



# Analyse des **vulnérabilités** des **impacts** des changements climatiques

## Cas de la ville de Curitiba au Brésil

La ville de Curitiba, située au sud du Brésil et capitale de l'état du Paraná, est reconnue pour son modèle de développement intégré. Elle se distingue des autres villes de l'Amérique latine pour sa planification urbaine sans précédent. En effet, dès les années 1940, les dirigeants de la Ville avaient le souci d'ordonner la croissance de Curitiba grâce à l'élaboration d'un premier plan de développement urbain, suivi, dans les années 1950, d'un premier plan de transport collectif. Aujourd'hui, la Ville s'attaque aux problématiques liées aux changements climatiques.

PAR MYRZAH BELLO

M. Sc, M. Env.  
directrice changements climatiques  
SNC-Lavalin Environnement

Conformément à sa culture de planification et gestion intégrée, Curitiba se distingue encore par sa volonté de se préparer quant aux impacts potentiels que pourraient apporter les changements climatiques. Ainsi, une étude sur l'évaluation des vulnérabilités environnementales et socio-économiques est en cours grâce au financement de la Banque mondiale à travers l'Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP).

Pour atteindre les objectifs de la Ville, l'étude est effectuée sur plusieurs étapes par une équipe multidisciplinaire. Les principales étapes consistent à :

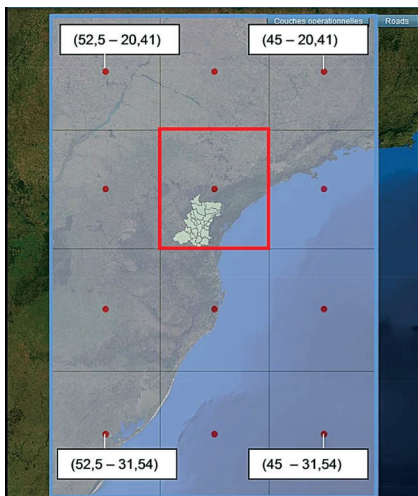
- effectuer l'extraction des données des modèles climatiques;
- effectuer la modélisation hydrologique;
- évaluer les vulnérabilités environnementales : sécheresses, inondations, ondes de chaleur, etc.;
- évaluer les vulnérabilités socio-économiques.

### MODÉLISATION CLIMATIQUE

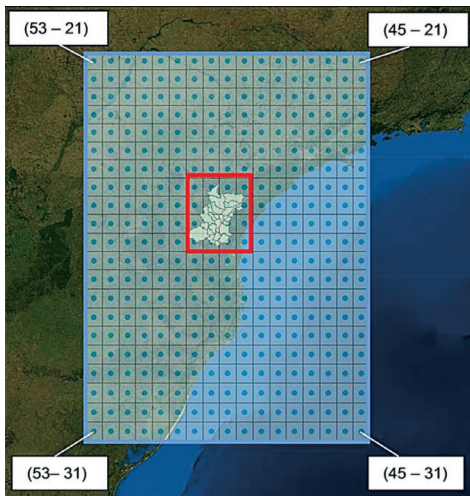
Même si les changements climatiques sont une problématique globale, ses effets se font ou se feront sentir régionalement, voire même localement. Réduire à une échelle régionale l'analyse des impacts climatiques est une question complexe. Ainsi, les modèles climatiques régionaux et globaux montrent les tendances, et l'interprétation de ces modèles doit être effectuée avec précaution considérant l'incertitude inhérente à ces derniers. En effet, ces modèles sont en constante évolution et en développement, et la pratique exige que plusieurs de ceux-ci soient utilisés afin de pouvoir tirer des conclusions. Plus spécifiquement, l'étude de Curitiba demandait l'utilisation d'un seul modèle global du modèle Canadian Center for Climate Modeling and Analysis (CGCM3) et un modèle régional du Hadley center (HadRM3P). Ayant cette restriction en tête, l'équipe de travail pouvait quand même tirer des conclusions tendanciennes, car une analyse exhaustive des données historiques a également fait partie intégrante de l'étude, alors que les données observationnelles provenaient du Climatic Research Unit (CRU). Les points de grille de données utilisés pour les deux modèles et les données d'observation sont représentés dans les figures 1, 2 et 3 ci-contre.

L'analyse des données d'observation et des modèles climatiques a permis de conclure que les données du modèle régional de Hadley avaient une corrélation plus importante avec les données observées que celles du modèle global. C'est pourquoi l'étude se base surtout sur les projections du modèle de Hadley.

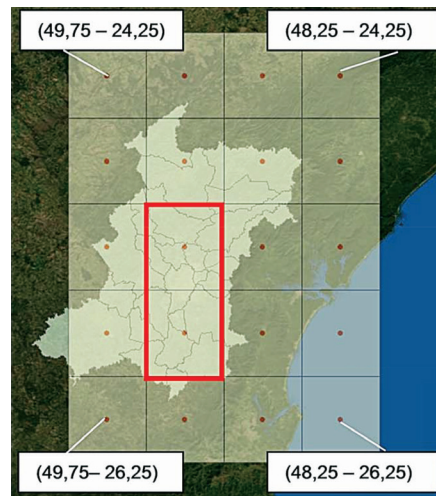
**FIGURE 1**  
Points de grille du modèle global CGCM



**FIGURE 2**  
Points de grille du modèle régional HadRM3P



**FIGURE 3**  
Points de grille des données du CRU

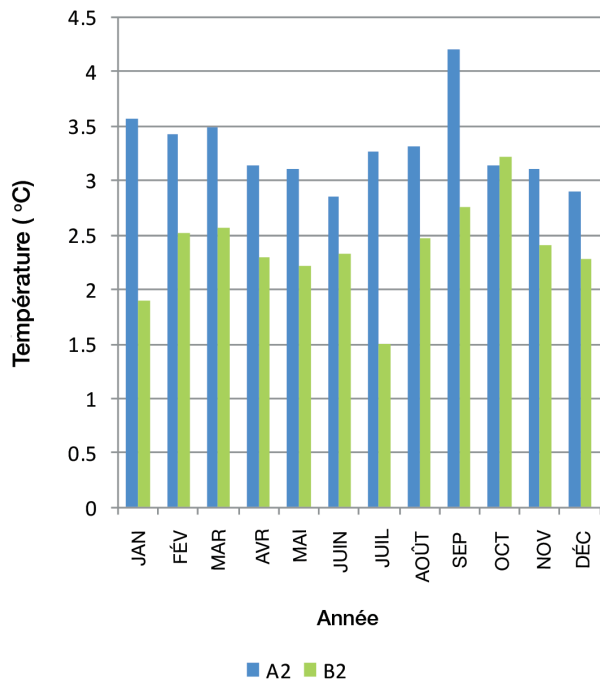


Les scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (GES) établis par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) et analysés dans le cadre de cette étude étaient les scénarios A2 et B2 pour le modèle régional. A2 étant un scénario où les émissions de GES sont plus importantes et pour lequel la croissance démographique mondiale est grande, alors que le scénario B2 entrevoit un développement sur des solutions locales dans un contexte de développement durable; le changement technologique plus diversifié met l'accent sur les initiatives communautaires

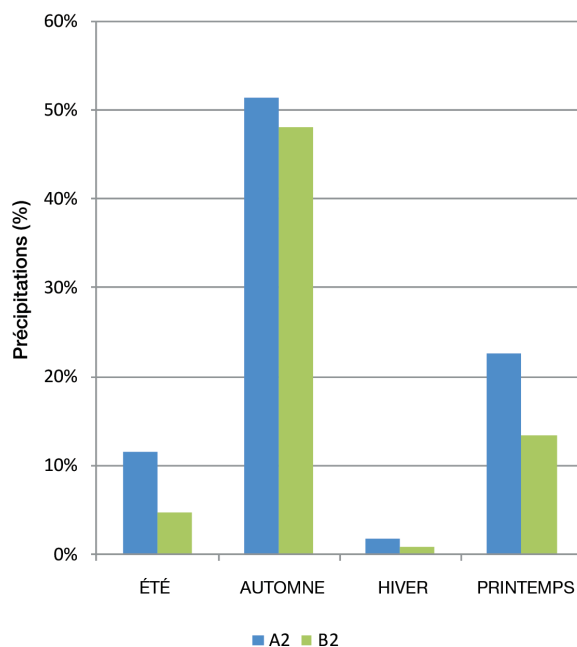
et l'innovation sociale plutôt que des solutions globales.

Les résultats des projections utilisant le modèle régional Hadley et le scénario d'émission A2 démontraient la situation du pire scénario. À la figure 4, on peut observer une augmentation mensuelle des températures qui est plus considérable au scénario A2 comparativement au scénario B2, à l'exception du mois d'octobre. Une augmentation des précipitations, illustrée à la figure 5, est constatée lorsqu'on compare le scénario de référence au scénario futur plus

**FIGURE 4**  
Anomalies mensuelles des températures simulées 1961-1990 versus 2071-2100



**FIGURE 5**  
Variations des précipitations saisonnières simulées 1961-1990 versus 2071-2100



## DOSSIER Villes durables – Perspectives mondiales

Analyse des **vulnérabilités** des **impacts** des changements climatiques

marqué à l'automne qu'à l'hiver. Tout au long de l'étude, le pire scénario fut utilisé, soit les données du modèle régional du scénario A2.

### ÉVALUATION DES INONDATIONS ET DES SÉCHERESSES

Le bassin versant étudié fut l'Alto Iguazu. Une fois calculée, la série des précipitations et des pluies intenses fut basée sur les scénarios climatiques et des simulations utilisant un modèle hydrologique calibré ont été effectuées pour créer des séries de décharges et de crues. Le modèle hydrologique HEC-HMS version 3.5 (HEC, 2010) a été adopté pour simuler les processus hydrologiques qui génèrent le ruissellement dans le bassin versant de l'Alto Iguazu.

Il est important de souligner que dès les années 1970, la Ville de Curitiba avait déjà pris des mesures pour minimiser certains impacts des inondations. En effet, en 1972, la ville créa le parc Barigüi pour contrôler les inondations.

### INDICE DE VULNÉRABILITÉ

Regroupant les données simulées par les modèles climatiques et hydrologiques, une carte de vulnérabilité fut conçue afin de représenter graphiquement les zones potentiellement plus vulnérables. Ainsi, il a été possible de repérer certaines zones propices aux îlots de chaleurs en raison d'une urbanisation très dense, surtout au centre-ville et d'autres, plus propices aux inondations.

### VULNÉRABILITÉ SOCIO-ÉCONOMIQUE

Ayant comme objectif d'évaluer les vulnérabilités de la Ville par rapport à l'augmentation d'évènements climatiques extrêmes, une analyse de risques a été effectuée. Pour réaliser cette analyse, plusieurs parties prenantes ont été consultées regroupant les préoccupations divergentes de tous afin de prioriser les actions. Ainsi, le système bâti, le système social et le système environnemental furent analysés. De plus, les vulnérabilités de ces systèmes furent évaluées par rapport aux évènements climatiques suivants : sécheresse, ondes de chaleur, pluies fortes, inondation, grêle, vents forts/tornades, etc.

L'analyse de risques, jumelée aux cartes sur les variables socio-économiques, permet

Ayant comme objectif d'évaluer les vulnérabilités de la Ville par rapport à l'augmentation d'évènements climatiques extrêmes, une analyse de risques a été effectuée.

Les évaluations ont permis de déterminer qu'aucun scénario ne présentait de variation importante par rapport au scénario de référence (1961-1990), relativement aux périodes de sécheresse. À l'inverse, l'occurrence d'inondation de 25 ans et de 50 ans augmente et la surface inondée augmente également, comme le démontre le tableau 1.

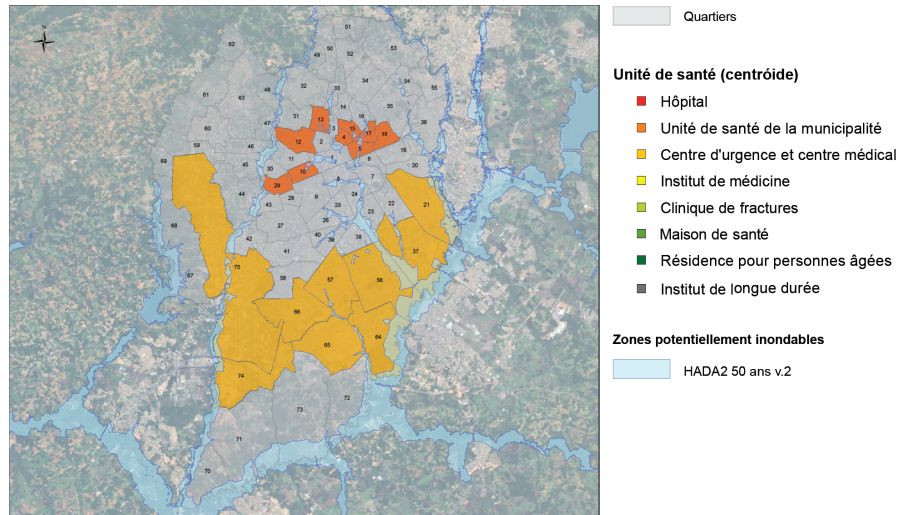
**TABLEAU 1**

Extension des zones inondées avec risque d'inondation dans le bassin versant Alto Iguazu

Scénario climatique	Occurrence 25 ans		Occurrence 50 ans	
	Zone (km <sup>2</sup> )	Variation (*)	Zone (km <sup>2</sup> )	Variation (*)
Scénario de référence	203,19	-	206,97	-
<b>Modèle régional HadRM3P</b>				
A2	213,74	+5,2 %	218,50	+5,6 %
B2	210,28	+3,5 %	214,14	+3,5 %

(\*) Augmentation ou diminution par rapport à la période de référence (1961 à 1990)

**FIGURE 6**  
Localisation des populations vulnérables



Source : carte préparée par SNC-Lavalin pour l'Associação Nacional de Transportes Públicos

d'identifier les zones, les infrastructures et les services à étudier avec plus de détails, soit pour augmenter la résilience, la déplacer et/ou la renforcer. Cela a également permis de prioriser les actions à entreprendre suite à l'analyse des vulnérabilités. Les cartes ci-contre représentent certaines infrastructures critiques par rapport aux zones potentiellement inondables (zones bleues sur les cartes).

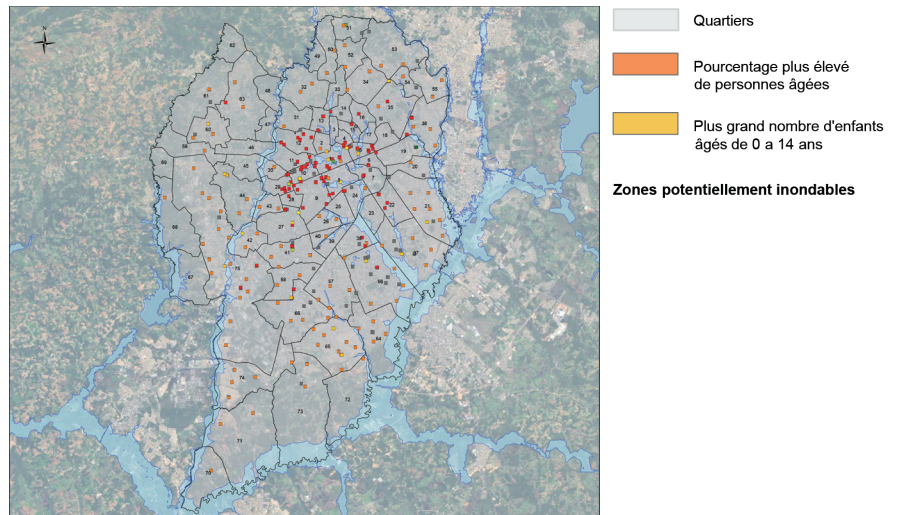
Tout d'abord, la figure 6 illustre les quartiers ayant un plus grand nombre de personnes âgées (orange foncé) et d'enfants en bas âge (orange pâle). Comme ces deux groupes d'âge sont considérés comme des populations plus vulnérables, il est important de savoir où se retrouve ce type d'individus et de voir si ces derniers sont situés dans des zones plus à risque.

Les figures 7 et 8 illustrent où sont situées les infrastructures liées à la santé et l'éducation. Les points sont de couleurs différentes pour démarquer les types d'établissement, à titre d'exemple les cliniques, les hôpitaux, les écoles primaires, les universités ou autres. Ces cartes permettent d'identifier les infrastructures les plus à risque et de planifier les étapes suivantes, soit l'évaluation de la résilience de l'infrastructure, la priorisation d'actions, etc.

L'étude étant encore en cours, des conclusions sur la partie socio-économique ne peuvent être présentées au moment d'écrire ces lignes.

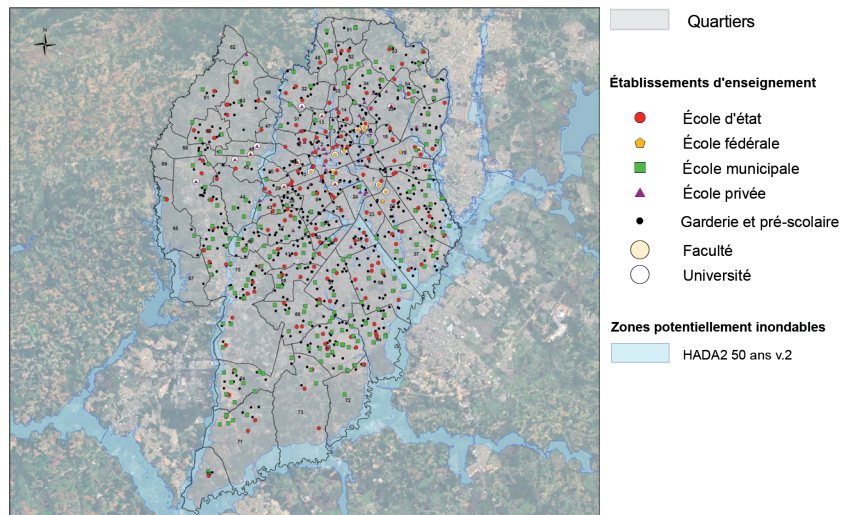
Finalement, d'autres étapes importantes auront à être élaborées à la suite de cette analyse de vulnérabilités, dont l'identification des mesures d'adaptation et l'élaboration d'un plan d'adaptation qui inclut le calendrier de mise en œuvre, les rôles et responsabilités, le mécanisme de revue, le comité de suivi, les analyses de coûts et des bénéfices afin de prioriser les interventions, etc. Le plan d'adaptation découlant de cette analyse de vulnérabilités sera un outil supplémentaire dans la continuité de la gestion intégrée et durable de cette ville modèle. ■

**FIGURE 7**  
Localisation des différents types de centre hospitalier



Source : carte préparée par SNC-Lavalin pour l'Associação Nacional de Transportes Públicos

**FIGURE 8**  
Localisation des établissements scolaires



Source : carte préparée par SNC-Lavalin pour l'Associação Nacional de Transportes Públicos