, qui couvre l'ensemble du territoire métropolitain, pour représenter les zones inondables. Les résultats obtenus (tableau 7) apparaissent très similaires, avec un écart médian de 133 habitants par département sur les estimations de population en zone inondable en 1999, de 155 habitants en 2008.

Tableau 7 : Estimations de la population en zone inondable en 1999 et 2008 à partir des contours IRIS d'origine et de la géographie actuelle : écarts observés par département

		1999	2008
Écart absolu observé par département entre la population en zone inondable calculée à partir de la géographie d'origine et la population calculée à partir de la géographie actuelle	<i>Écart moyen</i>	307	323
	<i>Écart médian</i>	138	163
	<i>Écart du 9^e décile</i>	866	926
	<i>Maximum</i>	1 978	2 164
Population totale en zone inondable en France	<i>Calculée à partir de la géographie d'origine</i>	3 835 280	4 037 201
	<i>Calculée à partir de la géographie actuelle</i>	3 835 300	4 041 065
	<i>Différence entre les deux géographies</i>	-20	-3 864

Fujiki, Finance, 2022

Annexe 2 : Validation de la méthode de désagrégation

La méthode de désagrégation fait l'objet d'une procédure de validation pour mesurer la qualité des estimations obtenues. Nous ne pouvons (évidemment) pas connaître la population réelle en zone inondable. La méthode de désagrégation est ainsi appliquée de sorte à estimer la population des IRIS à partir de la population mise à disposition à l'échelle des communes : il suffit ensuite de comparer les estimations obtenues avec les données réellement observées à l'échelle des IRIS, pour obtenir des erreurs. La procédure de validation ne porte donc que sur les seules communes divisées en IRIS.

Les erreurs ainsi calculées n'ont de sens qu'en étant confrontées aux erreurs obtenues en utilisant d'autres méthodes : en l'occurrence, nous confrontons notre méthode standard, fondée sur l'utilisation de la volumétrie du bâti résidentiel (appelée méthode 3D), à une méthode fondée sur l'utilisation de la surface au sol du bâti résidentiel (méthode 2D), et à la méthode la plus rudimentaire qui soit : une désagrégation surfacique simple, sans prise en compte du mode d'occupation des sols, qui constitue le "niveau 0" de l'estimation de la population, auquel doit être comparée toute méthode plus sophistiquée (Zandbergen, Ignizio, 2010).

À partir des erreurs calculées, nous obtenons différents indicateurs : l'erreur moyenne absolue,

l'erreur médiane absolue, l'erreur absolue du 9^e décile, la racine de l'erreur carré moyenne (Zoraghein *et al.*, 2016). Nous regardons plus spécifiquement l'erreur médiane absolue – indicateur robuste – pour comparer les méthodes : les estimations à très fine échelle de la population, sur de petites entités, s'accompagnent systématiquement de valeurs d'erreurs ponctuellement très élevées (Biljecki *et al.*, 2016). C'est nécessairement notre cas, dans la mesure où nous cherchons à estimer le nombre d'habitants de 15 554 IRIS (qui ont une population médiane réelle de 2 364 hab.) à partir des valeurs connues pour seulement 1 847 communes et arrondissements municipaux (qui ont une population médiane réelle de 10 489 hab., un 9^e décile à 43 086 hab. et un maximum à 479 553 hab.)

Tableau 8 : Erreurs mesurées selon les méthodes de désagrégation

	Méthode 3D			Méthode 2D (2017)	Désagrégation surfaccique simple (2017)
	1999	2008	2017		
Erreur moyenne absolue	652	570	470	647	1 793
Erreur médiane absolue	490	416	342	460	1 327
<i>Erreur médiane absolue exprimée en % de la population médiane</i>	21,6 %	18,4 %	14,5 %	19,5 %	56,2 %
Erreur quadratique moyenne (racine)	932	825	678	917	3 063
9 ^e décile de l'erreur absolue	1 372	1 201	1 012	1 432	3 082

Fujiki, Finance, 2022

Les résultats obtenus pour la méthode 3D sur le recensement de 2017 apparaissent très satisfaisants : l'erreur médiane est de 342 hab., à comparer avec une erreur de 460 hab. pour la méthode 2D, et de 1 327 hab. pour la méthode par désagrégation surfaccique simple. La qualité de la désagrégation tend cependant à se dégrader en remontant dans le temps : l'erreur médiane est de 416 pour le recensement de 2008, de 490 pour le recensement de 1999, avec cependant une erreur du 9^e décile qui s'accroît dans une mesure moindre (1 372 pour le recensement de 1999, contre 1 012 pour le recensement de 2017). Notons par ailleurs que ces erreurs sont très faiblement autocorrélées entre elles : l'indice de Moran, permettant de mesurer l'autocorrélation spatiale, est de 0,03 pour le recensement de 2017 et de 1999, de 0,02 pour le recensement de 2008.

Notes

1 Les unités urbaines constituent une définition morphologique de la ville reposant sur la continuité du bâti. Construites par l'INSEE, elles correspondent à des agrégats de communes présentant une zone de bâti continu selon un seuil de 200 mètres et un nombre d'habitants minimal de 2 000 personnes.

2 Concernant l'évolution du nombre de communes couvertes par un Plan de Prévention des Risques : <https://ree.developpement-durable.gouv.fr/donnees-et-ressources/ressources/graphiques/article/evolution-du-nombre-de-communes-couvertes-par-un-plan-de-prevention-des-risques>

3 Mobilisant une littérature essentiellement anglophone, le terme reconstruction auquel il est fait référence ici est en fait la traduction de "*recovery*" ou de "*disaster recovery*". Cette reconstruction intègre différentes dimensions, désignant tout à la fois un objectif, une période de temps, et un processus (Lindell, 2013) - processus par lequel des collectivités et des populations parviennent à revenir à une forme de routine, à une situation socialement acceptable après une catastrophe (Quarantelli, 1999). Chez d'autres auteurs, la reconstruction désigne encore la repopulation d'un territoire sinistré (Aldrich, 2012), ou le retour aux niveaux d'activité, de capital financier et économique observés avant l'occurrence de la catastrophe (Kates *et al.*, 2006).

4 Des événements récents, de forte intensité, ont bien évidemment eu un impact localement marqué et durable sur le territoire métropolitain, à l'instar des inondations consécutives à la tempête Alex en 2020 – sans commune mesure cependant avec d'autres événements observés à l'étranger, notamment dans leur ampleur spatiale. Hors du territoire métropolitain, la France a bien sûr été sinistrée par l'ouragan Irma (2017), qui a dévasté des territoires ultramarins avec des spécificités géographiques très éloignées du contexte métropolitain, et pour lesquels différents travaux de recherche sont en cours ou viennent d'être publiés (Moatty *et al.*, 2021).

5 Le choix des indicateurs s'appuie sur ce seul inventaire, cependant nous n'écartons bien sûr pas le reste de la littérature, en particulier qualitative, pour expliciter et comprendre ce qui

sous-tend les trajectoires des populations en situation post-catastrophe, et donc la vulnérabilité de ces dernières (cf. infra).

6 Ceci exclut du périmètre de notre analyse d'autres dimensions de la vulnérabilité des individus, notamment les conséquences immédiates de l'inondation sur leur intégrité physique, qui nécessiterait d'observer les individus y compris hors de leur lieu de résidence (sur leur lieu de travail, en mobilité, etc.)

7 Est considérée comme étrangère par l'INSEE toute personne ne possédant pas la nationalité française. Si la nationalité ne présume pas de l'ethnicité ni de l'éventuel statut d'immigré des personnes, la majorité de la population étrangère en France possède une nationalité extra-européenne. URL : https://www.insee.fr/fr/statistiques/2381750#figure1_radio2

8 URL : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4277645?sommaire=4318291>

9 On retrouve dans les approches statistiques et géostatistiques le *co-krigeage*, les modèles de régression linéaire et géographique, les modèles de *random forest* (Anderson *et al.*, 2014 ; Liu *et al.*, 2008 ; Stevens *et al.*, 2015 ; Wang *et al.*, 2018 ; Lloyd *et al.*, 2017 ; Wu, Murray, 2005 ; Lo, 2008 ; Alahmadi, 2018).

10 L'EAIP – construite dans le cadre de l'application de la Directive Inondation, et à partir de laquelle ont été identifiés les TRI – se définit sur la base de l'emprise potentielle des inondations extrêmes, et correspond donc à une cartographie maximaliste de l'aléa, sans prise en compte des ouvrages hydrauliques. Données de l'Observatoire National des Risques Naturels de 2012 sur l'EAIP, [en ligne]. URL : <https://www.georisques.gouv.fr/articles-risques/acceder-aux-indicateurs-enjeux>

11 Les seuils retenus pour distinguer les agglomérations selon leur taille sont les suivants : une petite ville comporte moins de 10 000 habitants, une ville moyenne entre 10 000 et 150 000, une grande ville entre 150 000 et 500 000, une très grande ville plus de 500 000 habitants.

12 Il serait imprudent d'interpréter les données relatives à la vulnérabilité sociale des petites villes, et *a fortiori* du milieu rural, dans la mesure où la BD TRI ne couvre que très partiellement ces territoires (figure 1).

13 Les densités de population ont été calculés à l'échelle des IRIS (et non des atomes) ; trois catégories sont retenues dans la présentation des résultats : les zones relativement peu denses comportant moins de 1 000 habitants au km², les zones relativement denses (1 000 à 5 000 hab./km²) et les zones très denses (plus de 5 000 hab./km²).

14 Avec pour variable X le taux de variation de la population totale de l'agglomération entre 1999 et 2017, pour variable Y le taux de variation de la population en zone inondable de l'agglomération, le R de Pearson est égal à 0,72.

Table des illustrations

	Titre	Tableau 1 : Comparaison des bases de données d'aléa
	Crédits	Fujiki, Finance, 2022
	URL	http://journals.openedition.org.scd-rproxy.u-strasbg.fr/cybergeol/docannexe/image/39179/img-1.png
	Fichier	image/png, 131k
	Titre	Figure 1 : Couverture spatiale des bases de données AZI et TRI à l'échelle nationale
	Crédits	Fujiki, Finance, 2022
	URL	http://journals.openedition.org.scd-rproxy.u-strasbg.fr/cybergeol/docannexe/image/39179/img-2.png
	Fichier	image/png, 599k
	Titre	Tableau 2 : Cohérence temporelle des sources
	Crédits	Fujiki, Finance, 2022
	URL	http://journals.openedition.org.scd-rproxy.u-strasbg.fr/cybergeol/docannexe/image/39179/img-3.png
	Fichier	image/png, 88k
	Titre	Tableau 3 : Inventaire des études post-catastrophes évaluant le niveau de reconstruction (variable dépendante) en fonction des caractéristiques sociodémographiques des populations et/ou des territoires sinistrés
	Crédits	Fujiki, Finance, 2022

	URL	http://journals.openedition.org.scd-rproxy.u-strasbg.fr/cybergeo/docannexe/image/39179/img-4.png
	Fichier	image/png, 112k
	Titre	Tableau 4 : Identification des facteurs de vulnérabilité sociale antérieurs à l'occurrence de la catastrophe ayant des impacts sur la reconstruction
	Crédits	Fujiki, Finance, 2022
	URL	http://journals.openedition.org.scd-rproxy.u-strasbg.fr/cybergeo/docannexe/image/39179/img-5.png
	Fichier	image/png, 76k
	Titre	Figure 2 : Chaîne de traitements suivie dans l'élaboration d'indicateurs spatialisés d'exposition et de vulnérabilité sociale autour du cas d'une ville fictive
	Crédits	Fujiki, Finance, 2022
	URL	http://journals.openedition.org.scd-rproxy.u-strasbg.fr/cybergeo/docannexe/image/39179/img-6.png
	Fichier	image/png, 374k
	Titre	Tableau 5 : Indicateurs d'exposition au risque inondation à l'échelle nationale
	Crédits	Fujiki, Finance, 2022
	URL	http://journals.openedition.org.scd-rproxy.u-strasbg.fr/cybergeo/docannexe/image/39179/img-7.png
	Fichier	image/png, 56k
	Titre	Tableau 6 : Indicateurs de vulnérabilité sociale à l'échelle nationale
	Crédits	Fujiki, Finance, 2022
	URL	http://journals.openedition.org.scd-rproxy.u-strasbg.fr/cybergeo/docannexe/image/39179/img-8.png
	Fichier	image/png, 227k
	Titre	Figure 3 : Indicateurs d'exposition et de vulnérabilité sociale selon la taille des villes (et selon la densité de population, dans le cas des villes moyennes)
	URL	http://journals.openedition.org.scd-rproxy.u-strasbg.fr/cybergeo/docannexe/image/39179/img-9.png
	Fichier	image/png, 203k
	Titre	Figure 4 : Trajectoires d'exposition des unités urbaines au risque inondation
	Crédits	Fujiki, Finance, 2022
	URL	http://journals.openedition.org.scd-rproxy.u-strasbg.fr/cybergeo/docannexe/image/39179/img-10.png
	Fichier	image/png, 503k
	Titre	Figure 5 : Vulnérabilité sociale des zones inondables urbaines au prisme de la part des ménages non propriétaires
	Crédits	Fujiki, Finance, 2022
	URL	http://journals.openedition.org.scd-rproxy.u-strasbg.fr/cybergeo/docannexe/image/39179/img-11.png
	Fichier	image/png, 213k
	Titre	Figure 6 : Vulnérabilité sociale des zones inondables urbaines au prisme du taux de chômage
	Crédits	Fujiki, Finance, 2022
	URL	http://journals.openedition.org.scd-rproxy.u-strasbg.fr/cybergeo/docannexe/image/39179/img-12.png
	Fichier	image/png, 194k
	Titre	Figure 7 : Vulnérabilité sociale des zones inondables urbaines au prisme de la part d'étrangers
	Crédits	Fujiki, Finance, 2022
	URL	http://journals.openedition.org.scd-rproxy.u-strasbg.fr/cybergeo/docannexe/image/39179/img-13.png

Pour citer cet article

Référence électronique

Kenji Fujiki et Olivier Finance, « Exposition et vulnérabilité sociale des villes françaises au risque inondation : une analyse spatiotemporelle à fine échelle (1999-2017) », *Cybergeo: European Journal of Geography* [En ligne], Espace, Société, Territoire, document 1020, mis en ligne le 30 juin 2022, consulté le 13 août 2024. URL : <http://journals.openedition.org/scd-rproxy.u-strasbg.fr/cybergeo/39179> ; DOI : <https://doi-org.scd-rproxy.u-strasbg.fr/10.4000/cybergeo.39179>

Auteurs

Kenji Fujiki

Maître de Conférences en géographie-aménagement. Laboratoire Image Ville Environnement UMR 7362 – CNRS, Université de Strasbourg, France. Mail : kenji.fujiki@live-cnrs.unistra.fr

Olivier Finance

Maître de Conférences en géographie. Laboratoire Image Ville Environnement UMR 7362 – CNRS, Université de Strasbourg, France. Mail : olivier.finance@live-cnrs.unistra.fr

Articles du même auteur

Les années (Cybergeo) [Texte intégral]

Paru dans *Cybergeo: European Journal of Geography*, 1996-2022

Droits d'auteur



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