

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

Ressources en eau, changements climatiques et management du développement économique et social : l'approche par le cadre scientifique Badolo WaterClimRisks

Working Paper 24 – 01
Mathieu Badolo
Octobre 2024
<https://cahiers.edublogs.org>
Tous droits réservés

Ressources en eau, changements climatiques et management du développement économique et social : l'approche par le cadre scientifique Badolo WaterClimRisks

Mathieu Badolo

Centre Mathieu Badolo, Ouagadougou, Burkina Faso

centre.mbadolo@gmail.com

Résumé

Les ressources en eau sont l'un des systèmes concernés par les impacts directs et indirects des changements climatiques. Dans les régions du monde où ces impacts sont significatifs, ils pourraient engendrer des contextes marqués par de multiples entraves et limitations pour le développement économique et social. Cartographier, évaluer et intégrer les impacts des changements climatiques sur les ressources en eau dans les plans de développement est l'une des options à considérer pour protéger les dynamiques et gains de développement. En pratique, des réponses de réduction des risques liés aux impacts des changements climatiques sur les ressources en eau requiert des cadres scientifiques robustes prenant en compte les spécificités contextuelles.

Cet article propose le cadre scientifique WaterClimRisks pour la réduction des risques liés aux impacts des changements climatiques pour le développement économique et social. Il suggère une démarche, des familles d'information et des outils d'aide à la décision pour une intégration efficiente des impacts des changements climatiques sur les ressources dans la planification et la gestion du développement économique et social. Des horizons d'intégration à court terme, moyen terme et long terme des impacts des changements climatiques sur les ressources en eau sont proposés pour réaliser des objectifs spécifiques de résilience du développement aux impacts des changements climatiques sur les ressources en eau. De manière singulière, WaterClimRisks propose un système de mesure de la progression vers la résilience aux impacts des changements climatiques sur les ressources en eau.

Mots clés : Développement, ressources en eau, changements climatiques, risques, intégration, WaterClimRisks

1. Introduction

Les ressources en eau sont, dans plusieurs régions du monde, l'un des secteurs particulièrement concernés par les impacts directs et indirects des changements climatiques [1-3]. Ces impacts, qui pourraient être des changements adverses significatifs dans la disponibilité, la qualité, la demande, l'accès, le financement et la gouvernance des ressources en eau, engendreraient des contextes marqués par de multiples entraves et limitations pour le développement économique et social. Cartographier, évaluer et intégrer les impacts des changements climatiques sur les ressources en eau dans les plans de développement économique et social est l'une des options à considérer pour protéger les dynamiques et gains développement. En pratique, des réponses de réduction des risques liés aux impacts des changements climatiques sur les ressources en eau requiert des cadres scientifiques robustes qui prennent en compte les spécificités et capacités contextuelles [4 -7].

Cet article propose le cadre scientifique Badolo WaterClimRisks pour la réduction des risques liés aux impacts des changements climatiques pour le développement économique et social. Il suggère une démarche, des familles d'information et des outils d'aide à la décision pour une intégration efficiente des impacts des changements climatiques sur les ressources dans la planification et la gestion du développement économique et social. Des horizons d'intégration à court terme, moyen terme et long terme des impacts des changements climatiques sur les ressources en eau sont indiqués pour réaliser des objectifs spécifiques de résilience du développement économique et social. Des groupes de familles d'information sont suggérés pour l'intégration des impacts directs et indirects des changements climatiques sur les ressources en eau. Le premier groupe comprend les chaînes d'impacts des changements climatiques sur la disponibilité, la qualité, la demande, le financement et la gouvernance des ressources en eau. Le second groupe d'information est le groupe des familles des risques liés aux impacts des changements climatiques sur les ressources en eau pour les secteurs de l'économie, les services sociaux de bases, les écosystèmes, les infrastructures et les systèmes de gouvernance politique. Le schéma d'intégration de WaterClimRisks comprend trois horizons d'intégration à court terme, moyen terme et long terme. Chaque horizon d'intégration, qui est fondé par des classes de risques, de facteurs de vulnérabilité, de solutions de résilience et de solution de financement, réalise une configuration spécifique du développement économique et social aux impacts des changements climatiques sur les ressources en eau. De manière singulière, WaterClimRisks propose un système de mesure de la progression la résilience aux impacts des changements climatiques sur les ressources en eau.

Le cadre scientifique WaterClimRisks est une réalisation scientifique qui suggère des approches, familles d'information et de nouveau outils d'aide à la décision pour une amélioration de la pertinence, efficacité et impacts des actions de réduction des risques liés aux impacts des changements climatiques sur dans la disponibilité, la qualité, la demande, l'accès, les financements et la gouvernance des ressources. Il intègre les spécificités contextuelles et comprend un système de mesure de la progression vers des configurations de résilience.

2. Méthodologie

La figure (1) décrit la démarche, les familles d'information et le schéma d'intégration du cadre scientifique Badolo WaterClimRisks.

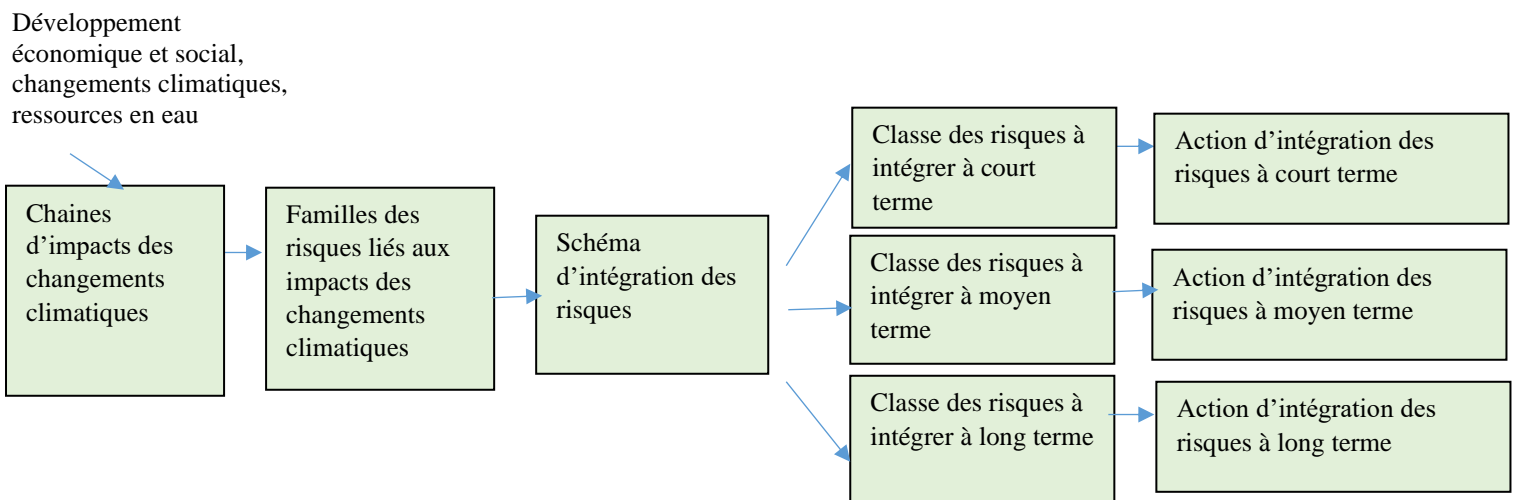


Figure (1) : démarche et éléments du cadre scientifique Badolo WaterClimRisks

Le cadres scientifique Badolo WaterClimRisks associe aux ressources en eau et au développement économique et social des vecteurs spécifiques. Le vecteur e (e_1, e_2, e_3, e_4, e_5) associé aux ressources en eau est [8] :

- $e1$ = disponibilité des ressources en eau
- $e2$ = demande en ressources en eau
- $e3$ = qualité des ressources en eau
- $e4$ = financement des ressources en eau
- $e5$ = gouvernance des ressources en eau

Le vecteur y ($y1, y2, y3, y4, y5$) associé au développement économique et social est [8] :

- $y1$ = secteurs économiques
- $y2$ = services sociaux de base
- $y3$ = écosystèmes
- $y4$ = infrastructures
- $y5$ = systèmes de gouvernance politique

Pour élaborer les familles d'informations les méthodes ClimImpacts, ClimVulnerability et ClimSolutions du cadre scientifique ClimResilience sont utilisées [8].

La démarche de la subdivision des trajectoires de résilience en segments de trajectoires de résilience est utilisée pour établir des horizons d'intégration des impacts des changements climatiques sur les ressources en eau [8].

3. Résultats

3.1. Impacts des changements climatiques sur les ressources en eau

Les chaînes d'impacts $ce1, ce2, ce3, ce4, ce5$ des chaînes d'impacts des changements climatiques sur les ressources en eau :

- $ce1$, chaîne des impacts des changements climatiques sur la disponibilité des ressources en eau
- $ce2$, chaînes des impacts des changements climatiques sur la demande en ressources en eau
- $ce3$, chaîne des impacts des changements climatiques sur la qualité des ressources en eau
- $ce4$, chaîne des impacts des changements climatiques sur le financement des ressources en eau
- $ce5$, chaînes des impacts des changements climatiques sur la gouvernance des ressources en eus

Les impacts d'une chaîne d'impacts cei ($i = 1, \dots, 5$) sont :

- cei ($i = 1, \dots, 5$) = $eido, eid1, \dots, eidk$

Par définition, $eido$ est l'impact direct, $eidm$ ($m = 1, \dots, k$) est l'impact indirect d'ordre m et k est la longueur de la chaîne d'impacts [8].

Le cadre scientifique Badolo WaterClimRisks propose les chaînes d'impacts suivantes :

- **ce1**, variations de la disponibilité des ressources en eau, dégradation des acquis de développement de la disponibilité des ressources en eau, contraction des perspectives de développement de la disponibilité des ressources en eau, difficultés accrues de financement de la disponibilité des ressources en eau, amplification des exigences scientifiques pour la disponibilité des ressources en eau, amplification des exigences technologiques pour la disponibilité des ressources en eau, difficultés accrues de management de la disponibilité des ressources en eau, altération de la performance des institutions pour la disponibilité des ressources en eau, réduction de l'impact des politiques de disponibilité des ressources en eau ;
- **ce2**, changements de la demande en eau, dégradation des réponses à la demande en eau, altération des perspectives de maîtrise de la demande en eau, difficultés accrues de financement de la demande en eau, augmentation des exigences scientifiques pour la gestion de la demande en eau, amplification des exigences technologiques pour les réponses à la demande en eau, difficultés accrues de management de la demande en eau, altération de la performance des institutions de gestion de la demande en eau, réduction de l'impact des politiques de gestion de la demande en eau ;
- **ce3**, variations de la qualité des ressources en eau, dégradation des acquis de développement de la qualité des ressources en eau, contraction des perspectives de développement de la qualité des ressources en eau, difficultés accrues de financement de la qualité des ressources en eau, amplification des exigences scientifiques pour la qualité des ressources en eau, amplification des exigences technologiques pour la qualité des ressources en eau, difficultés

accrues de management de la qualité des ressources en eau, altération de la performance des institutions pour la qualité des ressources en eau, réduction de l'impact des politiques de qualité des ressources en eau ;

- **ce4**, variations du financement des ressources en eau, dégradation des acquis de développement du financement des ressources en eau, contraction des perspectives de développement du financement des ressources en eau, difficultés accrues pour le financement des ressources en eau, amplification des exigences scientifiques pour le financement des ressources en eau, amplification des exigences technologiques pour le financement des ressources en eau, difficultés accrues de management du financement des ressources en eau, altération de la performance des institutions pour le financement des ressources en eau, réduction de l'impact des politiques financement des ressources en eau ;
- **ce5**, variations de la gouvernance des ressources en eau, dégradation des acquis de développement de la gouvernance des ressources en eau, contraction des perspectives de développement de la gouvernance des ressources en eau, difficultés accrues de financement de la gouvernance des ressources en eau, amplification des exigences scientifiques pour la gouvernance des ressources en eau, amplification des exigences technologiques pour la gouvernance des ressources en eau, difficultés accrues de management de la gouvernance des ressources en eau, altération de la performance des institutions pour la gouvernance des ressources en eau, réduction de l'impact des politiques de gouvernance des ressources en eau.

3.2. Risques liés aux impacts des changements climatiques sur les ressources en eau

La matrice A (5,5) est le principal corpus des risques liés aux impacts des changements climatiques sur les ressources en eau pour le développement économique et social. Elle est indiquée par le tableau (1).

Tableau (1) : Matrice des risques liés aux impacts des changements climatiques sur les ressources en eau pour le développement économique et social

	y1	y2	y3	y4	y5
ce1	a11	a12	a13	a14	a15
ce2	a21	a22	a23	a24	a25
ce3	a31	a32	a33	a34	a35
ce4	a41	a42	a43	a44	a45
ce5	a51	a52	a53	a54	a55

Un élément a_{ij} ($i, j = 1, \dots, 5$) de la matrice A (5,5) est la sous famille des risques liés à la chaîne d'impacts ce_i ($i = 1, \dots, 5$) pour la composante y_j du développement économique et social :

- a_{ij} ($i, j = 1, \dots, 5$) = $ce_i(y_j) = eido(y_j), eid1(y_j), \dots, eidk(y_j)$

La matrice A (5,5) est utilisée pour élaborer les familles Ry_1, Ry_2, Ry_3, Ry_4 et Ry_5 des risques liés aux impacts des changements climatiques sur les ressources en eau pour les composantes y_1, y_2, y_3, y_4 et y_5 du développement économique et social :

- $Ry_1 = a_{11} \cup a_{21} \cup a_{31} \cup a_{41} \cup a_{51}$
- $Ry_2 = a_{12} \cup a_{22} \cup a_{32} \cup a_{42} \cup a_{52}$
- $Ry_3 = a_{13} \cup a_{23} \cup a_{33} \cup a_{43} \cup a_{53}$
- $Ry_4 = a_{14} \cup a_{24} \cup a_{34} \cup a_{44} \cup a_{54}$
- $Ry_5 = a_{15} \cup a_{25} \cup a_{35} \cup a_{45} \cup a_{55}$

L'ensemble Ry des risques liés aux impacts des changements climatiques sur les ressources en eau pour le développement économique et social est :

- $Ry = Ry_1 \cup Ry_2 \cup Ry_3 \cup Ry_4 \cup Ry_5$

L'ensemble Ry est utilisé pour élaborer :

- vRy , l'ensemble des facteurs de vulnérabilité du développement économique et social aux impacts des changements climatiques sur les ressources en eau ;
- zRy , l'ensemble des solutions de résilience du développement économique et social aux impacts des changements climatiques sur les ressources en eau.

Le cadre scientifique Badolo WaterClimRisks réalise des configurations de résilience \tilde{y} du développement économique et social. Elles sont caractérisées par :

- $Ry \approx \emptyset$
- $vRy \approx \emptyset$

3.3. Trajectoires d'intégration des risques

Le tableau (2) décrit la trajectoire d'intégration des risques liés aux impacts des changements climatiques sur les ressources en eau dans les politiques de développements. Les horizons d'intégration sont : $\tilde{a}1$, horizon d'intégration à court terme, $\tilde{a}2$, horizon d'intégration à moyen terme et $\tilde{a}3$, horizon d'intégration à long terme.

Tableau (2) : Familles et classes d'information associées à la trajectoire d'intégration des risques liés aux impacts des changements climatiques			
Horizons d'intégration des risques liés aux impacts des changements climatiques	Classes des risques à intégrer	Classes des familles d'information pour les actions d'intégration des risques	Configurations de résilience associées aux horizons d'intégration des risques
$\tilde{a}1$, horizon d'intégration des risques à court terme	$\tilde{a}1Ry$, classe des risques associée à $\tilde{a}1$	$\tilde{a}1vry$, classe des facteurs de vulnérabilité aux risques associée à $\tilde{a}1$; $\tilde{a}1zry$, classe des solutions de résilience associée à $\tilde{a}1$; $\tilde{a}1\phi$, classe des solutions de financement de la réduction des risques	$\tilde{a}1\tilde{y}$, configuration de résilience réalisée à l'horizon $\tilde{a}1$
$\tilde{a}2$, horizon d'intégration des risques à moyen terme	$\tilde{a}2Ry$, classes des risques associée à $\tilde{a}2$	$\tilde{a}2vry$, classe des facteurs de vulnérabilité aux risques associée à $\tilde{a}2$; $\tilde{a}2zry$, classe des solutions de résilience associée à $\tilde{a}2$; $\tilde{a}2\phi$, classe des solutions de financement de la réduction des risques	$\tilde{a}2\tilde{y}$, configuration de résilience réalisée à l'horizon $\tilde{a}2$
$\tilde{a}3$, horizon d'intégration des risques à long terme	$\tilde{a}3Ry$, classes des risques associée à $\tilde{a}3$	$\tilde{a}3vry$, classe des facteurs de vulnérabilité aux risques associée à $\tilde{a}3$; $\tilde{a}3zry$, classe des solutions de résilience associée à $\tilde{a}3$; $\tilde{a}3\phi$, classe des solutions de financement de la réduction des risques	$\tilde{a}3\tilde{y}$, configuration de résilience réalisée à l'horizon $\tilde{a}3$

Le cadre scientifique Badolo WaterClimRisks comprend des variables de mesure de la progression vers la résilience :

- financement pour protéger le développement économique et social des impacts des changements climatiques sur les ressources en eau ;
- coûts économiques des impacts des changements climatiques sur les ressources en eau ;
- coûts sociaux des impacts des changements climatiques sur les services sociaux de base ;
- coûts environnementaux des impacts des changements climatiques sur les ressources en eau ;
- coûts infrastructurels des impacts des changements climatiques sur les ressources en eau ;
- coûts politiques des impacts des changements climatiques sur les ressources en eau ;
- coûts des solutions d'intégration des risques liés aux impacts des changements dans les politiques de développement

Une variable (x) de mesure de la progression vers la résilience est régie par la loi Badolo de variation des variables de mesure de la progression vers la résilience :

$$\lim x \approx 0$$

$$y \longrightarrow \tilde{y}$$

De manière spécifique, la valeur d'une variable de mesure de la progression vers la résilience se rapproche de la valeur nulle lorsque la configuration du système considéré (y) se rapproche de la configuration de résilience (\tilde{y}).

4. Discussion

Des actions de réduction des risques liés aux impacts des changements climatiques sur les ressources en eau qui réalisent des configurations de résilience sont fondées par des bases de connaissances et d'outils décisionnels robustes, intégrant les spécificités et capacités contextuelles. Les impacts des changements climatiques sur les ressources en eau, les vulnérabilités aux risques induits par les impacts des changements climatiques, les solutions de résilience trajectoires d'intégration des risques sont les différents types de connaissances et d'outils d'aide à la décision à établir. Le cadre scientifique WaterClimRisks est conçu pour générer avec efficacité de telles connaissances et trajectoires pour un impact accru des actions de réduction des risques liés aux impacts changements climatiques.

La réduction des risques liés aux impacts des changements climatiques pour le développement économique et social est considérée par plusieurs publications scientifiques [9- 13]. Les résultats de cet article proposent de nouvelles orientations, avec une emphase sur la mesure de la progression vers des configurations de résilience.

Le cadre scientifique WaterClimRisks propose de nouvelles orientations pour une amélioration de l'efficacité et de l'impact des actions d'intégration des impacts des changements climatiques sur les ressources en eau dans les politiques publiques de développement. Les classes des risques proposées sont des classes d'informations pour une planification par objectifs de la réduction des risques liés aux impacts des changements climatiques. Sur les ressources en eau. Elles fondent des trajectoires de réduction des risques basées sur les besoins de protéger le développement économique et social des impacts des risques climatiques sur les ressources en eau à court, moyen et long terme. Les chaînes d'impacts des changements climatiques concernent la disponibilité, la qualité, la demande, le financement et la gouvernance des ressources en eau. Pour chacune de ces dimensions des ressources en eau, les impacts directs et indirects des changements climatiques sont considérés. La matrice des risques liés aux impacts des changements climatiques est une spécificité du cadre scientifique Badolo WaterClimRisks. Elle est un corpus global d'information pour élaborer des familles de risques pour la prise de décision. Les trajectoires de réduction des risques suggérées réalisent des configurations de résilience du développement en implémentant des solutions de résilience pour réduire la vulnérabilité aux risques liés aux impacts des changements climatiques sur les ressources en eau. Des marqueurs de résilience, qui des variables pour mesurer la progression vers les configurations de résilience sont associées aux trajectoires de réduction des risques.

Fondamentalement, le cadre scientifique Badolo WaterClimRisks est une réalisation scientifique qui suggère des approches, familles d'information et de nouveau outils d'aide à la décision pour une amélioration de la pertinence, efficacité et impacts des actions de réduction des risques liés aux impacts des changements climatiques sur dans la disponibilité, la qualité, la demande, l'accès, les financements et la gouvernance des ressources. Il intègre les spécificités contextuelles et comprend un système de mesure de la progression vers des configurations de résilience.

5. Conclusion

L'objectif de cet article était l'amélioration des bases d'information et d'outils décisionnels pour l'intégration des risques liés aux impacts des changements climatiques dans les politiques de développement économique et social. Le principal résultat proposé est le cadre scientifique WaterClimRisks pour la réduction des risques liés aux impacts des changements climatiques pour le développement économique et social. Il suggère une démarche, des familles d'information et des outils d'aide à la décision pour une intégration efficace des impacts des changements climatiques sur les ressources dans la planification et la gestion du développement économique et social. Des horizons d'intégration à court terme, moyen terme et long terme des impacts des changements climatiques sur les ressources en eau sont proposés pour réaliser des objectifs spécifiques de résilience du développement aux impacts des changements climatiques sur les ressources en eau. De manière singulière, WaterClimRisks propose un système de mesure de la progression vers la résilience aux impacts des changements climatiques sur les ressources en eau

1. Sukanya S, Sabu Joseph, Chapter 4 - Climate change impacts on water resources: An overview, Editor(s): Arun Srivastav, Ashutosh Dubey, Abhishek Kumar, Sushil Kumar Narang, Moonis Ali Khan, Visualization Techniques for Climate Change with Machine Learning and Artificial Intelligence, Elsevier, 2023, Pages 55-76, ISBN 9780323997140, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99714-0.00008-X>.
2. Yang Nan, Men Bao-hui, Lin Chun-kun, Impact Analysis of Climate Change on Water Resources, Procedia Engineering, Volume 24, 2011, Pages 643-648, ISSN 1877-7058, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2710>.
3. Melsew A. Wubneh, Tadege A. Worku, Bantalem Z. Chekol, Climate change impact on water resources availability in the kiltie watershed, Lake Tana sub-basin, Ethiopia, Heliyon, Volume 9, Issue 3, 2023, e13941, ISSN 2405-8440, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13941>.
4. Andrew G Ross, Kevin Connolly, Stefan Vögele, Wilhelm Kuckshinrichs, A macro-level analysis of the socio-economic impacts of climate change driven water scarcity: Incorporating behavioural and resilience aspects, Water Research X, Volume 23, 2024, 100223, ISSN 2589-9147, <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2024.100223>.
5. Dixit, A., Madhav, S., Mishra, R. *et al.* Impact of climate change on water resources, challenges and mitigation strategies to achieve sustainable development goals. *Arab J Geosci* **15**, 1296 (2022). <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10590-9>
6. Amit Hasan Anik, Maisha Binte Sultan, Mahbub Alam, Fahmida Parvin, Mir Mohammad Ali, Shafi M. Tareq, The impact of climate change on water resources and associated health risks in Bangladesh: A review, Water Security, Volume 18, 2023, 100133, ISSN 2468-3124, <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2023.100133>.
7. Sherilee L. Harper, Carlee Wright, Stephanie Masina, Shaugn Coggins, Climate change, water, and human health research in the Arctic, Water Security, Volume 10, 2020, 100062, ISSN 2468-3124, <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2020.100062>.
8. Mathieu BADOLO. ClimResilience, a global climate resilience framework, 01 March 2024, <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3942168/v1>
9. Sascha M. Goonesekera, Marta Olazabal, Climate adaptation indicators and metrics: State of local policy practice, Ecological Indicators, Volume 145, 2022, 109657, ISSN 1470-160X, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109657>.
10. Johann Jacob, Pierre Valois, Maxime Tessier, Development and validation of an index to measure progress in adaptation to climate change at the municipal level, Ecological Indicators, Volume 135, 2022, 108537, ISSN 1470-160X, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108537>.
11. Livia Bizikova, Patricia Larkin, Scott Mitchell, Ruth Waldick, An indicator set to track resilience to climate change in agriculture: A policy-maker's perspective, Land Use Policy, Volume 82, 2019, Pages 444-456, ISSN 0264-8377, <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.11.057>.
12. World Health Organization, Measuring the climate resilience of health systems. Geneva.; 2022. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO
13. Donatti, C.I., Harvey, C.A., Hole, D. *et al.* Indicators to measure the climate change adaptation outcomes of ecosystem-based adaptation. *Climatic Change* **158**, 413–433 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02565-9>
14. Stergios-Aristoteles Mitoulis, Dan V. Bompas, Sotirios Argyroudis, Sustainability and climate resilience metrics and trade-offs in transport infrastructure asset recovery, Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 121, 2023, 103800, ISSN 1361-9209, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103800>.