Article original

Gestion conjointe des eaux pluviales et des eaux usées dans la région urbaine de Dakar (Sénégal) au regard des objectifs de développement durable

***Abdoulaye FATY*[1]**

[1] Département de Géographie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal)
Auteur correspondant : abdoulaye.faty@ucad.edu.sn
Article reçu le **28/09/2026**
Réf : 23-AUM13-0323

Résumé :
Les règles de gestion des eaux urbaines ont longtemps privilégié l'évacuation rapide des eaux pluviales et des eaux usées par des réseaux unitaires ou séparatifs. Ce modèle « tout-tuyau » (*end-of-pipe*) montre aujourd'hui ses limites, du fait de la dégradation des réseaux, du coût de leur réhabilitation et de la difficulté à les adapter à la croissance urbaine. Cet article évalue la capacité du système d'assainissement de la région de Dakar à prendre en charge conjointement les eaux usées et les eaux pluviales. Il combine une analyse documentaire de l'état des réseaux, une estimation de la population desservie à partir des capacités nominales des stations d'épuration, une analyse des précipitations à Dakar-Yoff (cumuls annuels de 1950 à 2022, indice standardisé des précipitations, test de rupture de Pettitt ; maximums journaliers de 1950 à 2015) et des observations de terrain. La capacité nominale des stations d'épuration ne couvrirait qu'environ 7 % de la population des départements équipés. La série pluviométrique présente une rupture en 1969 que la reprise observée depuis les années 2000, malgré un cumul exceptionnel de 800,6 mm en 2022, ne compense pas. Les maximums journaliers, corrélés aux cumuls annuels ($r = 0,57$), ont atteint 161 mm en 2012. Lors de ces épisodes, eaux pluviales et eaux usées se mélangent, avec des risques sanitaires et de pollution de la nappe. Une gestion intégrée fondée sur l'écohydrologie, recourant à des espaces

végétalisés épurateurs, est proposée pour orienter Dakar vers le modèle de la ville verte durable.
Mots clés : assainissement ; eaux pluviales ; eaux usées ; pluies extrêmes ; écohydrologie ; Dakar.

Joint management of stormwater and wastewater in the urban region of Dakar (Senegal) in light of the Sustainable Development Goals

Abstract:
Urban water management rules have long favoured the rapid evacuation of stormwater and wastewater through combined or separate sewer networks. This end-of-pipe model is now showing its limits, owing to network degradation, rehabilitation costs and the difficulty of adapting networks to urban growth. This article assesses the capacity of the sanitation system of the Dakar region to jointly manage wastewater and stormwater. It combines a documentary analysis of the state of the networks, an estimate of the population served based on the nominal capacity of wastewater treatment plants, an analysis of rainfall at Dakar-Yoff (annual totals from 1950 to 2022, standardized precipitation index, Pettitt change-point test; annual daily maxima from 1950 to 2015) and field observations. The nominal capacity of the treatment plants would cover only about 7% of the population of the equipped departments. The rainfall series shows a break in 1969 which the recovery observed since the 2000s, despite an exceptional total of 800.6 mm in 2022, does not offset. Annual daily maxima, correlated with annual totals (r = 0.57), reached 161 mm in 2012. During such events, stormwater and wastewater mix, with health risks and groundwater pollution. Integrated management based on ecohydrology, using purifying vegetated spaces, is proposed to steer Dakar towards the sustainable green city model.
Keywords: *sanitation; stormwater; wastewater; extreme rainfall; ecohydrology; Dakar.*

Introduction

Sous l'effet de la croissance démographique et de la mondialisation, l'urbanisation s'est accélérée sur l'ensemble de la planète depuis la fin des années 2000. L'adaptation au changement climatique passe donc par la capacité à adapter les villes aux nouvelles conditions climatiques et économiques (FAO, 2012 ; Breuste, 2020). La proportion de la population mondiale exposée aux inondations a augmenté de 20 à 24 % entre 2000 et 2015 (Tellman et al., 2021 ; Caretta et al., 2022). Les changements

observés ces dernières décennies dans les risques d'inondation sont davantage dus à des facteurs humains, comme l'urbanisation et l'accroissement de la population, qu'au seul changement climatique (Tramblay et al., 2019). Les inondations intensifient le mélange des eaux de pluie avec les eaux usées et la redistribution des polluants (Andrade et al., 2018). Les eaux d'inondation contaminées constituent en outre un risque sanitaire immédiat à travers les maladies liées à l'eau (Huang et al., 2016 ; Andrade et al., 2018 ; Paterson et al., 2018 ; Setty et al., 2018). Leur contamination diminue par ailleurs la valeur esthétique des lieux, compromettant les activités récréatives, l'attractivité touristique, la valeur des biens immobiliers ainsi que la gestion et le traitement de l'eau de boisson (Eves et Wilkinson, 2014). L'eau, l'assainissement et l'hygiène (WASH, *Water, Sanitation and Hygiene*) sont étroitement liés à la santé : les variations de température et de précipitations ainsi que les événements extrêmes accroissent l'incidence des maladies liées à l'eau et des maladies tropicales négligées (Caretta et al., 2022). Au Sénégal, la saison des pluies correspond à une augmentation de 84 % du risque de diarrhée chez les enfants ; des concentrations élevées de contamination fécale de l'eau de boisson et des mains ont été associées à une hausse de la diarrhée infantile, et le débordement des eaux usées accroît de 13 % le risque de maladie gastro-intestinale par la contamination des sources d'eau (Caretta et al., 2022).

Malgré l'ampleur des impacts liés aux déficiences de l'assainissement, l'attention s'est davantage portée sur l'approvisionnement en eau potable que sur l'augmentation de la capacité des systèmes d'évacuation des eaux usées et des eaux pluviales face à des pluies plus fortes (Caretta et al., 2022). L'urbanisation doit répondre à la fois à des défis locaux et globaux, dans le respect du triptyque économie / société / environnement. Le concept de « ville verte » (*green city*) émerge ainsi depuis quelques années pour répondre aux objectifs de développement durable (ODD), sans qu'un modèle bien défini existe encore. Historiquement, la notion de « ville durable » a remplacé celle de « ville

écologique » au moment de la Conférence de Rio, en 1992. Les préoccupations environnementales sont alors liées aux projets d'urbanisme et aux contraintes économiques, sociales et culturelles (Vernay et al., 2010 ; Kulinska et Dendera-Gruszka, 2019), l'intérêt majeur étant la recherche du bien-être des populations citadines (Theys et Emelianoff, 2001). Les villes vertes renvoient ainsi à un développement des communautés qui n'excède pas la capacité de charge de l'écosystème, mesurée par l'« empreinte écologique urbaine » (*urban footprint*) (Rees et Wackernagel, 1996 ; Luck et al., 2001 ; Jepson et Edwards, 2010). Cette approche holistique intègre les sciences sociales, économiques, écologiques et de l'ingénieur ; c'est dans ce cadre que la notion de ville verte durable peut être reliée à la gestion urbaine intégrée des ressources en eau. La ville verte implique donc des services d'adduction d'eau, d'évacuation et de traitement des ordures ménagères et des eaux usées, la régénération d'espaces verts et de points d'eau, la régulation des transports et de la consommation d'énergie (Scott et al., 2019). Elle va aujourd'hui au-delà du simple aménagement du territoire : elle vise un milieu urbain résilient et durable, où l'économie circulaire réduit les répercussions environnementales en valorisant les espaces verts et l'équilibre avec la nature (Breuste, 2020 ; Sharifi et al., 2020). Elle s'inscrit dans les politiques locales d'aménagement, en interaction continue avec les citoyens et les décideurs, au service de solutions économiquement et écologiquement viables, socialement acceptées et durables.

Même si la prise en compte de l'environnement est de plus en plus courante dans le développement urbain, changer des pratiques d'aménagement établies depuis des décennies revient à changer de paradigme, ce qui constitue un processus difficile et complexe, en particulier dans les villes africaines. Qu'en est-il à Dakar ?

L'installation spontanée des nouveaux citadins se fait souvent dans des espaces à risques (bas-fonds, zones inondables, marécages, rivages), où l'absence de gestion des eaux pluviales (GEP) peut avoir des conséquences graves sur les infrastructures

comme sur la santé publique, du fait des eaux stagnantes mal évacuées (BM, 2009 ; Ndiaye et al., 2016). La situation est d'autant plus grave que ces eaux se mélangent rapidement aux débordements d'un réseau d'assainissement souvent mal entretenu ou inexistant. L'eau est alors polluée et les populations sinistrées nécessitent des soins. La stagnation des eaux maintient les habitants au contact d'une eau insalubre et de débris, dans de mauvaises conditions d'hygiène (Dasylva, 2009 ; PROGEP, 2012), ce qui favorise les maladies de la peau, les infections respiratoires et les maladies diarrhéiques, fortement répandues dans la région de Dakar (Norman et al., 2011).

Du fait de dispositifs d'assainissement peu performants, la nappe est polluée, avec des teneurs élevées en nitrates et en coliformes provenant de la contamination par les eaux-vannes (Collin et Salem, 1989 ; Gaye, 2011 ; Templeton et al., 2015). L'absence de réseau d'assainissement dans les zones périurbaines de Dakar a ainsi entraîné une forte augmentation des teneurs en nitrates, aujourd'hui comprises entre 160 et 350 mg/l, largement au-dessus de la valeur guide de 50 mg/l fixée par l'OMS pour l'eau potable (PROGEP, 2012 ; Coly et al., 2020).

La GEP devient un enjeu crucial pour un développement harmonieux des nouvelles zones urbaines, comme dans la plupart des villes africaines. Or l'intérêt croissant pour l'assainissement se concentre essentiellement sur la gestion des eaux usées et prend trop peu en compte la GEP, qui reste un sujet de second ordre, souvent considéré uniquement lors d'événements catastrophiques à l'origine d'inondations incontrôlables et destructrices (Leclercq, 2017).

C'est pourquoi l'écohydrologie, en tant qu'approche novatrice de la gestion du développement et de l'environnement urbains, offre aux acteurs de la ville un cadre conceptuel et des outils pour construire une « ville verte durable » (VVD), performante, responsable et écologique. Dans ce cadre, cet article examine la durabilité de Dakar quant à l'évacuation des eaux usées et des eaux pluviales. Le choix de la région de Dakar se justifie par la

disponibilité de nombreux documents de politique nationale favorables à un modèle de ville verte durable en Afrique de l'Ouest, notamment dans le cadre du Plan Sénégal émergent (PSE, phase 1 : 2014-2018 ; phase 2 : 2019-2023) et de la nouvelle Vision Sénégal 2050, fer de lance de la politique nationale d'aménagement du territoire.

L'objectif de cet article est d'évaluer la capacité du système d'assainissement de la région de Dakar à prendre en charge conjointement les eaux usées et les eaux pluviales. Il s'agit plus précisément de diagnostiquer l'état des réseaux et des capacités de traitement, d'analyser l'évolution des précipitations annuelles et extrêmes à Dakar-Yoff depuis 1950, et d'en tirer les implications pour une gestion intégrée inspirée de l'écohydrologie. Après la présentation du matériel et des méthodes (1), l'article expose les résultats (2), puis les discute (3).

1. Matériel et méthodes

1.1. Cadre d'étude

D'une superficie de 556,5 km^2, la région de Dakar compterait 4 146 593 habitants en 2023 selon les projections de l'ANSD (2023), soit 23 % de la population sénégalaise. Elle est divisée en cinq départements (Dakar, Pikine, Guédiawaye, Keur Massar et Rufisque), subdivisés en communes où la densité est inégalement répartie (figure 1). La forte urbanisation de la région est essentiellement liée à la concentration des industries et des administrations, ainsi qu'à un exode rural soutenu. L'accélération de la croissance urbaine n'a pas été accompagnée de programmes d'équipement conséquents : le niveau d'accès aux services de base reste faible (33 %) (ANSD, 2023). Les ressources naturelles, l'environnement humain et les quelques espaces encore verts subissent des pollutions et des nuisances répétées et croissantes.

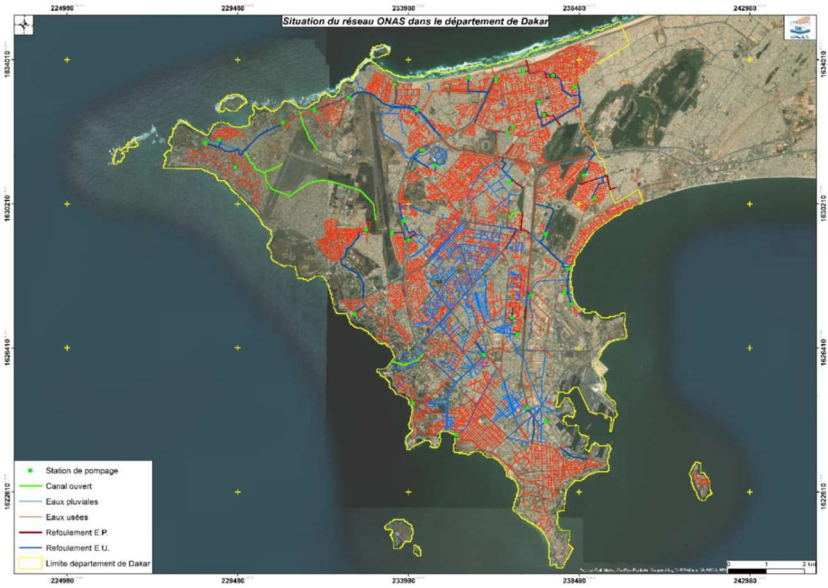


Figure 1. Localisation de la zone d'étude

Source : ONAS, 2023 ; échelle 1/500 000 ; WGS 84

1.2. Données et méthodes

Les données pluviométriques journalières de la station de Dakar-Yoff proviennent de l'Agence nationale de l'aviation civile et de la météorologie (ANACIM) ; elles couvrent la période 1950-2022 pour les cumuls annuels et 1950-2015 pour les maximums journaliers. Les volumes d'eaux usées domestiques des cinq départements ont été estimés à partir des données publiées par l'Office national de l'assainissement du Sénégal (ONAS, 2018). L'état du réseau d'assainissement a été évalué à partir d'une étude bibliographique et de travaux de terrain.

1.2.1. Dynamique pluviale

La dynamique pluviale de la région a été appréhendée à partir de la station de Dakar-Yoff, à l'aide de l'indice standardisé des précipitations (SPI, *Standardized Precipitation Index*), proposé par McKee et al. (1993) pour caractériser les déficits et les

excédents de précipitations. Son calcul requiert idéalement des relevés s'étalant sur au moins 20 à 30 ans, la période optimale étant de 50 à 60 ans, voire plus (Guttman, 1994). Il est calculé ici à l'échelle annuelle, sous la forme d'un écart réduit :

$$SPI = (Xi - Xm) / S$$

où Xi est le cumul pluviométrique de l'année i, Xm et S respectivement la moyenne et l'écart type des cumuls annuels de la série. Cette formulation constitue une simplification de l'indice de McKee et al. (1993), qui repose sur l'ajustement d'une loi gamma aux cumuls ; elle reste adaptée à la description de la variabilité interannuelle.

La rupture de la série des cumuls annuels de 1950 à 2022 a été recherchée à l'aide du test de Pettitt (Pettitt, 1979), au seuil de signification de 5 %, exécuté avec le logiciel Khronostat (Boyer, 2002).

Les maximums journaliers annuels (1950-2015) ont été comparés aux cumuls annuels à l'aide du coefficient de corrélation de Pearson, et rapportés au maximum journalier moyen de la série.

Des quartiers des départements de Dakar, Pikine, Guédiawaye et Keur Massar ont été visités lors des hivernages de 2019 à 2022 afin d'observer l'impact des pluies sur le cadre de vie, notamment les difficultés d'évacuation des eaux-vannes pendant l'hivernage.

1.2.2. Réseau hydrographique

La carte du réseau hydrographique a été utilisée pour décrire la dynamique des ressources en eau dans la zone d'étude : zones de production (P) d'un ruissellement intense, zones de transfert (T) et d'érosion liées aux vitesses d'écoulement, et zones d'accumulation (A) des eaux et des matières. Une partie de ce travail a fait l'objet de vérifications de terrain pour le géoréférencement.

1.2.3. Estimation des volumes d'eaux usées

La capacité nominale de traitement des stations d'épuration (STEP) a été rapportée à la population de chaque département (ONAS, 2018). Deux indicateurs ont été calculés : le volume traitable par habitant raccordé, en retenant un taux de raccordement de 30 % (Gning et al., 2017), et la part de la population effectivement desservie, en retenant une production de 100 l d'eaux usées par habitant et par jour. Le volume annuel d'eaux usées non traitées a ensuite été estimé en appliquant à la population régionale la part d'habitants non desservis (70 à 92 %) et un taux de perte dans l'environnement de 50 %.

2. Résultats

Les résultats portent sur l'état du réseau d'assainissement, la capacité de traitement, l'évolution des précipitations et les extrêmes pluviométriques.

2.1. Diagnostic de l'état actuel du réseau d'évacuation des eaux

Le niveau de fonctionnalité du réseau d'évacuation est moyennement satisfaisant dans la zone d'étude. Les défaillances sont surtout liées à l'envasement des collecteurs, à leur obstruction par des déchets solides et à la vétusté du réseau. Selon le rapport de la sous-mission A-2 de l'actualisation du plan directeur d'assainissement liquide de Dakar à l'horizon 2025 (ONAS, 2018), 65 % des collecteurs présentent un envasement nul (épaisseur de dépôt négligeable), 34 % un envasement faible (épaisseur de dépôt inférieure à 25 %) et 3 % un envasement moyen (épaisseur de dépôt comprise entre 25 et 50 %). Le niveau de défaillance est en revanche élevé dans les communes les plus anciennement équipées (Dakar-Plateau, Médina, Gueule Tapée-Fass-Colobane et partie centrale de Hann-Bel Air), dont les réseaux, anciens, sont très colmatés et dotés de regards délabrés. En 2018, 285 casses (effondrements de canaux) ont été recensées, dont certaines ne peuvent plus être réhabilitées, soit 3,8 km de réseau qui n'assurent plus le transit des eaux. Il en résulte l'assèchement de certains

tronçons, la réduction de la capacité de drainage des canaux ensablés et le blocage des eaux, qui conduit au déversement des eaux usées dans les rues. Les réseaux font certes l'objet de curages à l'approche de la saison des pluies ou en cas de blocage, mais les observations de terrain révèlent un défaut d'entretien régulier : des déversements quasi permanents persistent sans intervention rapide.

Une négligence de la population dans l'entretien du réseau est également notée. La plupart des réseaux séparatifs d'eaux pluviales sont devenus de fait unitaires, en raison des déversements d'ordures dans les canaux et des rejets d'eaux usées issus de branchements clandestins. Un problème de dimensionnement se pose en outre : le réseau est parfois dépassé par des débits supérieurs à sa capacité d'évacuation, ce qui provoque des inondations temporaires.

Face à cette situation, plusieurs initiatives de l'État du Sénégal sont en cours pour une meilleure maîtrise des réseaux d'évacuation et une gestion plus responsable des eaux drainées, notamment le Projet de gestion des eaux pluviales (PROGEP) et l'actualisation du plan directeur d'assainissement liquide de Dakar.

2.2. État de l'assainissement et capacité de traitement

L'assainissement de la région de Dakar est majoritairement non collectif (ou autonome) : il concerne 70 % de la population (Gning et al., 2017). La majeure partie de la population évacue donc ses eaux usées, au mieux dans des fosses septiques, le plus souvent dans des puits perdus censés assurer la minéralisation des matières organiques avant leur infiltration dans le sol. Or la pollution avérée des nappes par les nitrates traduit une contamination de proximité par débordement des eaux usées (Sall et Vanclooster, 2009 ; Ba et al., 2016). Ces fosses doivent être vidangées régulièrement : plus de 5 000 m^3 de boues sont produits chaque jour (Gning et al., 2017). En 2010, le marché de la vidange mécanique de la région de Dakar était estimé à 4 millions USD, partagés entre 208 camions de vidange (Chowdhry et Koné, 2012, cités par Gning et al., 2017). Depuis une dizaine d'années, la

croissance économique et les importations d'équipements sanitaires et de carrelages ont amélioré les conditions sanitaires privées ; selon Marfaing (2019), « la politique d'assainissement de Dakar a vraiment débuté » à partir de 2013. Depuis lors, plusieurs projets portés par l'ONAS visent à améliorer la filière de traitement des boues, notamment le Programme pilote de structuration du marché des boues de vidange (PSMBV, 2011) et le Programme national de développement durable de l'assainissement autonome (PNDDAA, 2018). Gning et al. (2017) soulignent toutefois que le mode de vidange reste fortement corrélé au niveau de vie des ménages : 70 % des ménages les plus riches pratiquent la vidange mécanique, alors que 54 % des ménages les plus pauvres recourent aux vidangeurs manuels, les autres pratiquant des vidanges « sauvages ».

L'assainissement collectif ne concernerait donc que 30 % de la population (Gning et al., 2017). Il est en principe de type séparatif : les eaux usées sont collectées dans un réseau distinct de celui des eaux pluviales et acheminées vers une station d'épuration avant d'être rejetées dans le milieu naturel (ONAS, 2018). La région dispose de quatre STEP en fonctionnement : Cambérène pour le département de Dakar, les Niayes pour Pikine, la cité SHS pour Guédiawaye et Rufisque pour la commune de Rufisque. Le tableau 1 indique leur capacité nominale.

Tableau 1. Capacité des stations d'épuration de la région de Dakar par département et estimation de la part de population desservie

Départe-ment	STEP	Capacité (m^3/j)	Population (hab.)	Superficie (km^2)	Densité (hab/km^2)	Volume traitable (m^3/j/hab, 30 %)	Desservie (%)
Dakar	Cambérène	19 200	1 216 737	77,12	15 777	0,053	16
Guédiawaye	SHS	595	349 991	12,8	27 343	0,006	2
Pikine*	Niayes	875	1 243 004	95	13 084	0,002	1
Rufisque	Rufisque	2 856	419 209	371,6	1 128	0,023	7
Total		**23 526**	**3 228 941**	**556,5**	**5 802**		**7,3**

* Y compris Keur Massar, créé en 2021.

Source : ONAS (2018) ; calculs de l'auteur

Le département de Keur Massar, créé en mai 2021 par le décret n° 2021-687, ne figure pas dans le tableau 1 : auparavant rattaché au département de Pikine, il est inclus dans le poids démographique de ce dernier. Avec un taux moyen de raccordement de 30 % et un fonctionnement des STEP à leur capacité nominale, le volume traité par habitant raccordé serait faible à très faible selon le département : il varie de 53 l/hab/j dans le département de Dakar à 2 l/hab/j à Pikine. En considérant un volume moyen à traiter de 100 l/hab/j, la part de la population effectivement desservie varie de 16 % dans le département de Dakar à 7 % à Rufisque, et à 2 % et 1 % à Guédiawaye et Pikine. Au total, la capacité nominale des STEP (23 526 m^3/j) correspondrait à environ 235 000 habitants desservis, soit 7,3 % de la population des quatre départements équipés (92,7 % non desservis) et 5,7 % de la population régionale, le département de Keur Massar ne disposant pas de STEP. L'écart avec le taux de raccordement de 30 % avancé par Gning et al. (2017) suggère qu'une part importante des eaux collectées n'est pas traitée, ce qui reste à documenter.

En appliquant à la population régionale de 2023 (4 146 593 habitants) une production de 100 l/hab/j, une part de population non desservie de 70 à 92 % et un taux de perte de 50 %, le volume d'eaux usées non traitées rejetées dans l'environnement serait de l'ordre de 145 000 à 190 000 m^3/j, soit 53 à 70 millions de m^3 par an.

Ces chiffres montrent que la situation de l'assainissement dans la région de Dakar demeure très critique. La croissance démographique, associée à un exode rural soutenu, a largement dépassé les efforts consentis par les politiques publiques, malgré un appui important des institutions internationales. Le système d'assainissement de la région apparaît ainsi nettement sous-dimensionné au regard de la population à desservir.

2.3. Dynamique pluviale et situation hydrologique

Depuis les années 1950, la série montre une baisse des précipitations correspondant aux sécheresses des années 1970 et 1980 (figure 2). Ces phases sèches se sont prolongées à Dakar jusque dans les années 1990 ; une reprise s'amorce dans les années 2000 et devient plus nette dans les années 2010. L'hivernage 2022 a été exceptionnellement pluvieux, avec 800,6 mm enregistrés, un cumul inégalé à Dakar-Yoff depuis 1967. Selon l'analyse fréquentielle du PROGEP (2012), un tel cumul correspondrait à une période de retour d'environ 50 ans.

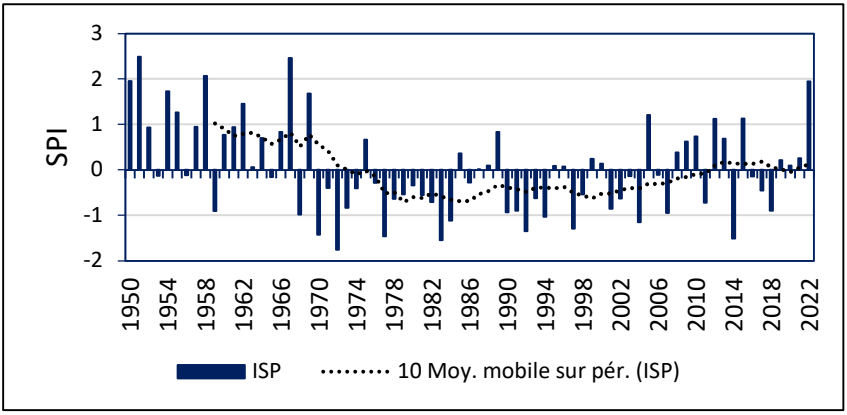


Figure 2. Indice standardisé des précipitations (SPI) à Dakar-Yoff de 1950 à 2022

Source : ANACIM, station de Dakar-Yoff (1950-2022)

Avec le cumul de 2022, c'est la première fois depuis 1970 que la pluviométrie annuelle dépasse de 37 % la moyenne de la période 1950-1970, la plus pluvieuse de la série. Malgré cette hausse, la dernière décennie reste en deçà des cumuls antérieurs aux sécheresses : la moyenne mobile décennale du SPI est redevenue positive, mais dépasse à peine zéro. Le test de Pettitt situe la rupture de la série en 1969, au seuil de 1 % (figure 3).

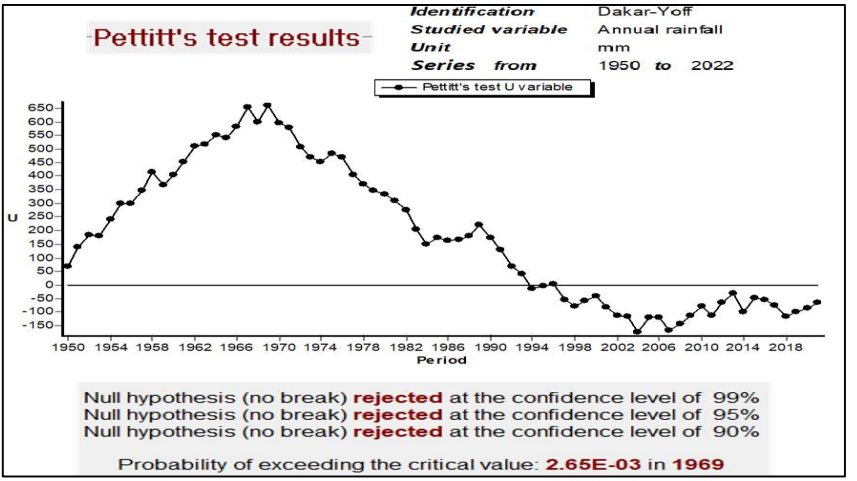


Figure 3. Résultats du test de Pettitt appliqué aux cumuls annuels de Dakar-Yoff (1950-2022)

Source : ANACIM, station de Dakar-Yoff ; traitement Khronostat

Le retour des précipitations reste donc insuffisant pour induire une nouvelle rupture. Malgré des cumuls annuels importants en 2005, 2012, 2015 et 2022, des déficits sont encore observés récemment, comme en 2004, 2007, 2011, 2014 et 2018.

La région de Dakar est parsemée de plans d'eau, depuis le lac Rose (Retba) au nord-est jusqu'au parc de Hann, au cœur de Dakar (figure 4). Reflets de la topographie, ces points bas constituent des sites vulnérables aux inondations ; ils sont en outre le réceptacle des eaux de ruissellement qui alimentent les nombreux cours d'eau temporaires de Dakar (Bassel, 1996).

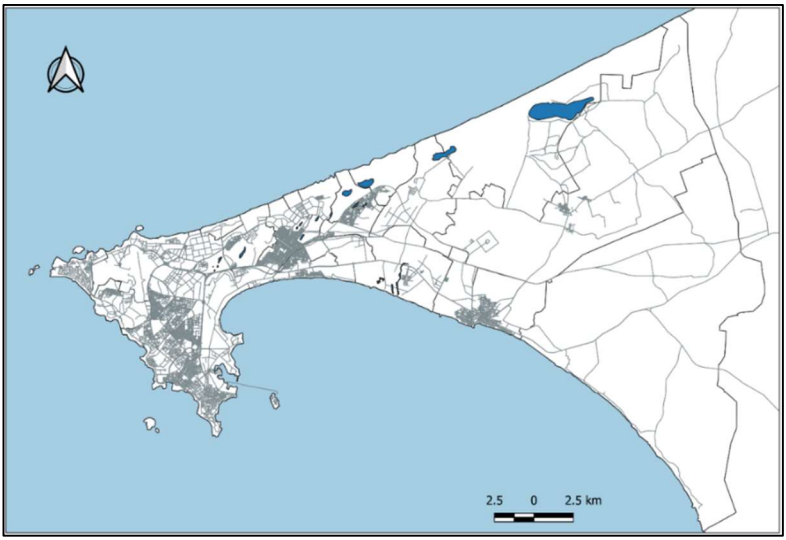


Figure 4. Plans d'eau de la région de Dakar
Source : ONAS, 2023 ; échelle 1/500 000 ; WGS 84

2.4. Extrêmes pluviométriques et assainissement

Les maximums journaliers sont aussi variables que les cumuls annuels (figure 5). Ils ont été plus élevés avant la rupture de 1969, dépassant deux fois 150 mm (153 mm en 1962 et 158 mm en 1964), et plus faibles pendant les décennies sèches des années 1970 et 1980, au cours desquelles le maximum le plus élevé n'a atteint que 114 mm (1989) et la plupart des années sont restées sous la moyenne de la série (71 mm). La reprise des précipitations dans les années 1990 et 2000 s'est traduite par des maximums journaliers plus élevés : 144 mm en 1996 et 161 mm en 2012, record depuis le début des observations à Dakar-Yoff en 1947.

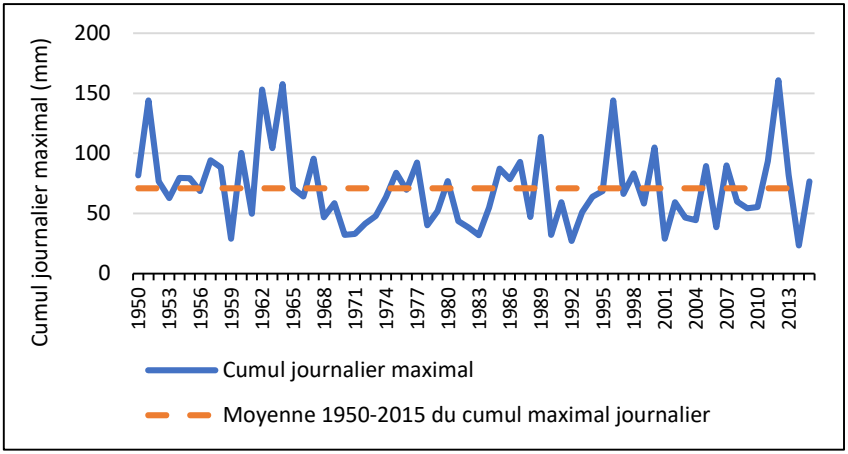


Figure 5. Maximums journaliers annuels de précipitations à Dakar-Yoff de 1950 à 2015

Source : ANACIM, station de Dakar-Yoff (1950-2015)

La reprise des précipitations s'accompagne d'extrêmes pluviométriques plus fréquents. Le maximum journalier est positivement corrélé au cumul annuel ($r = 0,57$; $n = 66$; $p < 0,001$). Ce sont ces extrêmes qui provoquent les inondations et perturbent l'évacuation des eaux usées : au cours de l'hivernage, des dysfonctionnements sont observés dans le réseau de collecte et d'évacuation, et les eaux usées qui se mêlent aux eaux de pluie dégradent le voisinage (planche 1).



Planche 1. Dégradation du cadre de vie à Dakar pendant l'hivernage
Source : clichés de l'auteur, 2022

Dans plusieurs quartiers, le réseau collectif de l'ONAS comme les fosses individuelles subissent l'afflux des eaux de pluie, si bien que la stagnation mêlée d'eaux pluviales et d'eaux usées n'est pas rare. Les défaillances du système d'évacuation des eaux usées menacent la nappe, l'esthétique et la santé des habitants de la banlieue. Les eaux de pluie, par l'intensité des extrêmes et la succession des jours pluvieux, constituent une autre menace. Pendant l'hivernage, les aménagements modifient l'hydrologie urbaine, de sorte que les pluies extrêmes posent indirectement, à travers le ruissellement et les inondations, un problème d'assainissement et d'hygiène.

3. Discussion

La rupture de 1969 et le déficit persistant des cumuls annuels concordent avec les évolutions déjà décrites au Sénégal et dans la région de Dakar (Sagna, 1995 ; Dacosta et al., 2002 ; Faye, 2019). Les pluies extrêmes ont surtout été enregistrées lors des années excédentaires, comme l'indique la corrélation positive entre maximums journaliers et cumuls annuels. Descroix et al. (2013) ont de même constaté, dans le Sahel, une augmentation des pluies journalières supérieures à 40 mm associée au retour des précipitations dans les années 2000 ; cette fréquence accrue des

fortes pluies a également été observée au Sénégal (Diop et al., 2014 ; Diop et Sagna, 2019). Pour l'assainissement, l'enjeu ne tient donc pas tant au cumul annuel, encore déficitaire, qu'à l'intensité d'épisodes isolés que les réseaux, sous-dimensionnés et mal entretenus, ne peuvent absorber.

Ces résultats éclairent la position de Dakar au regard des ODD. La faible part de population desservie par les STEP (7,3 % des départements équipés) et les volumes d'eaux usées perdus dans l'environnement éloignent la région des cibles 6.2 (accès à l'assainissement) et 6.3 (réduction de moitié de la proportion d'eaux usées non traitées). La fréquence des inondations mêlant eaux pluviales et eaux usées concerne, quant à elle, la cible 11.5 relative à la réduction des pertes liées aux catastrophes, notamment hydrologiques. Ils confirment que la gestion des eaux pluviales ne peut être dissociée de celle des eaux usées, comme le soulignent Caretta et al. (2022) et Andrade et al. (2018).

Les eaux usées perdues dans l'environnement constituent par ailleurs une ressource valorisable : riches en matières organiques, elles peuvent servir à la production végétale, sous réserve de conditions sanitaires strictes (Gaye, 2011). L'usage d'eaux polluées en agriculture urbaine dégrade en effet la qualité de la nappe de Dakar (Ndiaye et al., 2010), alors même que le maraîchage occupe une place importante dans la région (Ndiaye et al., 2020). L'idée de réutiliser ces eaux, après épuration, pour produire de la biomasse végétale en zone urbaine et périurbaine est au cœur du concept *Smart Clean Garden* (Orange et al., 2018), qui mobilise les principes de l'écohydrologie.

Ces résultats doivent néanmoins être interprétés avec prudence. L'analyse pluviométrique repose sur une seule station, Dakar-Yoff, qui ne rend pas compte de la variabilité spatiale des pluies dans la région, et la série des maximums journaliers s'arrête en 2015. Les volumes d'eaux usées sont estimés à partir des capacités nominales des STEP et d'hypothèses de dotation et de pertes, et non à partir de débits mesurés. Enfin, les volumes d'eaux

pluviales ruisselées n'ont pas été quantifiés, ce qui limite la portée d'une évaluation conjointe des deux flux ; un bilan hydrologique à l'échelle des bassins versants urbains permettrait de la compléter.

Conclusion

Cet article montre que le système d'assainissement de la région de Dakar n'est pas en mesure de prendre en charge conjointement les eaux usées et les eaux pluviales. La capacité nominale des STEP ne couvrirait qu'environ 7 % de la population des départements équipés, des réseaux vétustes et obstrués sont devenus de fait unitaires, et des pluies extrêmes, comme les 161 mm tombés en un jour en 2012 à Dakar-Yoff, provoquent inondations et stagnation d'eaux usées, alors même que la série pluviométrique reste marquée par la rupture de 1969. Le lien entre gestion des eaux pluviales (GEP), gestion des eaux usées (GEU), aménagement urbain et maîtrise foncière est évident, mais il reste peu pris en considération. Le défi consiste à aménager les zones urbaines en tenant compte conjointement des eaux pluviales et des eaux usées domestiques. Ces dernières contiennent des matières organiques utiles à la fertilité des sols, mais aussi des agents pathogènes dangereux pour la santé humaine. Ces pathogènes pourraient être épurés par des espaces végétalisés soumis à des contraintes techniques, de type filtres plantés, qui consommeraient également l'eau du sol et restitueraient vers la côte des eaux épurées. Des solutions existent donc pour faire de Dakar une ville verte durable (VVD).

Compte tenu des enjeux sanitaires, environnementaux et économiques, il est urgent que les politiques d'aménagement intègrent dès leur conception les territoires urbains et périurbains dans un même ensemble, associant espaces d'habitation, maraîchage et espaces verts, afin de construire une ville « éponge » (*sponge city*) capable d'absorber les eaux pluviales et les eaux usées, d'en éliminer les composants pathogènes et de mobiliser les matières organiques utiles à la production végétale. Cette voie apparaît particulièrement prometteuse pour faire de Dakar une

ville saine et durable à l'horizon de la Vision Sénégal 2050. Un bilan hydrologique des bassins versants urbains et un suivi des débits réellement traités par les STEP permettraient d'en préciser les conditions de mise en œuvre.

Références bibliographiques

Andrade, L., O'Dwyer, J., O'Neill, E. et Hynds, P. (2018). « Surface water flooding, groundwater contamination, and enteric disease in developed countries: a scoping review of connections and consequences », *Environmental Pollution*, 236, p. 540-549. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.104

ANSD (2023). *Projections démographiques 2023-2073*, Dakar, Agence nationale de la statistique et de la démographie, 358 p.

Ba, A., Cantoreggi, N., Simos, J. et Duchemin, E. (2016). « Impacts sur la santé des pratiques des agriculteurs urbains à Dakar (Sénégal) », *VertigO*, 16(1). https://doi.org/10.4000/vertigo.17030

Bassel, M. (1996). *Eaux et environnement à Dakar : pluies, ruissellement, pollution et évacuation des eaux. Contribution à l'étude des problèmes d'environnement liés aux eaux dans la région de Dakar*, thèse de doctorat de 3e cycle, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 244 p.

BM (Banque mondiale) (2009). *Rapport d'évaluation des besoins post-catastrophe : inondations urbaines à Dakar 2009*, Washington, DC, Banque mondiale.

Boyer, J.-F. (2002). *KhronoStat : logiciel d'analyse statistique de séries chronologiques*, Montpellier, IRD, Maison des Sciences de l'Eau.

Breuste, J. (2020). « The Green City: General Concept », in Breuste, J., Artmann, M., Ioja, C. et Qureshi, S. (dir.), *Making Green Cities*, Cham, Springer, coll. « Cities and Nature ». https://doi.org/10.1007/978-3-030-37716-8

Caretta, M. A., Mukherji, A., Arfanuzzaman, M., Betts, R. A., Gelfan, A., Hirabayashi, Y., Lissner, T. K., Liu, J., Lopez Gunn, E., Morgan, R., Mwanga, S. et Supratid, S. (2022). « Water », in Pörtner, H.-O. et al. (dir.), *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, Cambridge University Press, p. 551-712. https://doi.org/10.1017/9781009325844.006

Collin, J.-J. et Salem, G. (1989). « Pollution des eaux souterraines par les nitrates dans les banlieues non assainies des pays en développement : le cas de Pikine (Sénégal) », communication au Symposium international sur des solutions intégrées pour des problèmes de pollution de l'eau (SISSIPA), Lisbonne, 19-23 juin 1989, 12 p.

Coly, P., Samb, N.-M. et Gaye, N. (2020). *Le PROGEP : une solution durable dans la gestion des inondations en milieu urbain*, rapport, Dakar, ADM, 3 p.

Dacosta, H., Konaté, Y. K. et Malou, R. (2002). « La variabilité spatio-temporelle des précipitations au Sénégal depuis un siècle », in *Regional Hydrology: Bridging the Gap between Research and Practice* (FRIEND Conference, Le Cap), IAHS Publication n° 274, p. 499-506.

Dasylva, S. (2009). *Inondations à Dakar et au Sahel : gestion durable des eaux de pluie*, Dakar, ENDA Éditions, coll. « Études et recherches », n° 267-268-269, 259 p.

Descroix, L., Diongue Niang, A., Dacosta, H., Panthou, G., Quantin, G. et Diedhiou, A. (2013). « Évolution des pluies de cumul élevé et recrudescence des crues depuis 1951 dans le bassin du Niger moyen (Sahel) », *Climatologie*, 10, p. 37-49.

Diop, C., Sagna, P. et Sambou, P. C. (2014). « Vulnérabilité des populations urbaines face aux fortes pluies : l'exemple du Sénégal en 2012 », *Actes du XXVII^e^ colloque de l'Association*

internationale de climatologie, Dijon, 2-5 juillet 2014, p. 554-559.

Diop, C. et Sagna, P. (2019). « Évolution des précipitations journalières à cumul élevé de 1971 à 2018 au Sénégal », *Géovision*, hors-série n° 1, actes du colloque « Dynamique des milieux anthropisés et gouvernance spatiale en Afrique subsaharienne depuis les indépendances », Bouaké, Université Alassane Ouattara, t. 2, p. 536-558.

Eves, C. et Wilkinson, S. (2014). « Assessing the immediate and short-term impact of flooding on residential property participant behaviour », *Natural Hazards*, 71(3), p. 1519-1536. https://doi.org/10.1007/s11069-013-0961-y

FAO (2012). *Growing Greener Cities in Africa. First Status Report on Urban and Peri-urban Horticulture in Africa*, Rome, FAO, 116 p.

Faye, C. (2019). « Changements climatiques observés sur le littoral sénégalais (région de Dakar) depuis 1960 : étude de la variabilité des tendances sur les températures et la pluviométrie », *Nature & Technology Journal*, C : Environmental Sciences, 20, p. 65-78.

Gaye, M. (2011). *Guide pratique pour la mise en place de systèmes sociaux alternatifs d'assainissement condominium en milieu urbain et périurbain*, rapport technique, Dakar, ENDA-RUP, 177 p.

Gning, J. B., Diop, C., Dongo, K. et Koné, D. (2017). « Facteurs déterminant le tarif de la vidange mécanique des boues d'assainissement à Dakar », *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(1), p. 313-332.

Guttman, N. B. (1994). « On the sensitivity of sample L moments to sample size », *Journal of Climate*, 7(6), p. 1026-1029.

Huang, L.-Y., Wang, Y.-C., Wu, C.-C., Chen, Y.-C. et Huang, Y.-L. (2016). « Risk of flood-related diseases of eyes, skin and gastrointestinal tract in Taiwan: a retrospective cohort study »,

PLoS ONE, 11(5), e0155166. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155166

Jepson, E. J. et Edwards, M. M. (2010). « How possible is sustainable urban development? An analysis of planners' perceptions about new urbanism, smart growth and the ecological city », *Planning Practice & Research*, 25(4), p. 417-437.

Kulinska, E. et Dendera-Gruszka, M. (2019). « Green cities, problems and solutions in Turkey », *Transportation Research Procedia*, 39, p. 242-251.

Leclercq, R. (2017). « The politics of risk policies in Dakar, Senegal », *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 26, p. 93-100.

Luck, M. A., Jenerette, G. D., Wu, J. et Grimm, N. B. (2001). « The urban funnel model and the spatially heterogeneous ecological footprint », *Ecosystems*, 4, p. 782-796. https://doi.org/10.1007/s10021-001-0046-8

Marfaing, L. (2019). « Dakar ville moderne : la médiation des entrepreneurs sénégalais en Chine », *Canadian Journal of African Studies / Revue canadienne des études africaines*, 53(1), p. 89-107.

McKee, T. B., Doesken, N. J. et Kleist, J. (1993). « The relationship of drought frequency and duration to time scales », *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, Anaheim, 17-22 janvier 1993, p. 179-184.

Ndiaye, M., Diop, C. et Sagna, P. (2020). « Le maraîchage à Malika face à la variabilité climatique dans la région de Dakar (Sénégal) », *Revue de géographie du Laboratoire Leïdi « Dynamiques des territoires et développement »*, 24, p. 319-334.

Ndiaye, M. L., Ndiaye, E. H. A. D., Traore, V. B., Diaw, A. T. et Beye, A. C. (2016). « Impacts of rainfall variability and urban sprawl on the environment and the population well-being at Ouakam

Commune, Dakar, Senegal », *Archives of Current Research International*, 6(2), p. 1-12.

Ndiaye, M. L., Pfeifer, H. R., Niang, S., Dieng, Y., Tonolla, M. et Peduzzi, R. (2010). « Impacts de l'utilisation des eaux polluées en agriculture urbaine sur la qualité de la nappe de Dakar (Sénégal) », *VertigO*, 10(2). http://vertigo.revues.org/9965

Norman, G., Scott, P. et Pedley, S. (2011). « The PAQPUD settled sewerage project (Dakar, Senegal): problems arising, lessons learned », *Habitat International*, 35, p. 361-371.

ONAS (2018). *Actualisation du plan directeur d'assainissement liquide de Dakar à l'horizon 2025*, rapport de la sous-mission A-2, Dakar, Office national de l'assainissement du Sénégal.

Orange, D., Gérino, M., Costa, D. T. et Stinckwich, S. (2018). « SmartCleanGarden concept : de multiples innovations pour gérer les eaux usées urbaines », *IRD Le Mag'*. https://lemag.ird.fr/fr/smart-clean-garden-concept-de-multiples-innovations-pour-gerer-les-eaux-usees-urbaines

Paterson, D. L., Wright, H. et Harris, P. N. A. (2018). « Health risks of flood disasters », *Clinical Infectious Diseases*, 67(9), p. 1450-1454. https://doi.org/10.1093/cid/ciy227

Pettitt, A. N. (1979). « A non-parametric approach to the change-point problem », *Applied Statistics*, 28(2), p. 126-135.

PROGEP (2012). *Étude pour l'élaboration d'une stratégie nationale de planification et de gestion urbaine intégrées, prenant en compte la prévention des risques d'inondation et l'adaptation au changement climatique*, rapport diagnostic, phase 1, Dakar, ADM.

Rees, W. et Wackernagel, M. (1996). « Urban ecological footprints: why cities cannot be sustainable and why they are a key to sustainability », *Environmental Impact Assessment Review*, 16, p. 223-248.

Sagna, P. (1995). « L'évolution pluviométrique récente de la Grande Côte du Sénégal et de l'archipel du Cap-Vert », *Revue de géographie de Lyon*, 70(3-4), p. 187-192.

Sall, M. et Vanclooster, M. (2009). « Assessing the well water pollution problem by nitrates in the small scale farming systems of the Niayes region, Senegal », *Agricultural Water Management*, 96, p. 1360-1368.

Scott, R., Scott, P., Hawkins, P., Blackett, I., Cotton, A. et Lerebours, A. (2019). « Integrating basic urban services for better sanitation outcomes », *Sustainability*, 11, 6706. https://doi.org/10.3390/su11236706

Setty, K. E., Enault, J., Loret, J.-F., Puigdomenech Serra, C., Martin-Alonso, J. et Bartram, J. (2018). « Time series study of weather, water quality, and acute gastroenteritis at water safety plan implementation sites in France and Spain », *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 221(4), p. 714-726. https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2018.04.001

Sharifi, A., Kawakubo, S. et Milovidova, A. (2020). « Urban sustainability assessment tools: toward integrating smart city indicators », in *Urban Systems Design: Creating Sustainable Smart Cities in the Internet of Things Era*, Amsterdam, Elsevier, chap. 11, p. 345-372.

Tellman, B., Sullivan, J. A., Kuhn, C., Kettner, A. J., Doyle, C. S., Brakenridge, G. R., Erickson, T. A. et Slayback, D. A. (2021). « Satellite imaging reveals increased proportion of population exposed to floods », *Nature*, 596(7870), p. 80-86. https://doi.org/10.1038/s41586-021-03695-w

Templeton, M. R., Hammoud, A. S., Butler, A. P., Braun, L., Foucher, J.-A., Grossmann, J., Boukari, M., Faye, S. et Jourda, J. P. (2015). « Nitrate pollution of groundwater by pit latrines in developing countries », *AIMS Environmental Science*, 2(2), p. 302-313. https://doi.org/10.3934/environsci.2015.2.302

Theys, J. et Emelianoff, C. (2001). « Les contradictions de la ville durable », *Le Débat*, 113(1), p. 122-135. https://doi.org/10.3917/deba.113.0122

Tramblay, Y., Mimeau, L., Neppel, L., Vinet, F. et Sauquet, E. (2019). « Detection and attribution of flood trends in Mediterranean basins », *Hydrology and Earth System Sciences*, 23, p. 4419-4431. https://doi.org/10.5194/hess-23-4419-2019

Vernay, A.-L., Rahola, T. et Ravesteijn, W. (2010). « Growing food, feeling change: towards a holistic and dynamic approach of eco-city planning », in Ravesteijn, W. et Cooke, P. (dir.), *Eco-city Concepts and Approaches*, 3rd International Conference on Next Generation Infrastructure Systems for Eco-Cities, Shenzhen, 10-13 novembre 2010.