

L'ADAPTATION URBAINE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE GLOBAL: LES INONDATIONS À CURITIBA ET PINHAIS (BRÉSIL)

MENDONÇA F.A.⁽¹⁾, BUFFON E.A.M.⁽¹⁾, GOUDARD G.⁽¹⁾

(1) Université Fédérale du Paraná - LABOCLIMA – Laboratoire de Climatologie, Centro Politécnico – Ed João Jose Bigarela, sl. 210. 81531-970. Curitiba/PR. Brésil [chico@ufpr.br]; [elai2@hotmail.com]; [gabigoudard.ufpr@gmail.com].

Résumé – Ce document porte sur les événements hydrométéorologiques extrêmes ainsi que sur les risques et les stratégies d'adaptation face à des impacts du changement climatique dans les villes de Curitiba et Pinhais (Brésil). Les zones à risque inondables (données de la Défense Civile du Paraná), la relation entre les événements extrêmes et les systèmes atmosphériques (notamment les fronts froids) et les stratégies d'adaptation (mesures structurelles et non structurelles) utilisés par la société et le gouvernement ont été analysés. Considérant les scénarios publiés par le IPCC, le problème va s'aggraver, ce qui demandera des stratégies futures d'adaptation plus performantes.

Mots-clés : changement climatique, inondations, adaptation, Pinhais (Brésil).

Abstract – *Urban adaptation to global climate change: flooding in Curitiba and Pinhais (Brazil).* This paper deals with the extreme hydrometeorological events as well as the risks and adaptation strategies in the face of climate change impacts in the cities of Curitiba and Pinhais (Brazil). Areas at risk to flooding (data from Civil Defense of Paraná), the relationship between extreme events and atmospheric systems (mainly cold fronts) and the adaptation strategies (structural and non-structural measures) used by the society and the government were analysed. The problem is getting worse regarding the scenarios published by the IPCC, which will require more and better strategies for future adaptation.

Keywords: Climate change, flooding, adaptation, Pinhais (Brazil).

Introduction

Les événements climatiques extrêmes sont au cœur des débats concernant le changement climatique global. Les derniers rapports de l'IPCC (AR4 et AR5) concernant les scénarios futurs du climat à l'échelle globale sont unanimes à dire qu'il y aura une augmentation de la température et des précipitations moyennes de la planète, ainsi que l'intensification des événements extrêmes. Ce scénario climatique lié aux vulnérabilités socio-environnementales conduit à la conviction que les impacts seront plus graves sur les sociétés humaines (IPCC, 2007).

Au Brésil, l'impact des inondations et des tempêtes est fortement associé aux environnements urbains, il relève beaucoup du processus d'urbanisation rapide du pays, en particulier dans la partie orientale, qui concentre les plus grandes villes. Il est également nécessaire d'examiner la nature du climat tropical du Brésil avec des précipitations concentrées en été, ce qui aboutit à des inondations saisonnières dans une grande partie du pays (Mendonça et Danni-Oliveira, 2007). Ainsi, des événements hydrométéorologiques extrêmes, les inondations urbaines apparaissent comme des phénomènes avec des impacts plus importants sur les villes, en particulier dans le sud du Brésil (Monteiro, 1991).

Curitiba et la Région Métropolitaine de Curitiba (RMC) (figure 1), en particulier pour la ville de Pinhais, font partie de ce scénario et enregistrent donc de graves problèmes liés aux inondations urbaines et leurs impacts. Ces caractéristiques font partie du développement urbain de la ville, dont l'urbanisation s'est développée le long des grands fleuves et des plaines inondables, ce qui reflète sur des inondations récurrentes.

La dynamique des inondations suit l'étalement urbain à Curitiba (Figure 1), de sorte que, selon Mendonça (2013), entre le début et la moitié du XX^{ème} siècle, la zone centrale de la ville (1) (Figure 1) est très marquée par l'enregistrement de ce type de problème. Depuis lors, le gouvernement, en accord avec le secteur privé, a travaillé pour la création de parcs et mis en œuvre des projets de génie hydraulique et sanitaires afin de minimiser les impacts liés aux inondations.

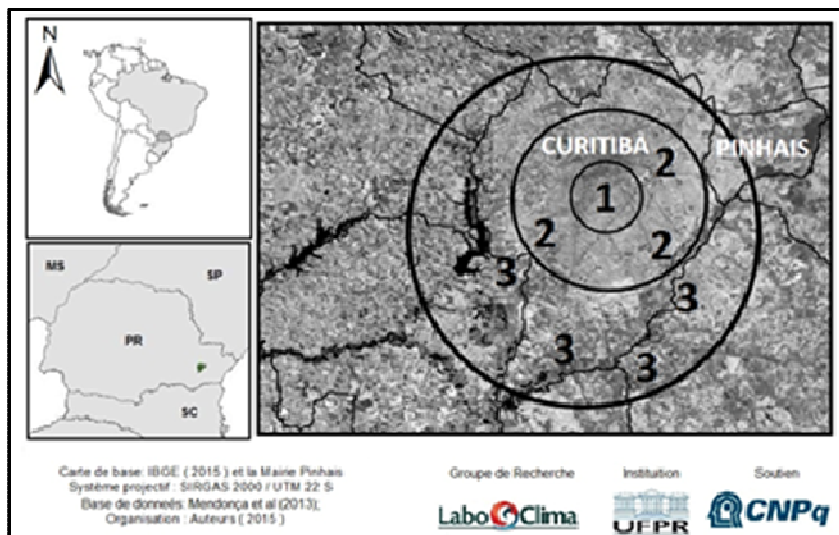


Figure 1. Curitiba et Pinhais dans la RMC – Région Métropolitaine de Curitiba: Localisation géographique.

En revanche, les zones péricentrales (2) et les périphéries (3) (Figure 1) ont commencé à enregistrer des épisodes d'inondations, surtout après les années 1950, au moment où le processus d'urbanisation incontrôlée s'est développé (Mendonça 2012 et 2013). Dans ce contexte, la ville de Pinhais, insérée dans la RMC, présente une grande vulnérabilité aux impacts fréquents des inondations.

Dans cette étude, sont mis en évidence : a) les événements hydrométéorologiques extrêmes dans les villes de Curitiba et Pinhais (Brésil), qui se caractérisent par des inondations rapides (plus de 60 mm / 24h) ou lents (plus de 5 jours avec des précipitations autour 30 mm / 24h), b) la relation entre les inondations et la dynamique atmosphérique régionale, c) les zones à risque et vulnérables aux inondations urbaines, d) les stratégies d'adaptation adoptées par la société afin de réduire les impacts des inondations.

1. Méthodes et techniques de la recherche

1.1. Les événements climatiques extrêmes

L'identification des événements extrêmes d'inondations a été réalisée à partir des données enregistrées par la Défense civile du Paraná à Curitiba et Pinhais de 1980 à 2014. A partir de ces données, les événements les plus impactants ont été analysés et caractérisés selon les types de temps dominants. Les systèmes atmosphériques associés au total des précipitations et le nombre de personnes touchées ont été étudiés. Les données météorologiques ont été fournies par l'INMET - Institut national de météorologie - et par le SIMEPAR - Système météorologique du Paraná.

1.2. L'identification des zones à risque d'inondation et vulnérabilités dans Pinhais

L'identification des zones à risque et de vulnérabilité aux inondations urbaines à Pinhais a été définie à partir des enregistrements d'événements hydrométéorologiques extrêmes (1999, 2003, 2009, 2010, 2011 et 2012), qui étaient cartographiés sur le réseau de drainage de la ville (base de données de la municipalité de Pinhais).

1.3. L'analyse des stratégies d'adaptation de la société aux inondations

Les prélèvements de données sur le terrain ont été faits (le 22/01/2015) pour l'identification des stratégies d'adaptation aux inondations. Ce sont des mesures prises par la société et par la mairie de la ville concernant l'infrastructure tels que le bâti (résidentiels, commerciales, voirie

publique, etc.) et le drainage urbain dans un but de prévention, de protection et d'alerte aux inondations. Ces informations ont été recueillies par des documents photographiques qui illustrent ce travail.

2. Curitiba et Pinhais: les phénomènes hydrométéorologiques extrêmes et les zones à risque et vulnérables aux inondations urbaines

Les événements hydrométéorologiques extrêmes à Curitiba et Pinhais (tableau 1) sont récurrents (Mendonça, 2012 et 2013). Les changements du paysage les plus remarquables dans les deux villes sont liés à l'intensification de l'urbanisation et de la pauvreté, dont l'aggravation des impacts socio-environnementaux.

L'analyse de la dynamique atmosphérique au moment de ces événements a mis en évidence la participation des systèmes frontaux comme facteur le plus important. Ces systèmes agissent en Amérique du Sud pendant toute l'année et engendrent une très importante variabilité dans la distribution et l'intensité des précipitations (Cavalcanti & Kousky, 2009). Les épisodes orageux extrêmes dans la région d'étude sont aussi liés à l'action de la Zone de Convergence de l'Atlantique Sud (ZCAS) et de la Masse Tropical Atlantique Tropicale (mTA), caractérisant les pluies convectives.

Tableau 1. Curitiba et Pinhais – Evénements hydrométéorologiques extrêmes, types de temps et victimes (1981-2014).

DATE	TOTAL DE VICTIMES	SYSTÈME ATMOSPHERIQUE	PLUVIOSITÉ	
			(mm/événement)	(mm/mois)
30/11/1981	600	SF	52,4	136,9
11 e 12/02/1997	1000	SF	132,9	232,9
13 e 14/08/1998	0	mEc/ZCAS	132,6	271,1
21 e 22/02/1999	15000	SF	157,2	445,2
13 e 14/12/2010	9.300	SF	134,6	336,2
04/06/2012	830	SF	122,2	225,5
20 e 21/06/2013	8.545	SF	137,9	308,9
12 e 13/01/2014	126	mTa/SF	76,4	242,5
06, 07 e 08/06/2014	12.084	SF	162	210,4
LÉGENDE		CURITIBA		PINHAIS

Source des données: Défense Civile du Paraná, INMET et SIMEPAR.

Les zones à risque et vulnérables aux inondations à Pinhais sont localisées le long des rivières (Le Palmital et l'Atuba) de la zone urbaine, exactement dans les plaines inondables (Figure 2). Ce fait, conjugué à la géomorphologie plane et aux systèmes de drainage de la ville (déficitaires ou trop petits), contribue à augmenter l'ampleur des impacts des événements hydrométéorologiques extrêmes dans la ville.

La récurrence des inondations dans la ville de Pinhais (Tableau 1 et Figure 2) conduit à l'intensification de la vulnérabilité car l'occupation urbaine inappropriée (zones de risque) y est importante. Certaines parties de la ville ont été touchées par ce problème durant les inondations de 1999, 2003, 2009, 2010, 2011 et 2012. Dans cette même période, les zones à risque ont augmenté, car elles ont été occupées notamment par des populations à faible revenu. Le problème observé dans cette ville tendra à s'aggraver dans le contexte du changement climatique. L'analyse des scénarios futurs (IPCC, 2007) affirme que les précipitations extrêmes dans le sud du Brésil vont s'accroître.

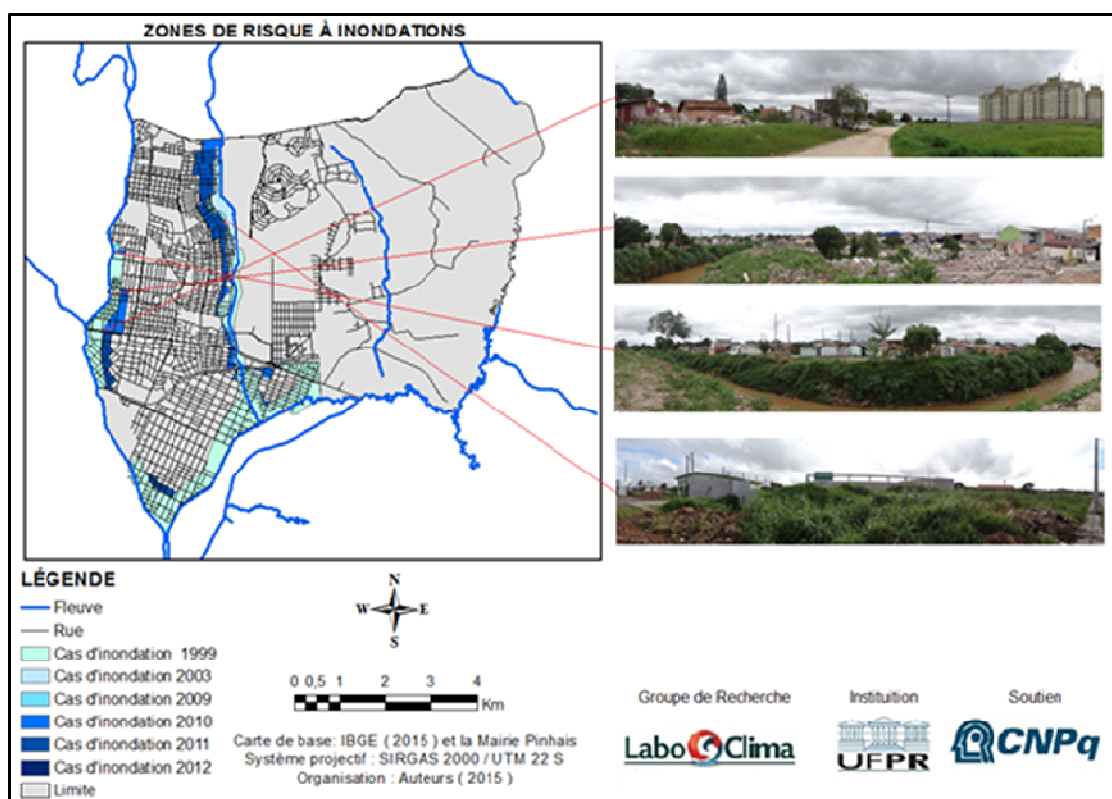


Figure 2. Pinhais - Les zones à risque à des inondations.

Photos: Gabriela Goudard et Elaiz Buffon (2015).

2.1. Les stratégies d'adaptation aux inondations urbaines dans Pinhais






Les stratégies d'adaptation aux inondations sont classés en publiques (paysage modifié par le gouvernement) et privés (apprendre à vivre avec le risque - des actions individuelles). Toutefois, toute mesure d'adaptation aux inondations devrait avoir pour base l'idée qu'un bassin versant est un système intégré, dont les zones à risque ne devraient pas seulement être transférées d'un lieu à un autre (Carneiro & Miguez, 2011). La population de la ville de Pinhais a développé des stratégies à la fois publiques et privées comme montre le tableau 2.

Les stratégies d'adaptation dans les zones à risque d'inondation dans Pinhais (tableau 2) sont variées. Elles sont distinctes le long des zones de risque et sont associés directement aux conditions socio-économiques de la population. Les murs de protection, par exemple, sont présents dans les secteurs des logements de populations à revenu élevé (tableau 2 - figure g) tels que dans des quartiers fermés ou des maisons de haut standing. Un plancher de l'élévation du niveau du sol à l'entrée des maisons simples (tableau 2 - c) ou la construction de piliers et d'escaliers (tableau 2 - d), en revanche, apparaissent dans des zones de populations à faible revenu. Ces stratégies visent à minimiser les impacts de l'eau, empêchant de pénétrer à l'intérieur des maisons au moment des inondations. Toujours dans ce contexte, une pratique courante dans les zones à risque est le processus d'élévation des structures existantes (tableau 2 - b), avec l'objectif de la construction de maisons plus élevées que les niveaux d'eau.

L'urbanisation des zones de risques inondables dans Pinhais est très dynamique. L'arrivée de nouveaux habitants est toujours enregistrée au même temps qu'une partie de la population quitte le lieu. Toutefois, l'homme continue à occuper ces zones sans tenir compte de la dynamique naturelle du bassin hydrographique et du climat. La société et le gouvernement mettent en œuvre des changements directs et indirects au réseau de drainage (tableau 2 - a), par le biais de changements des canaux fluviaux et de l'occupation du sol, contribuant ainsi à

la récurrence et l'intensification des inondations (Kang et Marston, 2006b ; Tucci, 2003). De même, il est nécessaire de mettre en œuvre des mesures d'atténuation comme la reprise et la renaturation des cours d'eau urbains (Cunha, 2007 ; Botelho, 2011).

Tableau 2. Pinhais – les stratégies d'adaptation aux inondations urbaines.

<i>Stratégie</i>	<i>Type</i>	<i>Illustrations</i>
<i>Bassins de rétention</i>	<i>Canal de déversoir</i>	 (a)
<i>Des élévations des structures existantes</i>	<i>Échouage</i>	 (b)
	<i>Élévation du plancher et pilotis</i>	 (c) (d)
<i>Barrières</i>	<i>Endiguer et murs de manilles</i>	 (e) (f)
	<i>Mur de protection</i>	 (g)

Source: Prélèvements de terrain (2015).

Conclusions

Les conséquences du changement climatique au niveau local, associés à l'urbanisation effrénée des bassins versants, ont généré des problèmes sociaux et environnementaux de toutes sortes. La production de l'espace urbain dans les pays non-développés, qui ignorent les risques et les vulnérabilités, confirme l'élévation d'une population vivant dans une grande vulnérabilité socio-environnementale aux événements hydrométéorologiques extrêmes.

Cette situation est clairement observé dans la RMC - Région Métropolitaine de Curitiba, dont une partie de l'urbanisation a négligé les fortes pluies et la dynamique naturelle des cours d'eau. Pour faire face à l'impact de ces catastrophes naturelles intensifiées par l'homme, la société a développé, au fil du temps, des différentes stratégies pour atténuer et / ou résoudre les problèmes sociaux et environnementaux urbains. Ainsi, entre les mesures d'adaptation observées dans la ville de Pinhais, il est possible d'observer des mesures publiques (gouvernementales) et privées (individuelles). Ces stratégies sont distinctes le long des zones de risque et reflètent les différentes conditions socio-économiques de la population résidente.

L'étude sur l'impact des inondations à la ville de Pinhais et à la RMC relève la nécessité d'une analyse plus détaillée du problème, dans le but de mieux identifier et de cartographier:

a) les zones à risques, b) les différentes vulnérabilités, et c) les stratégies d'adaptations et d'atténuation aux impacts des événements hydrométéorologiques extrêmes. Cela est nécessaire en particulier en fonction des scénarios de changements climatiques futurs publiés par l'IPCC.

Références bibliographiques

Botelho R.G.M., 2011 : Bacias hidrográficas urbanas. In: Guerra, A. J. T. (Org.). *Geomorfologia urbana*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 71-115.

Carneiro P.R.F., Miguez M.G., 2011 : *Controle de inundações em bacias hidrográficas metropolitanas*. São Paulo: Annablume, 302p.

Cavalcanti I.F.A., Kousky V.E., 2009 : Frentes Frias sobre o Brasil. In: Cavalcanti, I.F.A. et al.(orgs) *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos. p. 135-148.

Cunha S.B., 2007 : Canais fluviais e a questão ambiental. In: Cunha, S. B.; Guerra, A. J. T. (Org.). *A questão ambiental: diferentes abordagens*. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 219-238.

Defesa Civil do Paraná., 2015: *Relatórios de Ocorrências*. Disponível em: <http://www.defesacivil.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=56>. Acesso: 19/01/2015.

INMET., 2015 : *Instituto Nacional de Meteorologia:estações meteorológicas*. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesConvencionais> .Acesso em: 19/01/2015.

IPCC., 2007 : *Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Changes - The physical science basis. Summary of Policymakers*, 18p.

Kang R.S., Marston R.A., 2006 : Geomorphic effects of rural-to-urban land use conversion on three streams in the central red bed plains of Oklahoma. *Geomorphology*, **79**, 488-506.

Marinha do Brasil., 2015 : *Centro de Hidrografia da Marinha Do Brasil: cartas sinóticas*. Disponível em: <https://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas.htm> Acesso em: 19/01/2015.

Mendonça F.A., 2012 : Les inondations urbaines a Curitiba (Brésil). In: XXV Colloque de l'AIC - Association Internationale de Climatologie, Grenoble. *Actes du XXV Colloque de l'AIC*. Grenoble: Univ Grenoble, v. **1**. p. 517-523.

Mendonça F.A., 2013 : Evènements climatiques extrêmes dans l'Etat du Parana (Brésil): Risques et défis de la gestion publique. In: *XXVI Colloque International de l'AIC, 2013, Cotonou - Bénin. Climat, agriculture et ressources en eau: D'hier à demain - Actes du Colloque*. Cotonou: Univ. Abomey-Callavi, v. **1**. p. 402-408.

Mendonça F.A., Danni-Oliveira I.M., 2007 : *Climatologia: noções básicas e climas do Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 206p.

Monteiro C.A.deF., 1991 : *Clima e Excepcionalismo: conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico*. Florianópolis: Editora da UFSC.

Tucci C.E.M., 2003 : Inundações e drenagem urbana. In: Tucci, C. E. M.; Bertoni, J. C. (Org.). *Inundações urbanas na América do Sul*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, p. 45-141.