

Centre Mathieu Badolo  
Cahiers africains des sciences et de l'environnement  
Working papers Series  
ISSN 2630 – 1245

**Mesure de la progression des villes et territoires vers la résilience aux risques  
d'inondation**

Working Paper 24 – 05  
Mathieu Badolo  
Novembre 2024  
[cahiers.edublogs.org](http://cahiers.edublogs.org)  
Tous droits réservés

## **Mesure de la progression des villes et territoires vers la résilience aux risques d'inondation**

Mathieu Badolo

Centre Mathieu Badolo, Ouagadougou, Burkina Faso

mathieu.badolo@cesmb.org

### **Résumé**

Des référentiels de mesure de la progression vers la résilience sont certains des outils d'aide à la décision à envisager pour un management efficient de la résilience des villes et territoires aux risques d'inondation. Ces référentiels qui devraient intégrer les dimensions essentielles des villes et des territoires sont destinés à générer plusieurs types de classes de mesures relatives aux progrès réalisés par les parcours de résilience aux risques d'inondation. Pour plusieurs villes, le développement et la mise en œuvre de ces référentiels sont encore à considérer.

Cet article propose le référentiel Badolo CitiesFloodMetrics pour la mesure de la progression des villes et territoires vers la résilience aux risques d'inondation. Il est fondé par trois paramètres de résilience qui sont une configuration de résilience des villes et territoires aux inondations, un ensemble de facteurs de vulnérabilité résiduels aux inondations et un ensemble d'impacts résiduels des inondations associés à la configuration de résilience des villes et territoires. A chacun des trois paramètres de résilience un groupe de familles de variables de mesures de la progression des villes et territoires vers la résilience aux inondations est associé. Le référentiel proposé est un outil multidimensionnel qui intègre les secteurs économiques, les services sociaux de base, les écosystèmes, les infrastructures et la gouvernance des villes et territoires. Une spécificité du référentiel Badolo CitiesFloodMetrics est la loi de variation des variables de mesure de la progression des villes et territoires vers la résilience aux inondations. Elle régit la réalisation des groupes de familles dudit référentiel.

L'implémentation du référentiel Badolo CitiesFloodMetrics génère plusieurs classes de mesures de la progression vers la résilience pour prendre en compte la complexité et les multiples aspects des processus de résilience des villes et des territoires aux risques d'inondation.

**Mots clés :** Villes, territoires, risques d'inondation, résilience, progression, mesure, approche, CitiesFloodMetrics

## 1. Introduction

Pour les villes et territoires, l'un des risques liés aux changements climatiques est relatif à l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des risques d'inondation [1-2]. Des inondations plus fréquentes et plus intenses engageraient de nombreux villes et territoires dans le monde dans des dynamiques de régressions économiques, sociales, humaines, environnementales, scientifiques, technologiques, institutionnelles ou politiques. Les configurations des villes et territoires qui en résulteraient limiteraient leur attractivité, compétitivité et viabilité [3-4]. Une gouvernance urbaine efficiente et performante qui intègre les menaces liées aux risques d'inondation est l'une des réponses pour protéger les villes et territoires de ces risques et de leurs impacts directs et indirects. Une telle gouvernance devrait inclure des référentiels de mesure de la progression vers la résilience. Le développement et l'implémentation de tels référentiels est un aspect du défi de résilience des villes et territoires aux changements climatiques, spécifiquement aux risques d'inondation [5-8].

Dans cet article, la démarche et les outils méthodologiques du cadre scientifique ClimResilience sont utilisés pour élaborer le référentiel Badolo CitiesFloodMetrics, un outil pour la mesure de la progression des villes et territoires vers la résilience aux risques d'inondation.[9] Il est fondé par trois paramètres de résilience qui sont une configuration de résilience des villes et territoires aux risques d'inondations, un ensemble de facteurs de vulnérabilité résiduels aux inondations et un ensemble d'impacts résiduels des inondations associés à la configuration de résilience des villes et territoires. A chacun de ces trois paramètres de résilience, un groupe de familles de variables de mesures de la progression des villes et territoires vers la résilience des inondations est associé. Le référentiel proposé est un outil multidimensionnel qui intègre les secteurs économiques, les services sociaux de base, les écosystèmes, les infrastructures et la gouvernance des villes et territoires. Une spécificité du référentiel Badolo CitiesFloodMetrics est la loi de variation des variables de mesure de la progression des villes et territoires vers la résilience aux risques d'inondation. Elle régit la réalisation des groupes de familles dudit référentiel.

L'implémentation du référentiel Badolo CitiesFloodMetrics génère plusieurs classes de mesures de la progression vers la résilience pour prendre en compte la complexité et les multiples aspects des processus de résilience des villes et des territoires aux risques d'inondation.

## 2. Méthodologie

Le référentiel Badolo CitiesFloodMetrics comprend deux variables indépendantes qui sont le vecteur  $c$  ( $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5$ ) associé aux villes et territoires et les risques d'inondation [9].

Les composantes du vecteur  $c$  ( $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5$ ) sont :  $c_1$  = secteurs économiques des villes et territoires,  $c_2$  = services sociaux de base des villes et territoires,  $c_3$  = écosystèmes des villes et territoires,  $c_4$  = infrastructures des villes et territoires,  $c_5$  = gouvernance des villes et territoires.

Le référentiel Badolo CitiesFloodMetrics comprend trois paramètres de résilience, la configuration de résilience  $\check{c}$  des villes et territoires aux risques d'inondation, l'ensemble  $\check{d}$  des impacts résiduels des risques inondation sur les villes et territoires et l'ensemble  $\check{v}$  des facteurs de vulnérabilité résiduels des villes et territoires aux risques d'inondation [9]. Il comprend trois groupes de familles de variables de mesure de la progression vers la résilience :

- le groupe  $\kappa\check{c}$  des familles de variables de mesure de la progression vers la résilience associée au paramètre de résilience  $\check{c}$  ;
- le groupe  $\kappa\check{d}$  des familles de variables de mesure de la progression vers la résilience associée au paramètre de résilience  $\check{d}$  ;
- le groupe  $\kappa\check{v}$  des familles de variables de mesure de la progression vers la résilience associée au paramètre de résilience  $\check{v}$ .

Pour une configuration donnée ( $c$ ) des villes et territoires, une variable  $x$  de mesure de la progression vers la résilience est caractérisée par :

$$\lim_{c \rightarrow \check{c}} x = 0$$

## 3. Résultats

Les éléments de la famille  $\kappa\check{c}$  associée au paramètre de résilience  $\check{c}$  sont :

- $\kappa\check{c}$  = {variations de la situation de l'économie des villes et territoires induites par les inondations, variations de la situation des services sociaux des villes et territoires induites par les inondations, variations de la situation des écosystèmes des villes et territoires induites par les inondations, variations de la situation de des infrastructures des villes et territoires induites par les inondations, variations de la situation de la gouvernance des villes et territoires induites par les inondations }

Un élément de la famille  $\kappa_i$  indique des variations de situation d'une dimension  $c_i$  ( $i = 1, \dots, 5$ ) des villes et territoires induites par les risques d'inondation. Dans des configurations de résilience, ces changements de situations sont résiduels. Pour chaque dimension des villes et territoires, une enveloppe d'indicateurs peut être spécifiée pour une mesure des variations de situations induites par les inondations.

Le tableau (1) décrit les sept familles de variables de mesure de la progression vers la résilience associées au paramètre de résilience  $\bar{d}$ . Les éléments de ces familles mesurent respectivement les variations des accomplissements et spécificités des dimensions des villes et territoires et les coûts économiques, sociaux, humains, environnementaux, institutionnels ou politiques des impacts des inondations sur les villes et territoires.

Tableau (1) : Familles de variables de mesure de la progression vers la résilience associées au paramètre de résilience  $\bar{d}$

Familles associées au paramètre de résilience $\bar{d}$	Spécifications des familles	Eléments des familles
$\kappa_{\bar{d},1}$	Mesures des variations des accomplissements et spécificités des dimensions des villes et territoires	variations de la production de biens et services par les secteurs économiques des villes et territoires liées aux risques d'inondation, variations de la fourniture de services sociaux de base des villes et territoires liées aux risques d'inondation, variations des ressources et services rendus par les écosystèmes des villes et territoires liées aux risques d'inondation, variations de la fonctionnalité et de la disponibilité des infrastructures des villes et territoires liées aux risques d'inondation, variations dans la gestion des ordres politiques économiques, sociaux, environnementaux des villes et territoires liées aux risques d'inondation
$\kappa_{\bar{d},2}$	Mesure des variations des coûts économiques des impacts des risques d'inondation	coûts économiques des impacts des risques d'inondation sur l'économie des villes et territoires, coûts économiques des impacts des risques d'inondation sur les services sociaux de base des villes et territoires, coûts économiques des impacts des risques d'inondation sur les écosystèmes des villes et territoires, coûts économiques des impacts des risques d'inondation sur les infrastructures des villes et territoires, coûts économiques des impacts des risques d'inondation sur la gouvernance des villes et territoires
$\kappa_{\bar{d},3}$	Mesure des variations des coûts sociaux des impacts des risques d'inondation	coûts sociaux des impacts des risques d'inondation sur l'économie des villes et territoires, coûts sociaux des impacts des risques d'inondation sur les services sociaux de base des villes et territoires, coûts sociaux des impacts des risques d'inondation sur les écosystèmes des villes et territoires, coûts sociaux des impacts des risques d'inondation sur les infrastructures des villes et territoires, coûts sociaux des impacts des risques d'inondation sur la gouvernance des villes et territoires
$\kappa_{\bar{d},4}$	Mesure des variations des coûts humains des impacts des risques d'inondation	coûts humains des impacts des risques d'inondation sur l'économie des villes et territoires, coûts humains des impacts des risques d'inondation sur les services sociaux de base des villes et territoires, coûts humains des impacts des risques d'inondation sur les écosystèmes des villes et territoires, coûts humains des impacts des risques d'inondation sur les infrastructures des villes et territoires, coûts humains des impacts des risques d'inondation sur la gouvernance des villes et territoires
$\kappa_{\bar{d},5}$	Mesure des variations des coûts environnementaux des impacts des risques d'inondation	coûts environnementaux des impacts des risques d'inondation sur l'économie des villes et territoires, coûts environnementaux des impacts des risques d'inondation sur les services sociaux de base des villes et territoires, coûts environnementaux des impacts des risques d'inondation sur les écosystèmes des villes et territoires, coûts environnementaux des impacts des risques d'inondation sur les infrastructures des villes et territoires, coûts environnementaux des impacts des risques d'inondation sur la gouvernance des villes et territoires

$\kappa\delta,6$	Mesure des variations des coûts institutionnels des impacts des risques d'inondation	coûts institutionnels des impacts des risques d'inondation sur l'économie des villes et territoires, coûts institutionnels des impacts des risques d'inondation sur les services sociaux de base des villes et territoires, coûts institutionnels des impacts des risques d'inondation sur les écosystèmes des villes et territoires, coûts institutionnels des impacts des risques d'inondation sur les infrastructures des villes et territoires, coûts institutionnels des impacts des risques d'inondation sur la gouvernance des villes et territoires
$\kappa\delta,7$	Mesure des variations des coûts politiques des impacts des risques d'inondation	coûts politiques des impacts des risques d'inondation sur l'économie des villes et territoires, coûts politiques des impacts des risques d'inondation sur les services sociaux de base des villes et territoires, coûts politiques des impacts des risques d'inondation sur les écosystèmes des villes et territoires, coûts politiques des impacts des risques d'inondation sur les infrastructures des villes et territoires, coûts politiques des impacts des risques d'inondation sur la gouvernance des villes et territoires

Les familles de variables de mesure de la progression vers la résilience associées au paramètre de résilience  $\delta$  pourraient signifier pour de nombreux villes et territoires à travers le monde d'importants efforts à consentir pour réaliser des configurations sur lesquelles les impacts et répercussions des risques d'inondation sont résiduels.

Le tableau (2) décrit les deux familles de variables de mesure de la progression vers la résilience associées au paramètre de résilience  $\tilde{\nu}$ . Les éléments de ces familles mesurent respectivement la sensibilité des dimensions des villes et territoires aux risques d'inondation et les variations des financements nécessaires pour protéger les villes et territoires des risques d'inondation

Tableau (2) : Familles de variables de mesure de la progression vers la résilience associées au paramètre de résilience  $\tilde{\nu}$

Familles associées au paramètre de résilience $\tilde{\nu}$	Spécifications des familles	Eléments des familles
$\kappa\tilde{\nu},1$	Mesures de la sensibilité des dimensions des villes et territoires aux risques d'inondation	part de l'économie des villes et territoires sur laquelle les risques d'inondation ont des impacts non résiduels, part des services sociaux de base des villes et territoires sur laquelle les risques d'inondation ont des impacts non résiduels, part des écosystèmes des villes et territoires sur laquelle les risques d'inondation ont des impacts non résiduels, part des infrastructures des villes et territoires sur laquelle les risques d'inondation ont des impacts non résiduels, part de la gouvernance des villes et territoires sur laquelle les risques d'inondation ont des impacts non résiduels
$\kappa\tilde{\nu},2$	Mesures des variations des financements nécessaires pour protéger les dimensions des villes et territoires des risques d'inondation	financement nécessaire pour protéger l'économie des villes et territoires des risques d'inondation, financement nécessaire pour protéger les services sociaux de base des villes et territoires des risques d'inondation, financement nécessaire pour protéger les infrastructures des villes et territoires des risques d'inondation, financement nécessaire pour protéger la gouvernance des villes et territoires des risques d'inondation

Les différents éléments des familles de variables de mesure de la progression vers la résilience associées au paramètre de résilience  $\tilde{\nu}$  pourraient signifier pour de nombreux contextes à travers le monde des situations distantes des configurations de résilience.

#### **4. Discussion**

Des référentiels de mesure de la progression vers la résilience qui améliorent l'efficacité et l'impact de la gouvernance des villes et territoires en lien avec les risques d'inondation devraient être multidimensionnels, contextuels, et comprendre plusieurs corpus de mesures. L'information qu'ils généreraient concernerait les progrès réalisés en lien avec la réduction de la vulnérabilité aux risques d'inondation, l'atténuation des impacts directs et indirects des risques d'inondation et les variations de configurations des villes et territoires. Des cadres théoriques, méthodologiques et décisionnels robustes, pertinentes et efficaces sont requis pour élaborer ces référentiels de mesure de la progression vers la résilience. Le référentiel Badolo CitiesFloodMetrics, qui implémente la démarche, les outils méthodologiques et décisionnels du cadre scientifique ClimResilience, répondrait aux critères de pertinence et d'efficacité requis pour les outils de suivi et évaluation des progrès réalisés par les processus de résilience aux risques d'inondation.

La littérature scientifique propose diverses approches pour la mesure de la progression vers la résilience aux risques d'inondation des villes et territoires [10-14]. Le référentiel Badolo CitiesFloodMetrics se distingue par son approche et ses corpus de mesures de la progression vers la résilience. Il concerne les dimensions essentielles des villes et territoires et est fondé par des paramètres de résilience relatifs respectivement à la configuration des villes et territoires, aux impacts des risques d'inondation sur les villes et territoires et à la vulnérabilité des villes et territoires aux risques d'inondation. A chaque paramètre de résilience, le référentiel Badolo CitiesFloodMetrics associe un groupe de familles de variables de mesure de la progression vers la résilience. La loi de variations des variables de mesure de la progression vers la résilience régit les corpus de mesures proposés. Une variable de mesure de la progression vers la résilience a une valeur approximativement nulle dans une configuration de résilience.

L'implémentation du référentiel Badolo CitiesFloodMetrics génère plusieurs classes de mesures de la progression vers la résilience pour prendre en compte la complexité et les multiples aspects des processus de résilience des villes et des territoires aux risques d'inondation. Elles concernent principalement les variations des accomplissements et spécificités des dimensions des villes et territoires, les coûts économiques, sociaux, humains, environnementaux, institutionnels ou politiques des impacts des risques d'inondation sur les villes et territoires, la sensibilité des dimensions des villes et territoires aux risques d'inondation et les variations des financements nécessaires pour protéger les villes et territoires des risques d'inondation

#### **5. Conclusion**

L'objectif de cet article était l'efficacité des outils pour la mesure de la progression des villes et territoires vers la résilience aux risques d'inondation. Le principal résultat proposé est le référentiel Badolo CitiesFloodMetrics. Il est fondé par trois paramètres de résilience qui sont une configuration de résilience des villes et territoires aux inondations, un ensemble de facteurs de vulnérabilité résiduels et un ensemble d'impacts résiduels des risques d'inondation associés à la configuration de résilience des villes et territoires. A chacun des trois paramètres de résilience un groupe de familles de variables de mesure de la progression des villes et territoires vers la résilience est associé. Le référentiel proposé est un outil multidimensionnel qui intègre les secteurs économiques, les services sociaux de base, les écosystèmes, les infrastructures et la gouvernance des villes et territoires. L'une de ses spécificités est la loi de variation des variables de mesure de la progression vers la résilience aux risques d'inondation. L'implémentation du référentiel Badolo CitiesFloodMetrics génère plusieurs classes de mesures de la progression vers la résilience pour prendre en compte la complexité et les multiples aspects des processus de résilience des villes et des territoires aux risques d'inondation.

## Références

1. Kui Xu, Yunchao Zhuang, Xingyu Yan, Lingling Bin, Ruozhu Shen, Real options analysis for urban flood mitigation under environmental change, *Sustainable Cities and Society*, Volume 93, 2023, 104546, ISSN 2210-6707, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104546>.
2. Li, C.; Sun, N.; Lu, Y.; Guo, B.; Wang, Y.; Sun, X.; Yao, Y. Review on Urban Flood Risk Assessment. *Sustainability* 2023, 15, 765. <https://doi.org/10.3390/su15010765>
3. Shray Pathak, Min Liu, Daniel Jato-Espino, Chris Zevenbergen, Social, economic and environmental assessment of urban sub-catchment flood risks using a multi-criteria approach: A case study in Mumbai City, India, *Journal of Hydrology*, Volume 591, 2020, 125216, ISSN 0022-1694, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125216>.
4. MESSNER, F., MEYER, V. (2006). FLOOD DAMAGE, VULNERABILITY AND RISK PERCEPTION – CHALLENGES FOR FLOOD DAMAGE RESEARCH. In: Schanze, J., Zeman, E., Marsalek, J. (eds) *Flood Risk Management: Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures*. NATO Science Series, vol 67. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4598-1\\_13](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4598-1_13)
5. Jiaxuan Zheng, Guoru Huang, A novel grid cell-based urban flood resilience metric considering water velocity and duration of system performance being impacted, *Journal of Hydrology*, Volume 617, Part A, 2023, 128911, ISSN 0022-1694, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128911>.
6. Louise Bertilsson, Karin Wiklund, Isadora de Moura Tebaldi, Osvaldo Moura Rezende, Aline Pires Veról, Marcelo Gomes Miguez, Urban flood resilience – A multi-criteria index to integrate flood resilience into urban planning, *Journal of Hydrology*, Volume 573, 2019, Pages 970-982, ISSN 0022-1694, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.06.052>.
7. Karen A. Campbell, Finn Laurien, Jeffrey Czajkowski, Adriana Keating, Stefan Hochrainer-Stigler, Marilyn Montgomery, First insights from the Flood Resilience Measurement Tool: A large-scale community flood resilience analysis, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Volume 40, 2019, 101257, ISSN 2212-4209, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101257>.
8. Bulti, D.T., Girma, B. & Megento, T.L. Community flood resilience assessment frameworks: a review. *SN Appl. Sci.* 1, 1663 (2019). <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1731-6>
9. Mathieu BADOLO. ClimResilience, a global climate resilience framework, <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3942168/v1>
10. Zheng, J., Huang, G. Integrating resilience into an urban flood risk assessment framework: a case study of the Minzhi region, Shenzhen City. *Stoch Environ Res Risk Assess* 37, 1183–1197 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00477-022-02325-9>
11. Rezende, O.M., da Cruz de Franco, A.B.R., de Oliveira, A.K.B., Jacob, A.C.P., Miguez, M.G. (2019). A Framework to Assess Urban Floods Resilience. In: Mannina, G. (eds) *New Trends in Urban Drainage Modelling*. UDM 2018. Green Energy and Technology. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-99867-1\\_92](https://doi.org/10.1007/978-3-319-99867-1_92)
12. Juan Ji, Liping Fang, Junfei Chen, Tonghui Ding, A novel framework for urban flood resilience assessment at the urban agglomeration scale, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Volume 108, 2024, 104519, ISSN 2212-4209, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2024.104519>.
13. Osvaldo Moura Rezende, Anna Beatriz Ribeiro da Cruz de Franco, Antonio Krishnamurti Beleño de Oliveira, Ana Caroline Pitzer Jacob, Marcelo Gomes Miguez, A framework to introduce urban flood resilience into the design of flood control alternatives, *Journal of Hydrology*, Volume 576, 2019, Pages 478-493, ISSN 0022-1694, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.06.063>.
14. Ghasemzadeh, B.; Zarabadi, Z.S.S.; Majedi, H.; Behzadfar, M.; Sharifi, A. A Framework for Urban Flood Resilience Assessment with Emphasis on Social, Economic and Institutional Dimensions: A Qualitative Study. *Sustainability* 2021, 13, 7852. <https://doi.org/10.3390/su13147852>