

GESTION CIRCULAIRE ET RÉSILIENTE DE L'EAU EN MILIEU URBAIN

Recueil de solutions
pour les gouvernements
locaux et régionaux

Initiative pour
la résilience
circulaire de
l'eau en milieu
urbain au
Maroc

Gestion circulaire et résiliente de l'eau en milieu urbain – Recueil de solutions pour les gouvernements locaux et régionaux (Version 2)

Éditeur :

ICLEI - Local Governments for Sustainability e.V. Kaiser-Friedrich-Straße 7, 53113 - Bonn, Allemagne

<https://iclei.org/>

Pour plus d'informations, s'adresser à : circular.development@iclei.org

Date de publication : août 2025

Coordinateur et auteur principal : André Almeida da Vila - Secrétariat mondial d'ICLEI

Auteurs :

Lan Le - Secrétariat mondial d'ICLEI

Dr Magash Naidoo - Secrétariat mondial d'ICLEI

Moez Allaoui - ICLEI Afrique

Tala Qaadoheh - Secrétariat mondial d'ICLEI

Contributeurs :

Jacob Woelki - BORDA - Association de recherche et de développement outre-mer de Brême

Jingwen Yuan - ICLEI Asie de l'Est

Keli Wang - ICLEI Asie de l'Est

Makoto Murase - Ville de Sumida

Pr. Sakina Belhamidi, Université Ibn Tofail, Kénitra, Maroc

Yi Jiang - ICLEI Asie de l'Est

Yuko Hori - ICLEI Japon

Réviseurs :

Dr Alejandro Jimenez - Responsable du groupe Gouvernance WASH à l'Institut suédois de recherche environnementale (IVL)

Dr Jauad El Kharraz, PDG et fondateur du Réseau des experts en eau, énergie et climat (WECEN)

Réviseurs : Paul Currie, Luka Dreyer - ICLEI Afrique

Conception : Courtney van Niekerk, Mulesa Lumina, ICLEI Afrique

@2025 par ICLEI - Local Governments for Sustainability e.V. Tous droits réservés

À citer comme suit : ICLEI - Local Governments for Sustainability (2025). Gestion circulaire et résiliente de l'eau en milieu urbain - Recueil de solutions pour les gouvernements locaux et régionaux. Bonn, Allemagne : ICLEI - Local Governments for Sustainability e.V.

Cette publication a été produite par ICLEI dans le cadre du projet « Initiative pour la résilience circulaire de l'eau en milieu urbain au Maroc », financé par l'Agence allemande pour la coopération internationale (GIZ) GmbH. Les points de vue et opinions exprimés sont toutefois uniquement ceux de l'auteur et ne reflètent pas nécessairement ceux d'ICLEI ou de la GIZ. Ni ICLEI ni la GIZ ne sauraient en être tenus responsables.

Pour plus d'informations sur ce projet, consulter <https://africa.iclei.org/> ou envoyer un e-mail à iclei-africa@iclei.org

Projet coordonné par



Financé par



Ministère fédéral de la
Coopération économique
et du Développement

TABLE DES MATIÈRES

Résumé	1
Introduction	3
Liste des acronymes	9
Domaines thématiques	12
Lieux des études de cas	14
1 Chapitre 1 : Systèmes décentralisés, locaux et participatifs	15
Ville de Sumida, Tokyo, Japon	15
eThekweni, Afrique du Sud	27
La Quebradora, Ville de Mexico, Mexique	41
Université Ibn Tofail, Kénitra, Maroc	53
2 Chapitre 2 : Intégration urbaine et planification régénérative	67
Shenzhen, Guangdong, Chine	67
Googong, Nouvelle-Galles du Sud, Australie	82
Malmö, Suède	98
Tunis, Tunisie	112
Éco-ville de Zenata, Maroc	123
3 Chapitre 3 : Systèmes d'eau circulaires centralisés et valorisation des ressources	135
Grand Santiago, Chili	135
Surat, Gujarat, Inde	147
Safi, Maroc	162

RÉSUMÉ

Ce recueil met en avant 12 initiatives concrètes qui démontrent comment les approches circulaires en matière de gestion de l'eau peuvent renforcer la résilience urbaine, améliorer la sécurité hydrique et soutenir le développement durable. Les études de cas présentées sont réparties en trois chapitres thématiques : (1) Systèmes décentralisés, locaux et participatifs ; (2) Intégration urbaine et planification régénérative ; et (3) Systèmes circulaires centralisés et valorisation des ressources.

Ces initiatives couvrent un large éventail de contextes, allant des éco-quartiers et villes nouvelles aux projets de réutilisation des eaux usées à des fins industrielles ou autres, sans oublier les initiatives concluantes de collecte des eaux pluviales. Malgré la diversité de leurs zones géographiques et de leurs contextes, elles partagent plusieurs points en communs : une coordination institutionnelle solide, une planification à long terme, l'implication précoce des parties prenantes, des cadres politiques favorables et des modèles économiques adaptés qui rendent la circularité financièrement viable.

Aperçus des études de cas :

- **Sumida (Japon)** : un réseau de collecte des eaux pluviales à l'échelle d'un quartier en lien avec la préparation aux risques de catastrophes naturelles et à l'engagement civique des habitants.
- **eThekweni (Afrique du Sud)** : des systèmes DEWATS à faible consommation d'énergie intégrés dans des quartiers informels, co-dirigés par la municipalité et BORDA.
- **La Quebradora (Ville de Mexico, Mexique)** : un parc multifonctionnel combinant la gestion des inondations, le captage de l'eau et l'éducation du public.
- **Kénitra (Maroc)** : une initiative menée par une université visant à traiter et réutiliser les eaux usées pour l'irrigation des espaces verts du campus.
- **Shenzhen (Chine)** : un projet pilote de « Ville éponge » intégrant des solutions basées sur la nature dans des zones urbaines en pleine expansion.
- **Googong (Australie)** : un cycle de l'eau entièrement intégré dans une nouvelle ville utilisant des réseaux doubles, la collecte des eaux de pluie et la réutilisation de l'eau.
- **Malmö (Suède)** : l'éco-quartier d'Augustenborg, réaménagé avec des toitures végétalisées, des systèmes ouverts de gestion des eaux pluviales et des corridors de biodiversité.
- **Lac Nord de Tunis (Tunisie)** : une lagune dégradée, réhabilitée et réaménagée grâce à des investissements immobiliers réalisés sous forme d'un PPP.
- **Zenata (Maroc)** : une éco-cité planifiée où les infrastructures vertes et bleues favorisent la recharge des nappes phréatiques et la résilience climatique.
- **Santiago (Chili)** : des bio-usines transformant les eaux usées en énergie, en eau propre et en sous-produits agricoles.
- **Surat (Inde)** : un partenariat entre les services publics et l'industrie acheminant les eaux usées traitées vers les usines textiles, ce qui permet d'économiser l'eau douce.
- **Safi (Maroc)** : un modèle de circularité mis en œuvre par l'industrie des phosphates combinant dessalement d'eau de mer et réutilisation des eaux usées dans un écosystème industriel.

Principaux enseignements pour les villes marocaines

Le Maroc est confronté à un stress hydrique croissant, à une urbanisation rapide et à des défis climatiques. Ce recueil présente des enseignements particulièrement pertinents pour les villes marocaines :

- **Agir tôt et intégrer la planification de l'eau** : l'intégration de stratégies circulaires en matière de gestion de l'eau (réutilisation des eaux usées, infrastructure urbaine verte et bleue, solutions basées sur la nature, collecte des eaux pluviales, réseau redondant de distribution) dès la conception des projets de développement ou d'expansion urbaine permet d'éviter des réaménagements futurs et de ne pas mettre à rude épreuve les infrastructures centralisées.
- **Créer des environnements réglementaires favorables** : tous les cas de réussite ont été soutenus par des mandats clairs, des normes (par exemple pour les réseaux redondants) et un soutien institutionnel qui a réduit les risques liés à l'investissement.
- **Favoriser les investissements privés sous contrôle public** : de nombreux projets (Googong, Zenata, Safi, Surat) ont été financés par des promoteurs ou des industries dans le cadre d'un accord négocié, tandis que les autorités publiques ont pris en charge l'exploitation ou la supervision à long terme.
- **Donner la priorité à la communication et à l'éducation** : l'acceptation par le public des systèmes de réutilisation dépend d'une communication claire, de l'implication des écoles et de la visibilité des infrastructures (Googong, Sumida, Santiago).
- **Concevoir pour obtenir de multiples avantages connexes** : associer la réutilisation de l'eau à des espaces verts, au refroidissement urbain ou à l'éducation permet de justifier les investissements et d'en accroître l'impact (La Quebradora, Augustenborg, Zenata).
- **Investir dans les capacités locales** : les municipalités et les services publics ayant investi dans la formation du personnel, la mobilisation des parties prenantes et l'apprentissage institutionnel ont mieux réussi dans la mise en œuvre (Googong, eThekweni, Santiago).

Ensemble, ces exemples montrent que les systèmes urbains circulaires de gestion de l'eau ne sont pas seulement techniquement réalisables, mais peuvent également être économiquement viables et acceptés au niveau social, à condition d'être soutenus par une planification, une gouvernance et des cadres de financement intelligents. Les villes marocaines, en particulier celles en cours de développement ou de densification, peuvent s'appuyer sur ce recueil comme une ressource pratique pour orienter leurs futurs investissements en matière de résilience hydrique.

INTRODUCTION

L'eau est une ressource essentielle au développement urbain durable. Elle se trouve au cœur de nombreux systèmes liés à l'alimentation, à l'énergie, à la santé et aux écosystèmes. L'importance d'assurer un accès à une eau sûre et propre ne cesse de croître dans le contexte de la triple crise planétaire marquée par la croissance démographique rapide, les changements climatiques et l'urbanisation accélérée. En même temps, la sécurité de l'approvisionnement en eau repose sur l'alignement de différents niveaux de politique et de gouvernance, une planification intégrée, un développement adéquat des infrastructures et la participation des parties prenantes.

Ce recueil s'inscrit dans le cadre de *l'Initiative pour la résilience circulaire de l'eau en milieu urbain au Maroc- UCWRI* conduite par ICLEI et financé par le projet *Economie circulaire de l'eau en milieu urbain – EccEauUrbain*, mis en œuvre par la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, agence de la coopération allemande au développement au Maroc, en partenariat avec le Ministère marocain de l'Aménagement du Territoire National, de l'Urbanisme, de l'Habitat et de la Politique de la Ville (MATNUHPV). Le projet EccEauUrbain est financé par le Ministère Fédéral Allemand du Développement Économique et la Coopération (BMZ).

Le recueil présente 12 études de cas internationales illustrant des initiatives circulaires et résilientes dans le domaine de l'eau qui ont été mises en œuvre avec succès dans des contextes pertinents pour les villes marocaines.

Contexte mondial de l'eau

Selon les rapports des Nations Unies, environ 50 % de la population mondiale est confrontée à une pénurie d'eau sévère pendant au moins un mois chaque année et près de 26 % vit dans des pays où l'approvisionnement en eau est considéré comme inadéquat par rapport aux besoins. L'Afrique et l'Asie sont touchées de manière disproportionnée par les sécheresses et les inondations, la majorité des quelque 2 milliards de personnes vivant dans ces régions n'ayant pas un approvisionnement en eau suffisant.

Le changement climatique devrait aggraver la situation actuelle¹ avec une intensification des extrêmes pluviométriques entraînant à la fois des périodes de sécheresse et des inondations. Cette situation est exacerbée par des pratiques de gestion de l'eau non durables, telles que la surexploitation des ressources, une agriculture inefficace, la pollution industrielle des cours d'eau ainsi que des solutions et des infrastructures de traitement et de réutilisation des eaux usées insuffisantes – des défis souvent amplifiés par une urbanisation rapide et non planifiée.

Les populations vulnérables des pays à faible revenu sont particulièrement exposées en raison d'environnements réglementaires fragmentés, d'infrastructures défaillantes et du manque de résilience inhérent à leurs systèmes.

¹ <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000388950>

Pour remédier à ces vulnérabilités, il est nécessaire de promouvoir de nouveaux modèles de développement urbain intégrant dès le départ des pratiques durables en matière de gestion de l'eau. Dans ce contexte, la circularité et la résilience de l'eau vont de pair. L'intégration d'approches circulaires de l'eau dans l'urbanisme et les infrastructures peut constituer une base essentielle permettant aux villes de renforcer leur résilience et de mieux faire face aux pressions climatiques croissantes.

Le contexte hydrique au Maroc

Le Maroc fait partie des pays confrontés au stress hydrique, ses villes étant au cœur de la crise. La disponibilité en eau douce renouvelable par habitant étant estimée à 606 m³ d'eau par an² – un chiffre qui devrait tomber à 510 m³ d'ici 2050³ – bien en dessous du seuil international de 1 700 m³ par personne et par an, tel que défini par l'indicateur de stress hydrique de Falkenmark.

Cette baisse est principalement due à la croissance démographique, à l'expansion urbaine et à la diminution des précipitations causée par le changement climatique. Certaines zones urbaines sont confrontées à des pressions croissantes, notamment les risques de « jour zéro » (épuisement des réserves disponibles), des pertes d'eau importantes au niveau des réseaux, un financement insuffisant des infrastructures, la pollution et une planification mal intégrée des ressources en eau.

Conscient de ces menaces, le Maroc a fait de la gestion durable de l'eau une priorité, conformément aux politiques nationales et aux directives royales. Sous l'égide du Programme national d'approvisionnement en eau potable et d'irrigation (PNAEPI) 2020-2027, le gouvernement a lancé plusieurs initiatives axées sur la préservation des ressources, la réutilisation des eaux usées, la protection des nappes souterraines et le dessalement de l'eau de mer, tout en mettant l'accent sur la collaboration intersectorielle. Malgré les progrès réalisés, des défis subsistent en raison de l'intensification des phénomènes climatiques, de la surexploitation des ressources, des insuffisances en matière d'infrastructures et de financement, ainsi qu'au niveau de la gestion intégrée et de la gouvernance de l'eau. Autant d'enjeux qu'il est urgent de traiter.

Importance des solutions circulaires de gestion de l'eau

Les solutions circulaires dans le domaine de l'eau peuvent jouer un rôle clé dans la résolution des défis hydriques actuels du Maroc et atténuer les risques futurs liés au stress hydrique. Elles se concentrent sur la conservation et la réutilisation de l'eau, la réduction de la pollution et la régénération des écosystèmes, tout en encourageant une refonte de la manière dont les systèmes hydriques sont planifiés, exploités et gérés pour assurer leur résilience à long terme.

Le gouvernement marocain a progressivement intégré les solutions circulaires dans le domaine de l'eau dans sa politique nationale et son cadre législatif. La gestion de l'eau dans le pays est

²

<https://www.equipement.gov.ma/eau/documentation/Documents/le%20secteur%20de%20l%27eau%20au%20maroc%202023.pdf>

³ <https://documents1.worldbank.org/curated/en/299131516806648462/pdf/122698-FRENCH-v2Annexes-Sections-2-4-FR.pdf>

guidée par des stratégies et des programmes nationaux visant à lutter contre la pénurie et à améliorer la qualité, avec un accent récent sur l'utilisation durable et efficace de l'eau. Un document clé en la matière est le Programme national d'approvisionnement en eau potable et d'irrigation (PNAEPI) 2020-2027, qui représente la première phase du Plan national de l'eau (PNE) 2020-2050, une stratégie à long terme visant à améliorer la gouvernance de l'eau et à relever les défis liés à la pénurie. Soutenu par une convention de mise en œuvre, ce programme a fourni un cadre essentiel pour le développement d'initiatives durables et circulaires dans le domaine de l'eau.

En outre, début 2025, le gouvernement marocain, en collaboration avec plusieurs partenaires, a lancé l'élaboration de la feuille de route nationale de l'économie circulaire. Cette initiative vise à définir une trajectoire concrète pour la transition du Maroc vers une économie circulaire en s'appuyant sur plusieurs cadres sectoriels existants, notamment le cadre national pour la promotion de la consommation et de la production durables, le plan d'action décennal pour l'agriculture et l'agroalimentaire ainsi que le Plan d'action décennal pour l'éco-construction et les bâtiments durables.

Dans leur ensemble, ces efforts soulignent la priorité accordée par le Maroc à la transition vers une économie plus circulaire dans le secteur de l'eau comme dans d'autres secteurs. Bien qu'une meilleure intégration entre les différents plans, stratégies et cadres réglementaires demeure essentielle pour libérer pleinement le potentiel des solutions urbaines circulaires et résilientes en matière d'eau, ces initiatives ont déjà posé des bases solides, créant un environnement favorable et une dynamique propice à la concrétisation de nombreux projets.

Contexte du projet

L'Initiative pour la résilience circulaire de l'eau en milieu urbain au Maroc – UCWRI conduite par ICLEI est financé par le projet *Economie circulaire de l'eau en milieu urbain – EccEauUrbain*, mis en œuvre par la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH en partenariat avec le Ministère marocain de l'Aménagement du Territoire National, de l'Urbanisme, de l'Habitat et de la Politique de la Ville (MATNUHPV). Le projet EccEauUrbain aborde les défis liés à la résilience urbaine en promouvant des approches circulaires de gestion de l'eau en milieu urbain et en proposant des orientations sur l'intégration structurelle du secteur de l'eau dans la planification et le développement urbain.

L'initiative UCWRI contribue à ces objectifs en renforçant la résilience hydrique urbaine au Maroc grâce aux principes de l'économie circulaire. Elle promeut une approche multipartite pour lutter contre la pénurie d'eau, les problèmes de qualité de l'eau et la dégradation des écosystèmes. Ses principales activités consistent à renforcer les capacités des acteurs de la société civile et des pouvoirs publics, à promouvoir l'apprentissage à international entre les villes et à créer des plateformes multipartites de collaboration au niveau local.

L'un des principaux produits du projet est le **Recueil de solutions pour les gouvernements locaux et régionaux**, qui présente 12 études de cas de bonnes pratiques au Maroc et à l'étranger. Ces exemples illustrent les aspects techniques, politiques, financiers et environnementaux de la gestion circulaire de l'eau. Le recueil est structuré autour d'un cadre analytique commun afin de

garantir la pertinence et la comparabilité des études, notamment pour les acteurs marocains. Grâce à ce document, les acteurs locaux peuvent identifier et adopter des solutions circulaires durables et reproductibles qui répondent à la fois aux défis urbains mondiaux et locaux.

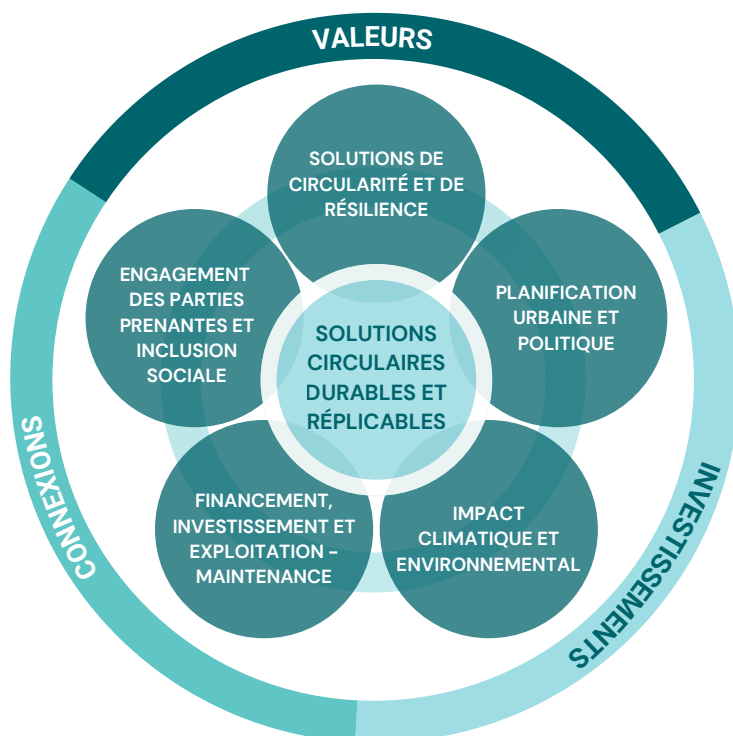
Structure du recueil

Chaque étude de cas présentée dans le recueil suit un cadre analytique commun, structuré autour de **cinq dimensions** qui permettent une comparaison claire et des enseignements pratiques :

1. **Solutions de circularité et de résilience** – Mesures techniques et infrastructurelles permettant la réutilisation de l'eau, la valorisation des ressources et une gestion adaptative.
2. **Planification urbaine et politique** – Chronologie des instruments réglementaires et de planification ayant soutenu la mise en œuvre du projet, y compris les politiques et stratégies clés.
3. **Impact climatique et environnemental** – Contributions à l'atténuation, à l'adaptation, à la restauration des écosystèmes et autres avantages environnementaux.
4. **Financement, investissement et exploitation - maintenance** – Modèles d'investissement, approches opérationnelles et considérations coûts-bénéfices assurant la pérennité à long terme.
5. **Engagement des parties prenantes et inclusion sociale** – Participation des communautés, des institutions et des autres parties prenantes tout au long de la planification, de la mise en œuvre et de l'exploitation.

En outre, chaque étude de cas comprend des sections sur (i) les **Facteurs de réussite**, évalués selon le cadre des **Valeurs, Connexions et Investissements**, et (ii) la **Réplicabilité**, soulignant comment l'approche peut être adaptée à d'autres contextes au Maroc et au-delà.

Figure 1 : Cadre analytique et facteurs de réussite



Le recueil s'articule autour de trois chapitres, chacun mettant en lumière une dimension clé de la gestion circulaire et résiliente de l'eau en milieu urbain, de l'innovation à l'échelle locale et des interventions adaptées au contexte local à la transformation des systèmes à grande échelle. Ensemble, ces chapitres illustrent un large éventail d'approches qui peuvent aider les villes à améliorer les circuits fermés de l'eau, renforcer la durabilité et la résilience, et aligner la croissance urbaine sur l'efficacité des ressources.

Chaque chapitre présente également un **exemple marocain**, démontrant comment les approches présentées peuvent être adaptées et mises en œuvre dans le contexte national.



Chapitre 1 : Systèmes décentralisés, locaux et participatifs

Ce chapitre présente des solutions à petite échelle, adaptées au contexte local et axées sur la communauté, qui démontrent comment les systèmes décentralisés peuvent favoriser la circularité de l'eau tout en encourageant l'inclusion sociale et l'innovation. Le cas **d'eThekweni (Afrique du Sud)** met en avant le traitement décentralisé des eaux usées (DEWATS), géré à l'échelle communautaire, comme exemple durable d'assainissement et de réutilisation de l'eau. Le cas de **Sumida (Japon)** illustre comment la généralisation de la collecte des eaux de pluie dans les installations publiques et privées améliore la sécurité hydrique et la participation citoyenne. À **Mexico - La Quebradora**, des solutions locales de gestion intégrée de l'eau ont été mises en place dans les équipements publics d'Izatapalapa, créant ainsi des espaces urbains qui associent gestion des inondations, réutilisation de l'eau et avantages pour la communauté. Montrant comment des approches décentralisées et adaptées au contexte local peuvent être appliquées au Maroc, le cas de **l'université Ibn Tofail de Kénitra** présente un système de traitement des eaux usées et de réutilisation à l'échelle du campus grâce à un partenariat public-privé. Ces études de cas montrent comment des approches participatives à l'échelle locale peuvent inspirer des pratiques circulaires de gestion de l'eau et orienter leur adaptation dans divers contextes urbains, y compris au Maroc.



Chapitre 2 : Intégration urbaine et planification régénérative

Ce chapitre met l'accent sur l'intégration des systèmes hydriques dans la conception urbaine, l'aménagement du territoire et la régénération écologique au sens large. Le cas de **Shenzhen (Chine)** illustre une approche de ville-éponge à l'échelle urbaine, combinant zones humides, canaux et systèmes d'infiltration pour renforcer la résilience tout en soutenant l'expansion urbaine. Les cas de **Googong (Australie)** et **Malmö – Augustenborg (Suède)** montrent comment le développement urbain (et le réaménagement) peut intégrer la réutilisation de l'eau, la gestion des eaux pluviales et la biodiversité dans la planification, créant ainsi des éco-quartiers multifonctionnels. Le cas du **lac Nord de Tunis (Tunisie)** démontre comment la régénération d'une lagune côtière dégradée grâce à des pratiques sensibles à l'eau peut attirer des investissements et favoriser un réaménagement urbain durable. Au Maroc, **Casablanca – Zenata** offre un exemple de planification urbaine sensible à l'eau, combinant des corridors bleus - verts, la recharge des aquifères et une conception adaptée au climat dans un quartier en pleine expansion. Ces exemples fournissent des orientations pratiques aux villes marocaines et au-delà en montrant comment l'eau peut devenir un élément structurant pour un développement urbain régénérateur et résilient.



Chapitre 3 : Systèmes d'eau circulaires centralisés et valorisation des ressources

Ce chapitre met en évidence la réutilisation de l'eau à grande échelle, les applications industrielles et la valorisation circulaire des ressources. **Les bio-usines de Santiago (Chili)** transforment les eaux usées en énergie, en engrais et en eau recyclée, illustrant ainsi le potentiel multi-ressources des eaux usées urbaines. Le cas de **Surat (Inde)** démontre la réutilisation industrielle des eaux usées traitées par des tiers pour répondre à la demande industrielle à grande échelle tout en allégeant la pression sur les sources d'eau douce. Au Maroc, **Safi** illustre la gestion circulaire de l'eau à l'échelle industrielle, combinant le dessalement et la réutilisation des eaux usées afin de sécuriser les ressources nécessaires à l'exploitation des phosphates tout en réduisant l'impact environnemental. Ces exemples illustrent l'intégration des principes de l'économie circulaire dans les services publics urbains et offrent des enseignements sur la gouvernance, le financement et la valeur de la réutilisation industrielle pour les régions confrontées à la pénurie d'eau.

Méthodologie

Les données des études de cas ont été collectées à partir de recherches documentaires et grâce au réseau mondial de partenaires, de collectivités locales et d'experts d'ICLEI, avec des consultations directes réalisées pour certains cas sélectionnés.

La recherche documentaire a consisté en un examen et une analyse systématiques de la littérature grise, d'articles universitaires, de rapports et documents officiels et des documents relatifs aux projets. Pour certains cas, cette recherche a été complétée par des consultations directes avec les parties prenantes activement impliquées dans les initiatives. Pour d'autres cas, les bureaux locaux d'ICLEI travaillant avec les municipalités concernées ont été consultés afin de garantir l'exactitude, la pertinence contextuelle et l'exhaustivité des informations. Dans les cas où la littérature était abondante et où ICLEI n'avait pas de contacts directs avec le projet ou les autorités locales, la recherche documentaire seule a été jugée suffisante.

Détails de la collecte des données des études de cas

Chapitre	Étude de cas	Source des données	Consultation
1 - Systèmes décentralisés, locaux et participatifs	Ville de Sumida : collecte des eaux de pluie	Bureau + Consultation locale	Bureau japonais d'ICLEI, administration locale
	eThekwini : traitement décentralisé des eaux usées	Bureau + consultation	Personnel BORDA et ancien directeur national pour l'Afrique du Sud
	Mexico : Parc La Quebradora	Bureau + Consultation locale	ICLEI Mexique, Secrétariat pour l'Amérique centrale et les Caraïbes
	Kénitra : station d'épuration de l'université Ibn Tofail	Bureau + Consultation locale	Personnel universitaire
2 - Intégration urbaine et planification régénérative	Shenzhen : programme « ville éponge »	Bureau + Consultation locale	Secrétariat ICLEI Asie de l'Est, experts locaux
	Googong : cycle intégré de l'eau	Recherche documentaire	
	Malmö : Ekostaden Augustenborg	Recherche documentaire	
	Tunis : Réhabilitation du lac Nord	Recherche documentaire + consultation locale	Personnel de Al Buhaira Invest
	Zenata : Éco-ville	Recherche documentaire + Consultation locale	Personnel des autorités locales
3 - Systèmes d'eau circulaires centralisés et récupération des ressources	Santiago : Biofactorías	Recherche documentaire	
	Surat : Initiative d'approvisionnement industriel	Recherche documentaire	
	Safi : Économie circulaire de l'eau	Recherche documentaire + Consultation locale	Équipe OCP Green Water

Liste des acronymes

1. Concepts généraux, systèmes et opérations

Systèmes d'eau et d'eaux usées

- WWTP – Station d'épuration des eaux usées
- STP – Station de traitement des eaux usées
- TTP – Station de traitement tertiaire
- STEP – Station d'épuration des eaux usées
- BRM – Bioréacteur à membrane
- WRP – Station de recyclage de l'eau
- RHS – Système de récupération des eaux de pluie
- IWC – Cycle intégré de l'eau
- WSUD – Conception urbaine sensible à l'eau

Cadres organisationnels/opérationnels

- PPP – Partenariat public-privé
- OC – Organisation communautaire
- E&M – Exploitation et maintenance
- IAC – Ingénierie, approvisionnement et construction
- BAIIDA – Bénéfice avant intérêts, impôts, dépréciation et amortissement

2. Mesures et indicateurs techniques

Qualité de l'eau et des eaux usées

- BOD₅ / BOD5 – Demande biochimique en oxygène sur 5 jours
- DCO – Demande chimique en oxygène
- MS / TMS – Matières en suspension / Total des matières en suspension
- CF – Coliformes fécaux / E. coli

Volume d'eau et d'eaux usées

- L – Litre
- MLJ – Millions de litres par jour
- m³/h – Mètres cubes par heure
- Mm³/an – Millions de mètres cubes par an

Énergie

- MMBtu – Millions d'unités thermiques britanniques
- MWh – Mégawattheure
- GJ – Gigajoule

Autres indicateurs de traitement

- t CO₂e – Tonnes d'équivalent dioxyde de carbone
- UV – Ultraviolet (désinfection par la lumière)

3. Organisations et institutions générales

- ONG – Organisation non gouvernementale
- ONU – Organisation des Nations Unies
- ONUDI – Organisation des Nations unies pour le développement industriel
- BEI – Banque européenne d'investissement
- AFD – Agence française de développement
- RAMSAR – Convention relative aux zones humides d'importance internationale
- BERD – Banque européenne pour la reconstruction et le développement

4. Monnaie

- JPY – Yen japonais
- EUR – Euro
- ZAR – Rand sud-africain
- USD – Dollar américain
- MXN – Peso mexicain
- CNY – Yuan chinois
- SEK – Couronne suédoise
- TND – Dinar tunisien
- MAD – Dirham marocain
- AUD – Dollar australien

5. Organisations et acronymes spécifiques au projet

Durban, Afrique du Sud

- DEWATS – Système(s) décentralisé(s) de traitement des eaux usées
- BORDA – Association de recherche et développement outre-mer de Brême
- UKZN – Université du KwaZulu-Natal

Ville de Mexico, Mexique

- UNAM – Université nationale autonome du Mexique

Shenzhen, Chine

- PVE – Programme « Ville éponge »
- AFI – Aménagement à faible impact

Malmo, Suède

- PIL – Programme d'investissement local

- MKB – Malmö Kommunala Bostadsaktiebolag (Société municipale de logement)
- SKR – Sveriges Kommuner och Regioner (Association suédoise des autorités locales et des régions)

Surat, Inde

- SMC – Surat Municipal Corporation

Santiago, Chili

- EMOS – Entreprise municipale des travaux d'assainissement (Empresa Municipal de Obras Sanitarias)

Tunis, Tunisie

- SPLT – Société de Promotion du Lac de Tunis

Kénitra, Maroc

- ITU / ITU WWTP – Université Ibn Tofail / Station d'épuration des eaux usées de l'université Ibn Tofail

Casablanca, Maroc

- CDG – Caisse de Dépôts et de Gestion (Fonds de dépôt et de gestion du Maroc)
- SAZ – Société d'Aménagement Zenata
- Lydec – Lyonnaise des Eaux de Casablanca (fournisseur public d'eau et d'électricité)

Googong, Australie

- NSW – Nouvelle-Galles du Sud
- QPRC – Conseil régional de Queanbeyan-Palerang
- CIC – Canberra Investment Corporation

Safi, Maroc

- OCP – Office Chérifien des Phosphates
- RADEES – Régie autonome intercommunale de distribution d'eau et d'électricité de Safi STEP – Station d'épuration des eaux usées
- SRM-MS – Société régionale multiservices Marrakech-Safi
- PNAEPI – Programme national d'approvisionnement en eau potable et d'irrigation (2020-2027)

Domaines thématiques

Identifiez rapidement les études de cas les plus pertinentes pour vous grâce à notre système d'icônes, qui met en évidence les thèmes techniques clés abordés dans chaque cas.



Systèmes et technologies lié l'eau



Récupération et réutilisation des eaux de pluie : collecte des eaux de pluie en vue d'une utilisation future, comprenant le plus souvent une installation de stockage.



Gestion des eaux pluviales et atténuation des inondations : gestion du ruissellement des eaux pluviales afin de prévenir les inondations et les problèmes liés à la qualité de l'eau.



Recharge des nappes phréatiques : processus par lequel les eaux de surface viennent alimenter les aquifères.



Traitement et réutilisation décentralisés des eaux usées : traitement des eaux usées directement à proximité de leur lieu de production, avec une réutilisation sur site.



Recyclage et réutilisation centralisés de l'eau : traitement, dans une installation centralisée, des eaux usées collectées depuis plusieurs sites et sources, puis distribution de l'eau traitée pour réutilisation.



Dessalement et approvisionnement non conventionnel : conversion de l'eau de mer et d'autres types d'eau en eau douce pour l'irrigation ou la consommation humaine.



Solutions fondées sur la nature et intégration au paysage



Infrastructures vertes et bleues / solutions fondées sur la nature : réseau d'éléments naturels et artificiels et d'infrastructures spécialement conçus pour apporter des bénéfices environnementaux, sociaux et économiques, tels que les zones humides, les toits verts, les canaux de drainage et les forêts urbaines.



Restauration des écosystèmes urbains et biodiversité : interventions circulaires ou résilientes dans le domaine de l'eau qui contribuent à la restauration et à la régénération des écosystèmes urbains dégradés, améliorant la biodiversité et les fonctions des écosystèmes telles que la filtration de l'eau, la rétention et la fourniture d'habitats.



Planification, gouvernance et engagement



Co-création et gestion communautaires : approches et pratiques de projet qui s'appuient sur la collaboration, le sentiment d'appartenance et l'appropriation communautaire afin de garantir la durabilité et la pertinence à long terme des solutions li es à l'eau.



Modèles de gouvernance publique-priv e et multiniveaux : initiatives dans le domaine de l'eau fondées sur la collaboration entre les autorités publiques, les acteurs privés, les communautés locales et d'autres parties prenantes clés, à différents niveaux de gouvernance, afin de favoriser une gestion de l'eau int gr e et coordonn e.

Lieux des études de cas





Chapitre 1 : Systèmes décentralisés, locaux et participatifs

VILLE DE SUMIDA, TOKYO, JAPAN



Récupération et réutilisation des eaux de pluie



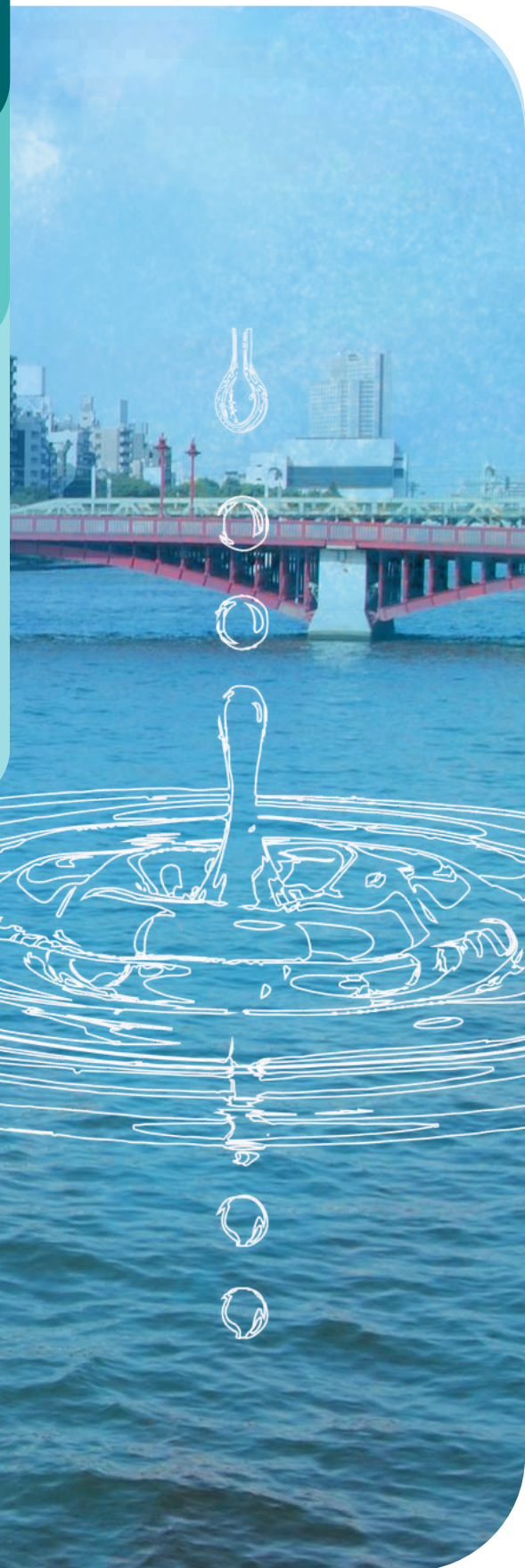
Gestion des eaux pluviales et atténuation des inondations



Recharge des nappes phréatiques



Co-création et gestion communautaires



Aperçu de la ville

Population : 286,852 habitants (2024)

Climat : climat subtropical humide (Köppen Cfa)

Précipitations : 1,440 mm/an (élevées)

Typologie : zone urbaine densément peuplée

Risques liés à l'eau :

- **Inondations** dues à la faible altitude, au débordement des rivières et aux vagues de tempête, aggravées par une urbanisation dense et une faible perméabilité de surface, en particulier pendant les typhons.
- **Pénuries d'eau** pendant les périodes de faibles précipitations en raison de la dépendance aux barrages en amont.



Présentation

Nom de l'initiative : Initiative d'utilisation des eaux pluviales de la ville de Sumida

Lieu : ville de Sumida, Tokyo, Japon

Période : 1982-aujourd'hui

Type d'initiative : Collecte et réutilisation des eaux pluviales, Gestion des eaux pluviales et atténuation des inondations, Co-crédation communautaire et gestion participative

Échelle de l'initiative : Quartier/district

Responsable principal du projet : Municipalité de Sumida

Objectif du projet : Renforcer la résilience urbaine de la ville de Sumida grâce à la collecte des eaux de pluie et à une gestion durable de l'eau afin de réduire les risques d'inondation et la dépendance vis-à-vis des sources d'eau externes.

Principales interventions :

- **Infrastructures publiques** : Systèmes de collecte des eaux de pluie (SCEP) installés dans 49 bâtiments publics (depuis 2024), avec des exemples notables :
 - Le stade Ryogoku Kokugikan Sumo collecte les eaux de pluie depuis un toit de 8 400 m² dans une citerne souterraine de 1 000 m³ utilisée pour les chasses d'eau des toilettes et la climatisation.
 - La mairie de Sumida recueille chaque année 1 500 m³ d'eau de pluie provenant d'un toit de 5 035 m² pour des usages non potables, notamment le lavage de véhicules.
- **Installations privées** : processus subventionnés et réglementés pour l'installation de SCEP dans plus de 415 bâtiments privés (en 2024), dont le Tokyo Skytree (réservoir d'une capacité de 1 800 tonnes, alimenté à partir d'un bassin hydrographique de 3,6 hectares).

- **Installations communautaires** : installations communautaires simples de systèmes de collecte des eaux de pluie (« Rojison ») installées dans 20 endroits, d'une capacité totale de 246 m³, utilisés pour les besoins quotidiens, la lutte contre les incendies et l'approvisionnement en eau potable en cas d'urgence (depuis 2024).
- **Trottoirs perméables** pour favoriser la recharge des nappes phréatiques.
- **Toitures végétalisées sur les bâtiments publics** pour gérer les eaux de pluie, améliorer l'isolation, préserver la biodiversité et réduire l'effet d'îlot de chaleur urbain.

Principaux résultats :

- **Amélioration de la résilience aux inondations** : le débit de pointe a été réduit de 15 % grâce au SCEP, à la rétention d'eau et au stockage.
- **Approvisionnement local en eau** : plus de 10 000 m³ d'eau de pluie sont collectés et utilisés chaque année dans la ville de Sumida, ce qui permet de réduire les coûts d'approvisionnement en eau et la dépendance à l'égard des grandes infrastructures hydrauliques.
- **Amélioration de la préparation pour faire face aux catastrophes** : des installations telles que « Rojison » garantissent l'accès à l'eau en cas d'urgence.
- **Avantages environnementaux urbains** : l'ajout d'espaces verts a contribué à réduire les températures moyennes.
- **Restauration du cycle urbain de l'eau** : les surfaces perméables ont permis d'augmenter les taux de recharge des nappes phréatiques.

Coût :

- **Installation communautaire « Rojison » (y compris réservoir d'eau et pompe manuelle)** : 2 à 9 millions de yens (12 175 à 55 235 euros) (2019).
 - **Réservoir d'eau de pluie (ménages/installations publiques)** : jusqu'à 100 000 JPY (613 EUR) par réservoir de 200 litres, installation comprise (2019).
-

Projet

Contexte du projet

La ville de Sumida, située à l'est de Tokyo, a longtemps été confrontée à des pénuries d'eau et à des risques d'inondation en raison de son urbanisation dense et de sa faible altitude. En 1981, des inondations urbaines ont provoqué des dégâts catastrophiques dans la région, provoquant d'importants dégâts matériels et privant les habitants d'eau potable pendant plusieurs semaines. Cela a incité le directeur des affaires urbaines de la ville à proposer l'installation d'un système décentralisé de stockage des eaux pluviales sous les bâtiments, fonctionnant comme de véritables « mini-barrages ». Ces systèmes décentralisés visaient à renforcer la résilience locale face aux inondations, à réduire la dépendance vis-à-vis des sources d'eau externes et à éviter l'installation à grande échelle d'infrastructures grises coûteuses et controversées.

Description du projet

Lancée en 1982, l'initiative de la ville de Sumida pour l'utilisation des eaux pluviales avait pour objectif de relever le double défi de la pénurie d'eau et des inondations grâce à des SCEP dans les bâtiments publics et privés. Cette initiative a débuté avec le stade Ryogoku Kokugikan Sumo, qui a intégré un système de collecte des eaux de pluie dans ses infrastructures. Ce dispositif a rapidement été étendu à d'autres bâtiments publics, dont l'Hôtel de ville de Sumida. Ces systèmes collectent les eaux de pluie à des fins non potables, telles que la chasse d'eau des toilettes et le lavage des véhicules.

Afin d'encourager l'adoption de ces systèmes dans le secteur privé, la ville a mis en place en 1995 des subventions et des réglementations pour l'installation de systèmes de récupération des eaux de pluie dans les nouveaux bâtiments. Depuis 1988, elle promeut également les installations communautaires « Rojison », équipées de pompes manuelles pour un usage quotidien et en cas d'urgence. Des mesures complémentaires, telles que les toits végétalisés obligatoires sur les bâtiments publics et des revêtements perméables sur les trottoirs, ont été mises en place afin de renforcer la résilience aux inondations, d'améliorer la biodiversité urbaine et de contribuer à atténuer l'effet d'îlot de chaleur urbain.

Grâce à cette approche intégrée, la ville de Sumida est devenue un modèle de gestion circulaire et résiliente de l'eau, ses stratégies étant reproduites dans d'autres quartiers de Tokyo et dans des régions du monde confrontées au stress hydrique.

Solutions circulaires et résilientes

- **SCEP décentralisés** : la ville de Sumida a élaboré des directives techniques afin de promouvoir l'adoption généralisée de SCEP standardisés et prêts à l'emploi. Ceux-ci comprennent des systèmes de collecte des eaux de pluie sur les toits, des infrastructures de transport, des systèmes de filtration de base (filets, paniers ou bacs de sédimentation), des réservoirs de stockage souterrains, ainsi que des composants de plomberie et de pompage.
- **Systèmes communautaires « Rojison »** : construits et entretenus en étroite collaboration avec les communautés locales, ces systèmes collectent l'eau de pluie des toits et la stockent sous terre (figure 1). L'eau est accessible via des pompes manuelles, et certaines installations comprennent un système de filtration afin de rendre l'eau potable en cas d'urgence.
- **Chaussées perméables** : les trottoirs ont été recouverts avec des matériaux perméables afin de faciliter la recharge des nappes phréatiques et réduire le ruissellement de surface.

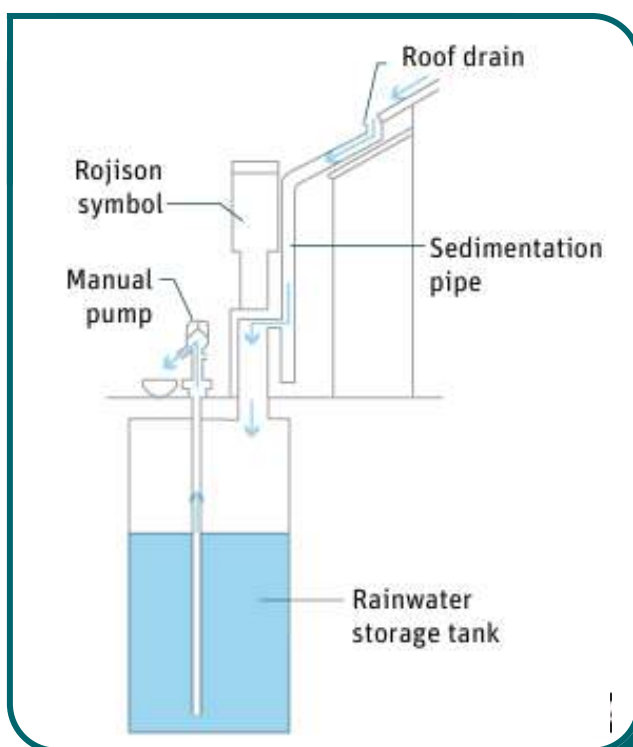


Figure 1. Schéma en coupe d'un « Rojison »
Source: [World Bank \(2019\)](#).

Calendrier de planification et de mise en œuvre des politiques

1995

Introduction du système de subventions pour la promotion de l'utilisation de l'eau de pluie, soutenant l'installation des systèmes de collecte des eaux de pluie dans les bâtiments privés.



2006

Promulgation de l'ordonnance environnementale fondamentale de Sumida, qui identifie l'utilisation de l'eau de pluie comme étant une action prioritaire et qui définit le rôle des entreprises et des citoyens dans sa mise en œuvre.

2008

Promulgation de l'Ordonnance sur les appartements et les copropriétés, fournissant des recommandations pour les systèmes de récupération des eaux de pluie privés. En vertu de cette ordonnance, les bâtiments répondant aux critères suivants sont soumis à des exigences spécifiques :

	Bâtiments non concernés : < 1 000 m ² , < 15 unités ou < 5 étages	Bâtiments concernés : ≥ 1 000 m ² , ≥ 15 logements, ≥ 5 étages
Site < 500 m ²	Aucune exigence spécifique	✓ Chaussée perméable requise
Site ≥ 500 m ²	✓ Chaussée perméable requise	✓ Chaussée perméable requise ✓ Récupération des eaux pluviales requise

2016

Lancement du Deuxième plan de co-crédation environnementale de Sumida (2016-2025), définissant des politiques globales visant à améliorer le stockage et l'utilisation des eaux pluviales afin de réduire les inondations urbaines et d'améliorer la gestion des ressources en eau.



1995

Élaboration de normes d'installation et de directives techniques par la ville de Sumida.

2003

Adoption d'une réglementation imposant l'installation de systèmes de collecte d'eau de pluie dans tout nouveau bâtiment d'une superficie supérieure à 10 000 m².

2007

Adoption du Premier plan de co-crédation environnementale de Sumida fondé sur l'Ordonnance environnementale, établissant des objectifs municipaux de collecte collective des eaux de pluie (il s'agit de la politique environnementale la plus ambitieuse de Sumida).

2009

Désignation de la ville de Sumida comme « District environnemental » faisant de l'utilisation des eaux pluviales un élément central de sa stratégie environnementale urbaine.

2011

Mise en œuvre du Plan fondamental pour la verdure de la ville de Sumida, intégrant des politiques de verdissement inspirées de la culture traditionnelle locale, telles que la végétalisation des ruelles étroites et l'intégration de carillons de ruelles et de carillons d'eau utilisant l'eau de pluie



2022

Révision intermédiaire du Deuxième plan de co-crédation environnementale de Sumida, réaffirmant la promotion de l'utilisation des eaux de pluie comme projet stratégique clé pour faire progresser un environnement urbain durable.

Impacts climatiques et environnementaux

Réduction des émissions de gaz à effet de serre : les systèmes locaux de collecte des eaux de pluie ont considérablement réduit l'empreinte carbone liée à l'approvisionnement en eau en éliminant le besoin de transporter l'eau sur de longues distances, ce qui consomme beaucoup d'énergie, et de réaliser des projets d'infrastructure à grande échelle. En collectant 10 000 m³ d'eau de pluie par an, Sumida peut réduire ses émissions de CO₂ de 2,6 tonnes chaque année.

Adaptation et résilience : L'installation de SCEP, de toitures végétalisées et de trottoirs perméables a renforcé la capacité de la ville à gérer les eaux pluviales, prévenant ainsi les inondations urbaines. Ces systèmes garantissent également l'accès à de l'eau non potable en cas de catastrophe ou de sécheresse. De plus, les infrastructures vertes contribuent à atténuer l'effet d'îlot de chaleur urbain.

Biodiversité : des études montrent que les toitures végétalisées de Sumida ont enrichi la biodiversité locale, favorisant même la réapparition d'espèces rares.

Autres avantages environnementaux :

- Amélioration de la recharge des nappes phréatiques grâce à des surfaces perméables.
- Réduction du ruissellement de surface, ce qui diminue les concentrations de polluants dans les plans d'eau locaux.

Financement et subventions

- Installations du secteur public** : le budget municipal finance l'installation et l'entretien de SCEP dans les bâtiments publics.
- Installations du secteur privé** : la municipalité offre des subventions et des mécanismes de cofinancement pour l'installation de SCEP dans les bâtiments privés. Ceux-ci peuvent couvrir jusqu'à 1 million de yens (environ 6 200 euros) ou 50 % du coût total de l'installation. En 2022, un total de 36,8 millions de yens de subventions a été versé pour un investissement total dans les installations privées estimé à 72,5 millions de yens (451 000 euros).
- Installations communautaires** : les coûts et les subventions des systèmes « Rojison » – installés, exploités et entretenus par les résidents du quartier et des organisations à but non lucratif – sont présentés ci-dessous :

Type de réservoir	Description	Montant de la subvention	Maximum
Réservoir de stockage souterrain	La fosse souterraine sert de réservoir de stockage d'eau de pluie pour les grands bâtiments, les copropriétés, etc. L'eau stockée est principalement utilisée pour le lavage, les toilettes et l'arrosage des plantes.	Montant de la subvention 1 m ³ : 40 000 yens (363 dollars américains) multiplié par la capacité de stockage effective (m ³)	Jusqu'à 1 million de yens (US\$90,909)
Réservoir de stockage de taille moyenne	Réservoir d'une capacité de stockage d'au moins 1 m ³ . L'eau stockée est principalement utilisée pour le lavage, les toilettes et l'arrosage des plantes	Réservoirs en plastique renforcé de fibres (FRP), en acier inoxydable ou en béton : montant de la subvention par mètre cube 120 000 yens (1 090 dollars américains) multiplié par la capacité de stockage effective (m ³) Réservoirs en polyéthylène haute densité : montant de la subvention par mètre cube 45 000 yens (409 dollars américains) multiplié par la capacité de stockage effective (m ³)	Jusqu'à 300 000 yens (US\$2,727)
Petit réservoir de stockage	Réservoir d'une capacité inférieure à 1 m ³ . L'eau stockée est principalement utilisée pour arroser les plantes.	50 % du prix du réservoir d'eau de pluie, y compris les coûts de construction	Jusqu'à 40 000 yens(US\$363)

- **Analyse coûts-avantages :**

- La majorité des installations sont rentabilisées en moins de 10 ans grâce aux économies réalisées sur les factures d'eau municipales.
- Parmi les autres avantages économiques, on peut citer la réduction des coûts liés aux dégâts causés par les inondations et la diminution de la pression sur les infrastructures publiques d'approvisionnement en eau.

Engagement des parties prenantes et inclusion sociale

- **Participation communautaire grâce aux systèmes « Rojison » :** Les 20 installations « Rojison » ont été mises en place avec la participation active des habitants, qui sont également responsables de leur entretien. Ces systèmes renforcent la résilience communautaire et fournissent des infrastructures pratiques.
- **Collaboration avec les ONG et le secteur privé :** l'organisation à but non lucratif People for Rainwater, fondée en 1995, assure la liaison entre les autorités locales, les habitants et le secteur privé, en encourageant l'utilisation de l'eau de pluie et en conseillant les ménages lors de l'installation de SCEP. L'Association des entreprises pour l'utilisation des eaux pluviales (Association of Businesses for Rainwater Utilization), fondée en 2001, collabore avec des architectes et des fabricants afin de développer des systèmes standardisés et abordables.
- **Initiatives de mise en réseau et de sensibilisation :** en 1996, la ville de Sumida a cofondé le Réseau des municipalités pour l'utilisation de l'eau de pluie (Liaison Association of Municipalities in Charge of Rainwater Utilization), un réseau de plus de 125 municipalités qui promeuvent la collecte des eaux de pluie dans tout le Japon. La ville a également organisé des événements sur ce thème, notamment les Conférences internationales sur l'eau de pluie en 1994 et 2005. En outre, elle mène de multiples initiatives de sensibilisation, notamment des activités éducatives dans les écoles locales et au Musée de l'eau de pluie de Sumida.

Facteurs de réussite



Valeurs : Reconnaissance de l'eau comme une ressource précieuse à collecter, en mettant l'accent sur la décentralisation et l'appropriation communautaire des installations de collecte des eaux de pluie. Les programmes éducatifs renforcent la sensibilisation sur l'importance de la collecte des eaux de pluie.



Connexions:

1. **Connexions physiques** : les réseaux locaux de captage, de stockage et de distribution de l'eau ont créé un système d'infrastructure cohérent qui soutient la collecte des eaux de pluie dans toute la ville de Sumida.
2. **Connexions sociales** : le succès de l'initiative repose sur le partage des connaissances et la création de liens communautaires, notamment grâce aux actions suivantes :
 - a. Autonomisation des communautés locales grâce à leur participation à la gestion et à l'entretien des SCEP.
 - b. Encourager la collaboration entre les différents secteurs, notamment les pouvoirs publics, les ONG et le secteur privé, afin de promouvoir des pratiques durables en matière d'eau.
 - c. Création de plateformes d'apprentissage continu et la sensibilisation aux avantages de la collecte des eaux de pluie.



Investissements : les installations de collecte des eaux de pluie sont rentables et permettent de réaliser des économies suffisantes pour les rendre financièrement viables. Les subventions contribuent à couvrir les coûts initiaux élevés pour les secteurs public et privé.

Réplicabilité

Lancée à Tokyo en 1982, l'initiative de la ville de Sumida pour l'utilisation des eaux pluviales est un exemple de modèle rentable et évolutif pour la résilience urbaine en matière d'eau. Depuis plus de quatre décennies, elle démontre comment la collecte décentralisée des eaux de pluie, intégrée à des infrastructures vertes et à une forte mobilisation citoyenne, peut atténuer efficacement les risques d'inondation et réduire la dépendance à l'égard des sources externes d'eau. Grâce à de faibles besoins d'entretien, à son intégration dans les réglementations concernant la construction et une participation active des secteurs public et privé, le modèle de Sumida offre une solution reproductible pour les villes confrontées à des défis similaires.

Au Maroc, où les zones urbaines font face à une pluviométrie faible et irrégulière, l'adoption de l'approche de Sumida pourrait améliorer la sécurité hydrique et la résilience climatique. L'installation de systèmes de collecte des eaux de pluie dans les bâtiments publics et privés, associée à des surfaces perméables et à des installations de stockage gérées par la communauté, pourrait offrir une valorisation optimale des pluies. Ces mesures s'inscrivent dans les stratégies nationales du Maroc en matière de gestion durable de l'eau et peuvent être adaptées aux contextes locaux, offrant ainsi un cadre pratique et éprouvé pour lutter contre la pénurie d'eau et les inondations urbaines.



Bibliographie

1. **Aleksejeva, J., Vulgaris, G. & Gasparatos, A. (2022).** *Assessing the potential of strategic green roof implementation for green infrastructure: Insights from Sumida ward [Évaluation du potentiel de la mise en œuvre stratégique de toitures végétalisées pour les infrastructures vertes : aperçu du quartier de Sumida]*, à Tokyo. *Urban Forestry & Urban Greening*, Volume 74, août 2022, <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127632>.
2. **Bureau of Waterworks, Tokyo Metropolitan Government (2023).** *CO2 Calculator*. <https://www.waterworks.metro.tokyo.lg.jp/kurashi/co2>.
3. **Centre for Science and Environment** (Centre pour la science et l'environnement) (n.d.). *Rainwater harvesting in Tokyo, Japan [Collecte des eaux de pluie à Tokyo, Japon]*. <http://www.rainwaterharvesting.org/international/tokyo.htm>.
4. **Down To Earth** (15 octobre 1998). *The value of a raindrop [La valeur d'une goutte de pluie]*. <https://www.downtoearth.org.in/environment/the-value-of-a-raindrop-22484>.
5. **Foreign Press Center Japan (Centre pour la presse étrangère au Japon)** (23 août 2013). *Visite de presse : Tokyo se prépare à l'éventualité d'un tremblement de terre directement sous la zone métropolitaine de Tokyo*. https://fpcj.jp/en/assistance-en/tours_notice-en/p=6242/.
6. **International Council for Local Environmental Initiatives (ICLEI) (1997).** *Success Stories from Asia and the Pacific: Rainwater Storage and Utilization*. Earth Summit +5: Special Session of the General Assembly to Review and Appraise the Implementation of Agenda 21. [Réussites en Asie et dans le Pacifique : stockage et utilisation des eaux de pluie. Sommet de la Terre +5 : session extraordinaire de l'Assemblée générale consacrée à l'examen et à l'évaluation de la mise en œuvre du Programme 21] <https://www.un.org/esa/earthsummit/w-sumida.htm>.
7. **Iwata, T. & Shimoda, R. (2024).** *Spontaneous vegetation in mandatory green roofs at public educational facilities in Sumida-ku [Végétation spontanée sur les toitures vertes obligatoires des établissements d'enseignement publics de Sumida-ku]*, Tokyo. *Landscape Research Japan Online*, 17:38-46, mai 2024. <https://doi.org/10.5632/jilaonline.17.38>.
8. **Japan for Sustainability (février 2003).** *Promoting Rainwater Utilization Promouvoir l'utilisation de l'eau de pluie [Bulletin d'information JFS n° 6]*. https://www.japanfs.org/en/news/archives/news_id027756.html.
9. **Japan Meteorological Agency (Agence météorologique japonaise) (2025).** Total mensuel des précipitations (mm). https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/view/monthly_s3_en.php?block_no=47649&view=13.
10. **Ministère japonais de l'Environnement (2000).** *Promotion of rainwater utilization in Sumida Ward [Promotion de l'utilisation de l'eau de pluie dans l'arrondissement de Sumida]*. Dans *G8 Environmental Futures Forum, Domestic Best Practices Addressing Climate Change [Forum sur l'avenir environnemental, Meilleures pratiques nationales en matière de lutte contre le changement climatique]* (Japon n° 12). https://www.env.go.jp/earth/g8_2000/forum/g8bp/detail/japan/japan12.html.
11. **Nafisah, A. & Matsushita, J. (2009).** *Comparative Study on rainwater harvesting practice between two metropolises: (Étude comparative sur les pratiques de collecte des eaux de pluie entre deux métropoles) : Tokyo (Sumida-Ku) et Selangor, Malaisie*. Shibaura Institute of Technology (Institut de technologie de Shibaura), 14th International Rainwater Catchment Systems Conferences (14e Conférence internationale sur les systèmes de collecte des eaux de pluie). https://ssms.jp/img/files/2019/04/sms10_117.pdf.
12. **Quadros, C. S. (2010).** *Rainwater Harvesting Case Study: FCT/UNL Campus. <(Étude de cas sur la collecte des eaux de pluie : Campus FCT/UNL.) (Mémoire de master)*. Université Nova de Lisbonne. <https://run.unl.pt/handle/10362/4799>.

13. **Samadar, S. & Okada, N. (2007).** *The process of community's coping capacity development in the Sumida Ward, Tokyo: A case of rainfall harvesting movement.* [Le processus de développement de la capacité d'adaptation de la communauté dans le quartier de Sumida, à Tokyo : le cas du mouvement de collecte des eaux de pluie]. *Annales de l'Institut de recherche sur la prévention des catastrophes, Université de Kyoto*, n° 50B. <https://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/nenpo/no50/ronbunB/a50b0p21.pdf>.
14. **Strauss, G. (13 novembre 2016).** *Reining in the rain [Maîtriser la pluie]* National Geographic. <https://www.nationalgeographic.com/science/article/makoto-murase-explorer-moments-rain-water-conservation-Japan>.
15. **Ville de Sumida (2005).** *Sumida Basic Environmental Ordinance.* [Ordonnance fondamentale sur l'environnement de Sumida.] https://www.city.sumida.lg.jp/reiki_int/reiki_honbun/g108RG00001286.html.
16. **Ville de Sumida (2024).** *History of Rainwater Utilization.* [Histoire de l'utilisation de l'eau de pluie]. https://www.city.sumida.lg.jp/kurashi/kankyou_hozen/amamizu/riyou/amamizu_rekisi.html?SLANG=ja&TLANG=en&XMODE=0&XPARAM=query,&XCHARSET=UTF-8&XPORG=&XJSID=0.
17. **Ville de Sumida (2024).** *The Second Co-creation Plan for Sumida Environment* [Deuxième plan de co-création pour l'environnement de Sumida] (révision provisoire). https://www.city.sumida.lg.jp/kurashi/kankyou_hozen/keikaku/keikaku_kankyou/kyousoukaitei.html?SLANG=ja&TLANG=en&XMODE=0&XCHARSET=utf-8&XJSID=0.
18. **Sumida City Environmental Policy Division (Division de la politique environnementale de la ville de Sumida) (2024).** *Sumida Rainwater Utilization Guide.* (Guide d'utilisation des eaux pluviales de Sumida.) https://www.city.sumida.lg.jp/kurashi/kankyou_hozen/amamizu/whats_amamizu/index.files/amamizu2.pdf.
19. **Sumida City Planning and Economic Office (Bureau de l'urbanisme et de l'économie de la ville de Sumida) (1995).** *Sumida Ward Rainwater Utilization Promotion Guidelines.* [Directives pour la promotion de l'utilisation de l'eau de pluie dans l'arrondissement de Sumida.] https://www.city.sumida.lg.jp/reiki_int/reiki_honbun/g108RG00000814.html#e000000026.
20. **The Asahi Shimbun (novembre 2020).** *Sato Project: Sowing seeds of rainwater harvesting globally.* [Projet Sato : semer les graines de la collecte des eaux de pluie à l'échelle mondiale.] The Asahi Shimbun. <https://www.rolex.org/partnerships/asahi/makoto-murase>.
21. **Banque mondiale (2019).** *Learning from Japan's Experience in Integrated Urban Flood Risk Management: A Series of Knowledge Notes—Appendix: Case Studies in Integrated Urban Flood Risk Management in Japan.* [Tirer les leçons de l'expérience japonaise en matière de gestion intégrée des risques d'inondation urbaine : une série de notes d'information — Annexe : études de cas sur la gestion intégrée des risques d'inondation urbaine au Japon.] Banque mondiale, Washington, D.C. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/915131601460271575/pdf/Appendix-Case-Studies-in-Integrated-Urban-Flood-Risk-Management-in-Japan.pdf>.
22. **Yamada, T. (2014).** *Rain Water Harvesting and Subject of Sustainable Community Building for Disaster Mitigation: The Process of 'Rojison' Rain Water Harvesting System Building And Subject of Sustainable Management for It.* Kyoto Graduate School of Global Environmental Studies. [La collecte des eaux de pluie et la question de la construction de communautés durables pour l'atténuation des catastrophes : le processus de mise en place du système de collecte des eaux de pluie « Rojison » et la question de sa gestion durable. École supérieure d'études environnementales mondiales de Kyoto]. <https://www2.ges.kyoto-u.ac.jp/wp-content/uploads/2014/04/427.pdf>.
23. **Zhang, L. & Li, X. (2022).** *Assessing the potential of strategic green roof implementation for urban sustainability.* [Évaluation du potentiel de la mise en œuvre stratégique de toitures végétalisées pour la durabilité urbaine.], *Urban Forestry & Urban Greening*, volume 70. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127460>.



Chapitre 1 : Systèmes décentralisés, locaux et participatifs

MUNICIPALITÉ MÉTROPOLITAINE D'ETHEKWINI, AFRIQUE DU SUD



Traitement et réutilisation décentralisés des eaux usées



Restauration des écosystèmes urbains et biodiversité



Co-création et gestion communautaires



Aperçu de la ville

Population : 4,239,901 millions (2022)

Climat : subtropical humide (Köppen Cfa)

Précipitations : 975 mm/an (modérées)

Risques liés à l'eau :

- **Inondations** dues à des bassins versants côtiers escarpés et à des ondes de tempête, avec un risque élevé de saturation des installations de traitement des eaux usées et de rejet d'eaux usées brutes dans la rivière Umbilo et d'autres cours d'eau urbains.
- **Débordements d'égouts** lors de tempêtes et de coupures de courant, entraînant le rejet d'effluents dans les rivières, les estuaires et les plages, ce qui entraîne un risque élevé de contamination par E. coli.
- **Pénurie d'eau** pendant les périodes de sécheresse, obligeant à mettre en place des restrictions d'urgence.
- **Maladies d'origine hydrique** : les habitants sont exposés à des épidémies de choléra, de diarrhée, de typhoïde et d'hépatite en raison de la détérioration des infrastructures sanitaires à la suite de graves inondations.



Présentation

Nom de l'initiative : Programme de système décentralisé de traitement des eaux usées (DEWATS)

Lieu : Newlands East, Durban, municipalité métropolitaine d'eThekwin, Afrique du Sud

Période : 2014-aujourd'hui

Type d'initiative :

- Traitement décentralisé et réutilisation des eaux usées
- Restauration des écosystèmes urbains et biodiversité
- Co-crédation et gestion communautaires

Échelle de l'initiative : Quartier/district

Développeurs du projet : eThekwin Water & Sanitation, Université du KwaZulu-Natal (UKZN), Bremen Overseas Research & Development Association (BORDA)

Objectif du projet : Déployer des stations d'épuration modulaires, fonctionnant par gravité et décentralisées pour 84 ménages (750 utilisateurs) dans les quartiers informels de Durban afin de renforcer la résilience hydrique, protéger la santé publique et les cours d'eau, et récupérer l'eau, l'énergie et les nutriments pour une gestion durable de l'eau en milieu urbain.

Principales interventions

Installation du DEWATS de Newlands-Mashu dans les quartiers informels et les projets de logement à Newlands East, eThekweni, à l'aide de processus naturels à faible consommation énergétique. Ces systèmes comprennent les éléments suivants :

- **Un système de traitement modulaire** capable de traiter environ 41 000 litres d'eaux usées domestiques par jour à l'aide de procédés simples et naturels. Sur d'autres sites, des DEWATS similaires peuvent traiter jusqu'à 1,5 million de litres par jour.
- **Une infrastructure fonctionnant par gravité** permettant un fonctionnement hors réseau sans pompes ni alimentation électrique externe, assurant ainsi la continuité en cas de coupures de courant.
- **Un système de captage du biogaz** intégré aux étapes de décantation primaire et de traitement anaérobie permettant une production locale d'énergie, réduisant ainsi la dépendance au réseau électrique ou aux combustibles fossiles.
- **La réutilisation des effluents** en détournant les eaux usées traitées vers des systèmes d'irrigation goutte à goutte sur site pour les cultures vivrières telles que les bananes et les taros.
- **Le compostage des écumes et des boues** à l'aide de lits de séchage, produisant un compost riche en nutriments réutilisé dans l'agriculture et l'aménagement paysager locaux.

Principaux résultats

- **Traitement et recyclage des eaux usées** : jusqu'à 41 000 litres d'eaux usées domestiques sont traités quotidiennement ; puis réutilisées à des fins non potables, telles que l'irrigation agricole.
- **Amélioration de la qualité de l'eau, de la santé environnementale et de la biodiversité dans les cours d'eau voisins** : comparées aux effluents non traités, les eaux rejetées par le DEWATS contiennent 85 % de polluants organiques et 75 % de matières solides en suspension en moins, ce qui réduit le risque d'eutrophisation et améliore la biodiversité aquatique dans les cours d'eau adjacents, tels que la rivière Umgeni.
- **Amélioration de la santé publique** : la réduction des déversements d'eaux usées brutes lors des inondations a permis de réduire le nombre de cas de contamination par *E. coli*. La surveillance à long terme du site de démonstration DEWATS de Newlands-Mashu montre une réduction de 98,4 % de la présence d'*E. coli* entre l'effluent brut et l'effluent traité des zones humides.
- **Sécurité alimentaire** : l'utilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation favorise la productivité agricole, contribuant ainsi à la sécurité alimentaire de la communauté.
- **Renforcement de la résilience hydrique** : sur d'autres sites (par exemple, l'École internationale de Tanganyika à Dar es Salaam, en Tanzanie), les DEWATS améliorent la résilience hydrique pendant les sécheresses et les crises en permettant la réutilisation des eaux usées traitées à des fins non potables, telles que la chasse d'eau des toilettes, garantissant ainsi un approvisionnement fiable et sûr en eau pour les besoins essentiels.

Coût du projet

Coût approximatif d'un système d'assainissement domestique pour environ 84 ménages (750 utilisateurs) :

- **Investissement** : environ 5 millions de ZAR (environ 240 000 EUR en 2025 ou 715 000 EUR en 2010)
- **Exploitation et entretien (E&E)** : environ 30 000 ZAR (environ 1 400 EUR) par an (y compris deux techniciens à temps plein sur le site, l'équipement de protection individuelle et le matériel d'élimination des écumes).

Projet

Contexte du projet

La municipalité métropolitaine d'eThekweni, située sur la côte est de l'Afrique du Sud, est la troisième plus grande municipalité du pays, avec environ 4,24 millions d'habitants. Son relief côtier escarpé, sujet aux inondations, est exposé à des risques hydrologiques croissants, notamment la sécheresse et les dégâts causés par les tempêtes. Pendant la sécheresse de 2014-2016, des limiteurs de débit ont été installés sur plus d'un demi-million de raccordements d'eau afin de gérer la demande. En 2022, de graves inondations ont endommagé les routes et les infrastructures de traitement des eaux usées, provoquant des déversements d'eaux usées dans la rivière Umbilo et la fermeture prolongée des plages en raison de niveaux dangereux d'E. coli. Ces crises répétées, combinées à l'urbanisation rapide et à l'expansion des quartiers informels, ont incité le service de l'eau et de l'assainissement d'eThekweni à explorer des approches plus résilientes et décentralisées de la gestion des eaux usées. L'une des solutions clés a été la mise en œuvre de systèmes décentralisés de traitement des eaux usées (DEWATS) à l'échelle des quartiers, une technologie développée par l'ONG allemande BORDA (Bremen Overseas Research & Development Association). Depuis son premier projet pilote en 1989, le système DEWATS est devenu une solution d'assainissement durable reconnue, avec plus de 2 700 unités installées dans le monde entier traitant chaque jour 57 000 m³ d'eaux usées. Il a été mis en œuvre avec succès dans diverses communautés de 16 pays d'Asie, d'Afrique et d'Amérique latine.

Description du projet

Mis en œuvre avec le soutien de BORDA en tant que facilitateur technique et consultant en processus, le système DEWATS repose sur des conceptions modulaires, décentralisées et fonctionnant par gravité qui combinent des réacteurs anaérobies, des réacteurs à chicanes et des zones humides artificielles. Ces systèmes fonctionnent sans électricité ni produits chimiques, renforçant ainsi la résilience urbaine tout en favorisant les principes de l'économie circulaire. En Afrique du Sud, la communauté de Newlands East d'eThekweni, accueille une installation de démonstration et de recherche DEWATS. Construite en 2010 et mise en service en 2014, celle-ci traite jusqu'à 41 000 litres d'eaux usées domestiques provenant de 84 ménages et 750 utilisateurs par jour. Les effluents traités sont réutilisés pour l'irrigation de cultures telles que la banane et le taro, renforçant ainsi la sécurité de l'approvisionnement en eau et à la production alimentaire locale.

Fort du succès de cette initiative et des résultats probants de cette technologie à l'échelle mondiale, plusieurs systèmes DEWATS ont été installés dans des toilettes publiques et des écoles et eThekweni prévoit désormais d'étendre l'initiative à l'ensemble de la ville, avec l'installation d'un DEWATS dans le cadre de la modernisation du quartier informel de Banana City. Le potentiel de ce modèle à fournir des solutions d'assainissement résilientes et décentralisées offre des perspectives intéressantes pour les villes marocaines.

Solutions circulaires et résilientes

- **Conception modulaire à plusieurs étapes de traitement** : l'unité DEWATS de Newlands-Mashu comprend un bassin de décantation à deux chambres, trois réacteurs anaérobies à chicanes parallèles, deux filtres anaérobies et un système hybride de zones humides (figure 1). Tout d'abord, un flux vertical élimine l'ammoniac, puis un flux horizontal affine le traitement des eaux usées.
- **Réutilisation des effluents pour l'irrigation** : les eaux usées traitées sont utilisées dans l'irrigation goutte à goutte automatisée des cultures vivrières, réduisant la demande en eau douce et en engrais commerciaux tout en améliorant la sécurité alimentaire.
- **Captage du biogaz** : le biogaz riche en méthane produit lors de la digestion anaérobie peut être utilisé pour la cuisson ou le chauffage, créant ainsi une source locale d'énergie renouvelable et réduisant la dépendance au réseau, principalement alimenté par des combustibles fossiles.
- **Résilience aux inondations et à la sécheresse** : le traitement des eaux usées pour obtenir de l'eau propre réduit les risques pour la santé publique associés aux inondations, tout en améliorant la résilience face à la sécheresse en fournissant jusqu'à 41 000 litres d'eau non potable par jour pour l'usage domestique.
- **Conception modulaire et évolutive** : une unité DEWATS peut desservir 20 à 1 000 ménages et peut être agrandie progressivement. Cela limite son empreinte spatiale immédiate, permet d'augmenter la capacité à mesure que les quartiers informels se développent et favorise la résilience urbaine adaptative.

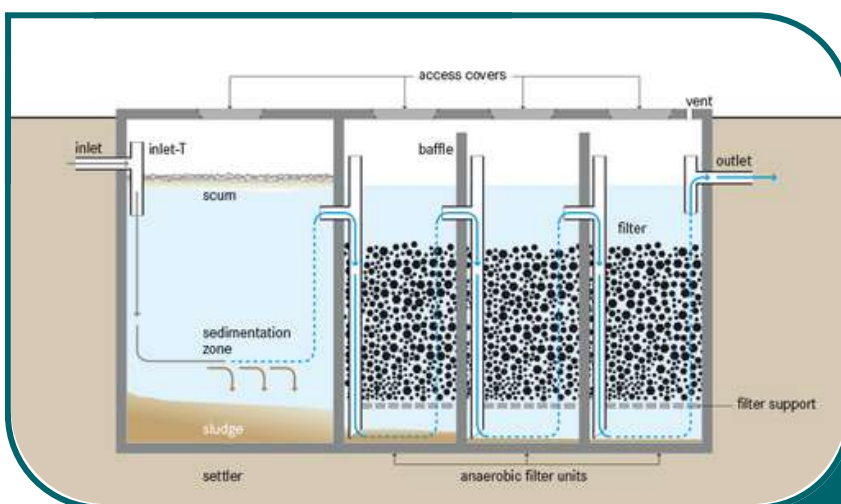


Figure 2: Système décentralisé de traitement des eaux usées.
Source: [BORDA \(2017\)](#).

Treatment modules fulfilling the DEWATS principles

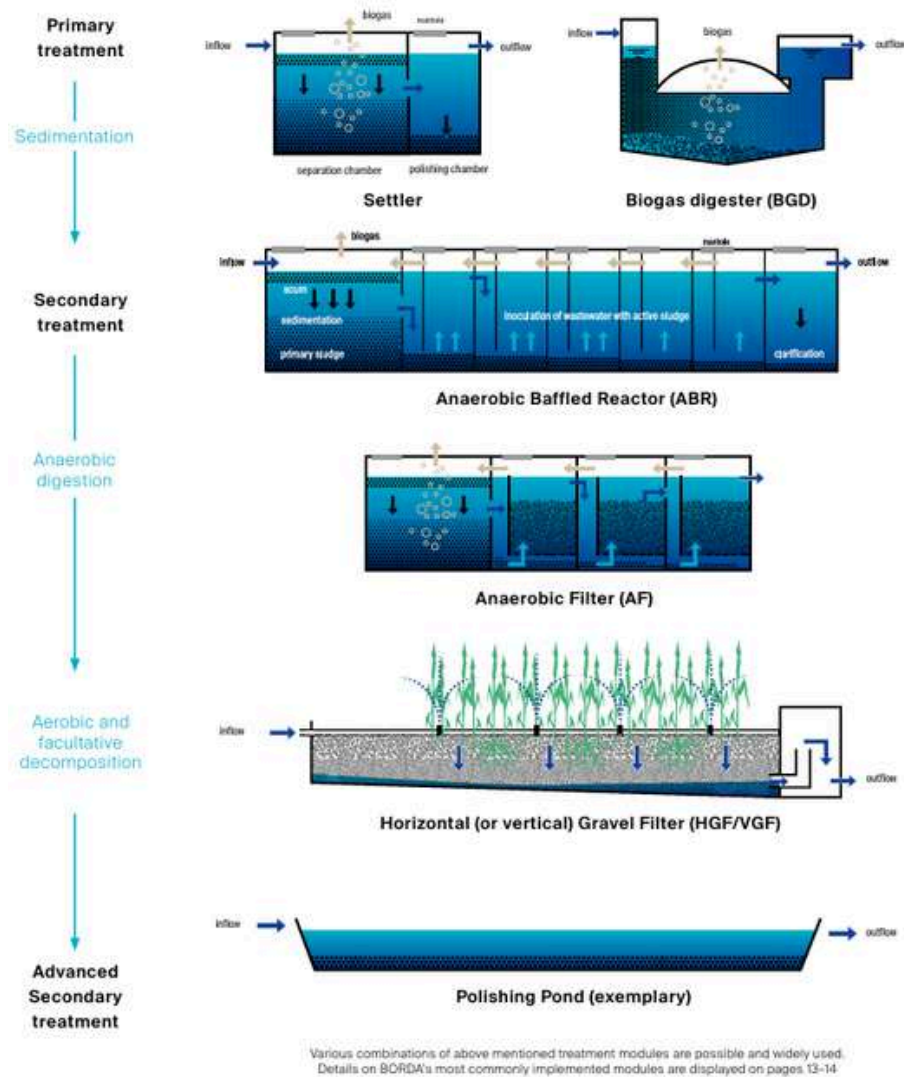


Figure 1: Schéma des principes et des modules de traitement DEWAT.
Source: [BORDA \(2017\)](#).

Chronologie de la planification et de la mise en œuvre des politiques

2010

La municipalité d'eThekweni commande, en partenariat avec BORDA et l'Université du KwaZulu-Natal (UKZN), l'évaluation d'un DEWATS comme projet -pilote à Newlands East afin d'évaluer la faisabilité de solutions d'assainissement décentralisées.



2014

Le DEWATS de Newlands-Mashu devient pleinement opérationnel.

2016

La politique nationale d'assainissement encourage l'utilisation de systèmes d'assainissement décentralisés en Afrique du Sud.

2023

Le plan de développement intégré d'eThekweni réaffirme l'engagement de la municipalité à explorer des solutions d'assainissement circulaires et décentralisées, telles que le DEWATS.

2021 & 2024

Signature de deux protocoles d'accord entre le Service de l'eau et de l'assainissement d'eThekweni et BORDA Afrique du Sud, pour le déploiement et la mise en œuvre du système DEWATS à l'échelle de la ville.



Impacts climatiques et environnementaux

Atténuation : Les installations DEWATS capturent le méthane issu des eaux usées pour la cuisson ou le chauffage. Elles fonctionnent sans électricité, ce qui réduit la demande en électricité du réseau et en combustibles fossiles et diminue les émissions de gaz à effet de serre (GES). Par rapport aux stations d'épuration centralisées classiques, les DEWATS génèrent nettement moins d'émissions de gaz à effet de serre grâce à leur faible consommation d'énergie et à leurs processus de traitement biologique plus simples. Cependant, le méthane émis lors des étapes de digestion anaérobie reste une source d'émission critique ; par conséquent, la capture et la combustion efficaces du méthane sous forme de biogaz sont essentielles pour tirer pleinement parti des avantages de cette technologie en matière d'atténuation.

Adaptation et résilience : les DEWATS fonctionnent entièrement par gravité, sans pompes ni alimentation électrique externe, garantissant un traitement ininterrompu en cas de coupures de courant, d'inondations ou d'autres perturbations. Leur conception décentralisée permet de traiter les eaux usées localement, réduisant ainsi la pression sur les infrastructures centralisées et évitant les débordements des égouts lors d'événements climatiques extrêmes, tels que les inondations.

Biodiversité : le DEWATS de Newlands-Mashu élimine 95 % des polluants organiques et 75 % des solides en suspension dans les eaux usées, réduisant ainsi les charges en nutriments et en sédiments rejetées dans les cours d'eau voisins, comme la rivière Umgeni, ce qui crée des écosystèmes plus sains et accroît la diversité des espèces aquatiques animales et végétales.

Financement et subventions

Structure des coûts :

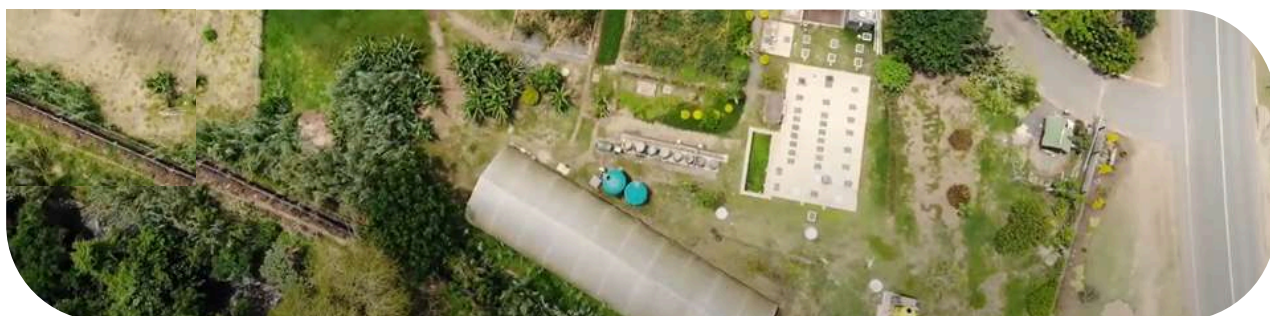
- **Investissement** : environ 5 millions de ZAR (environ 240 000 EUR en 2025 ou 715 000 EUR en 2010) .
- **Exploitation et maintenance** : environ 30 000 ZAR (1 430 EUR) par an (y compris deux techniciens à temps plein sur le site, les équipements de protection individuelle et le matériel d'élimination des écumes).

Sources et instruments de financement :

- **Investissement du secteur public** :
 - Le Service de l'eau et de l'assainissement d'eThekweni a financé les coûts de construction et d'équipement de l'usine de Newlands-Mashu.
 - BORDA, financé par des fonds philanthropiques et publics, a fourni la conception de l'usine DEWATS.
- **Investissement du secteur privé** : sur d'autres sites, BORDA a eu recours à des partenariats public-privé (PPP) pour la mise en œuvre du système DEWATS et collabore avec le secteur privé en concevant des modèles opérationnels, en formant des opérateurs et en apportant un soutien technique.
- **Société civile** : l'exploitation et la maintenance sont assurées par la communauté locale, avec des coûts minimes liés au remplacement des équipements.

Analyse coûts-avantages :

- **Réduction des coûts d'infrastructure** : L'élimination du besoin de réseaux d'égouts peut entraîner des économies considérables en termes d'investissement. En Afrique du Sud, ces coûts peuvent atteindre jusqu'à 25 millions de rands (1,25 million d'euros) par kilomètre.
- **Réduction de la consommation d'énergie** : les systèmes décentralisés réduisent la dépendance au système de pompage, très gourmand en énergie, ce qui se traduit par d'importantes économies d'énergie. Un modèle DEWATS mis en œuvre par O&M Solutions a permis de réduire les coûts énergétiques d'environ 45 % par rapport aux systèmes centralisés de traitement des eaux usées.
- **Économies d'eau** : les effluents traités peuvent être réutilisés à des fins non potables, telles que l'irrigation, réduisant l'utilisation d'eau douce et les coûts d'approvisionnement associés.
- **Récupération d'énergie** : le biogaz capté lors des étapes anaérobies réduit la demande en électricité provenant du réseau, ce qui diminue les dépenses énergétiques.
- **Résilience climatique et prévention des dommages** : la diminution de la vulnérabilité aux défaillances liées aux inondations réduit l'impact économique des phénomènes météorologiques extrêmes.
- **Amortissement** : grâce aux économies réalisées ci-dessus, les DEWATS domestiques peuvent amortir leurs coûts initiaux en 3 à 4 ans.



Engagement des parties prenantes et inclusion sociale

Participation et éducation de la communauté : à Newlands East, BORDA, UKZN et eThekweni ont activement impliqué la communauté locale grâce à une communication continue et à la formation des résidents locaux à l'utilisation et à la maintenance du système. Cela a permis de responsabiliser la communauté et de favoriser l'appropriation des infrastructures, garantissant ainsi leur durabilité à long terme.

Renforcement des capacités et emploi local : les DEWATS sont conçus dans une optique de mise en œuvre au niveau de la communauté. Les résidents locaux sont formés et employés pour la construction, l'exploitation et l'entretien des systèmes, développant les compétences techniques et favorisant l'inclusion sociale.

Partage des connaissances : le site de recherche de Newlands-Mashu, créé par BORDA en collaboration avec le Service de l'eau et de l'assainissement d'eThekweni et UKZN, sert de centre de démonstration et de recherche pour les DEWATS. Il soutient la formation pratique des chercheurs et des praticiens. L'échange de connaissances est encouragé par le biais d'ateliers, de séminaires et de présentations internationales organisés par BORDA et UKZN, contribuant ainsi à une plus large diffusion des meilleures pratiques en matière de DEWATS.

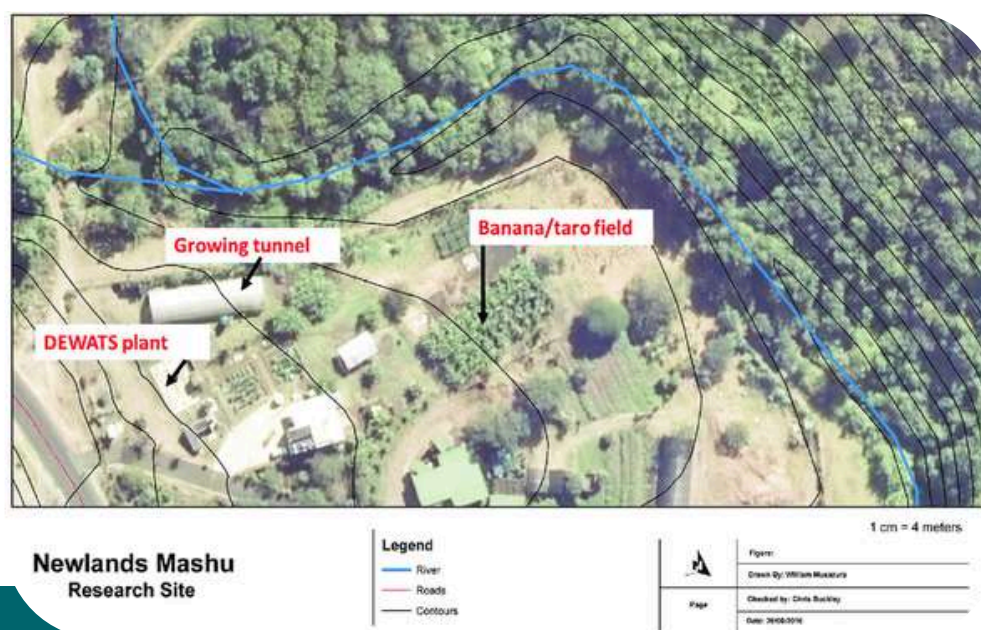


Figure 3: Carte du site pilote de Newlands-Mashu, montrant le DEWATS, le champ expérimental et la rivière Umgeni adjacente. Source: [Musazura et al. \(2018\)](#).

Facteurs de réussite



Valeurs:

1. Reconnaissance des eaux usées domestiques comme source d'eau, d'énergie et de nutriments, plutôt que comme un simple déchet à éliminer.
2. Prise de conscience des avantages des systèmes décentralisés à échelle humaine pour renforcer la résilience climatique.



Connexions:

1. Connexions physiques : les DEWATS offrent une solution modulaire hors réseau intégrant le traitement des eaux usées, leur réutilisation et la valorisation des ressources.
2. Connexions sociales : le succès de l'initiative repose sur le partage des connaissances et une participation active de la communauté :
 - a. La formation et la collaboration avec les résidents locaux permettent une gestion et une maintenance communautaire du système, renforçant un sentiment d'appropriation de l'infrastructure DEWATS.
 - b. Une communication régulière par le biais d'ateliers et de supports pédagogiques permet de diffuser la culture de la réutilisation des eaux usées et de la valorisation des ressources.
 - c. Un réseau mondial de chercheurs et de praticiens animé par BORDA soutient la mise en œuvre des DEWATS par le biais de forums, de publications universitaires et d'échanges techniques.



Investissements : les faibles coûts d'investissement et d'exploitation, combinés à une exploitation et une maintenance gérées par la communauté, créent un modèle économique viable et reproductible à grande échelle.

Répliquabilité

Le modèle DEWATS a démontré sa viabilité dans le monde entier, avec plus de 2 700 systèmes déployés dans diverses zones géographiques et climatiques, y compris dans des régions arides où l'eau est rare.. Ces systèmes décentralisés, modulaires et à faible consommation d'énergie assurent un traitement fiable des eaux usées sans alimentation électrique externe ni produits chimiques, ce qui les rend adaptés aux zones urbaines informelles et mal desservies. Le projet SANIMAS en Indonésie, dans le cadre duquel le gouvernement national a mis en place un programme DEWATS communautaire à grande échelle fournissant des services d'assainissement décentralisés aux zones urbaines à faibles revenus, est un autre exemple frappant de mise en œuvre réussie du DEWATS qui s'impose désormais comme modèle rentable et transposable à grande échelle pour la résilience urbaine en matière d'eau. Lancé en 2003 à titre expérimental par BORDA et WSP, une société de conseil canadienne, il a permis d'installer plus de 13 000 unités en 2019 (et 20 000 autres installations sont prévues) en collaboration avec les gouvernements locaux, les communautés et les programmes de financement nationaux. Le programme combinait des conceptions modulaires DEWATS avec la formation des opérateurs et la maintenance assurée par des organisations communautaires, devenant une référence en matière d'assainissement inclusif et durable en Asie du Sud-Est.

Au Maroc, où de nombreuses municipalités sont confrontées à des défis d'urbanisation rapide et de rareté de l'eau, et où celles-ci modernisent les quartiers informels grâce à l'initiative « Villes sans bidonvilles », l'adaptation du modèle DEWATS pourrait renforcer la sécurité de l'approvisionnement en eau et la résilience au changement climatique. Des villes comme Agadir et Rabat, en plein essor périurbain, qui mènent des initiatives actives d'amélioration des quartiers informels et d'extension de l'assainissement, pourraient bénéficier de systèmes modulaires et décentralisés de traitement des eaux usées dans les communautés mal desservies. En intégrant ces systèmes dans les réglementations de planification et de construction, en formant les opérateurs communautaires et mobilisant des financements mixtes, les villes peuvent adapter ce modèle éprouvé pour boucler les cycles de l'eau et des nutriments, protéger la santé publique et renforcer les capacités locales pour une gestion circulaire et durable des eaux usées.



Bibliographie

1. **Arumugam, P., Zuma, L., Mercer, S., Govender, L., Pocock, J., Brouckaert, C. J., & Gounden, T. (2023).** *The potential of decentralised wastewater treatment in urban and rural sanitation in South Africa: Lessons learnt from a demonstration-scale DEWATS within the eThekweni Municipality.* (Le potentiel du traitement décentralisé des eaux usées dans l'assainissement urbain et rural en Afrique du Sud : leçons tirées d'un projet pilote DEWATS à l'échelle de la municipalité d'eThekweni). *Water SA*, 49(1). <https://doi.org/10.17159/wsa/2023.v49.i1.3985>
2. **Bremen Overseas Research & Development Association (BORDA). (2017).** *DEWATS Inventory 2017: Statistics on decentralized wastewater treatment systems implementation 1989–2017 (Inventaire DEWATS 2017 : statistiques sur la mise en œuvre des systèmes décentralisés de traitement des eaux usées 1989-2017).* https://borda.org/wp-content/uploads/2023/06/DEWATS_Inventory_2017_web.pdf
3. **Bremen Overseas Research & Development Association (BORDA). (2017).** *Decentralized wastewater management & communal sanitation: A quick and effective tool to provide sustainable sanitation (Gestion décentralisée des eaux usées et assainissement communal : un outil rapide et efficace pour fournir un assainissement durable).* https://www.susana.org/_resources/documents/default/3-3154-7-1523881373.pdf
4. **Bremen Overseas Research & Development Association (BORDA). (2018).** *Rapport annuel 2017-2018.* <https://borda.org/wp-content/uploads/2023/11/2018-EN.pdf>
5. **Buell, S. (30 janvier 2025).** *Decentralized wastewater treatment: A municipal guide for 2024 (Traitement décentralisé des eaux usées : guide municipal pour 2024).* O&M Solutions. <https://www.oandmsolutions.com/blog/decentralized-wastewater-treatment-a-municipal-guide-for-2024>
6. **Consortium for DEWATS Dissemination (CDD) Society. (s.d.).** *DEWATS Guidebook: A practical guide for the design and implementation of decentralized wastewater treatment systems. Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM) Toolbox. (Guide DEWATS : guide pratique pour la conception et la mise en œuvre de systèmes décentralisés de traitement des eaux usées. Boîte à outils pour l'assainissement durable et la gestion de l'eau (SSWM)).* https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/DEWATS_Guidebook_small.pdf
7. **Ministère de l'Eau et de l'Assainissement. (2017).** *Politique nationale d'assainissement 2016 (politique n° 17005SC).* https://www.dws.gov.za/Documents/sanitation/17005SC_POLICY_National%20Sanitation%20Policy%202016%20FINAL310117.pdf
8. **Municipalité d'eThekweni. (2023).** *Plan de développement intégré 2023-2024 à 2027-2028.* <https://www.durban.gov.za/storage/Documents/Integrated%20Development%20Plans%20IDP%20-%20eThekweni%20Municipality/Integrated%20Development%20Plan%202023-24%20to%202027-28.pdf>
9. **Municipalité d'eThekweni. (9 juillet 2024).** *Bulletin hebdomadaire d'eThekweni (numéro 387).* https://www.durban.gov.za/storage/Documents/Weekly%20Bulletins/Year%202024/EThekweni_Weekly%20Bulletin%20%28Issue%20387%29.pdf
10. **Banque islamique de développement (BID). (2021).** *SANIMAS model as an approach for providing decentralised sanitation. (Le modèle SANIMAS comme approche pour fournir des services d'assainissement décentralisés.)* https://www.isdb.org/sites/default/files/media/documents/2021-03/SANIMAS%20Model_as%20an%20Approach%20for%20Providing%20Decentralised%20Sanitation_Marc%202021.pdf

11. **Kelly, K. (janvier/février 2022).** *Decentralised plants: DEWATS is an approach rather than a technical hardware package (Installations décentralisées : DEWATS est une approche plutôt qu'un ensemble de matériel technique)*. Water Sanitation Africa, 25-26. <https://borda.org/wp-content/uploads/2023/08/WASA-Jan-2022-BORDA73.pdf>
12. **Le Desk. (27 mai 2025).** « Villes sans bidonvilles » : la moyenne annuelle des ménages bénéficiaires passe à 18 500. Le Desk. <https://ledesk.ma/encontinu/villes-sans-bidonvilles-la-moyenne-annuelle-des-menages-beneficiaires-passe-a-18-500/>.
13. **Musazura, W., Odindo, A. O., Tesfamariam, E. H., Hughes, J. C., & Buckley, C. A. (2018).** *Decentralised wastewater treatment effluent fertigation: Preliminary technical assessment (Ferti-irrigation décentralisée des effluents issus du traitement des eaux usées : évaluation technique préliminaire)*. Water SA, 44(2), 250–257. <https://doi.org/10.4314/wsa.v44i2.10>
14. **Odindo, A. O., Musazura, W., Onyango, B., Nkomo, N., Oluochi, B., Khumalo, S., Nxumalo, S., & Ojwach, S. (2024).** *Transformative approaches in managing human waste and wastewater by reframing nutrient recovery from innovative sanitation technologies as integral components of farming and food systems (Approches transformatrices dans la gestion des déchets humains et des eaux usées en recadrant la récupération des nutriments à partir de technologies sanitaires innovantes comme composantes intégrales des systèmes agricoles et alimentaires) (rapport WRC n° 3151/1/24)*. Water Research Commission. <https://www.wrc.org.za/wp-content/uploads/mdocs/3151%20final.pdf>.
15. **One Pulse Africa. (27 septembre 2024).** *Historic signing of tripartite agreement by eThekweni Municipality, Namibia, and Germany. (Signature historique d'un accord tripartite entre la municipalité d'eThekweni, la Namibie et l'Allemagne)*. One Pulse Africa. <https://onepulseafrica.co.za/2024/09/27/historic-signing-of-tripartite-agreement-by-ethekweni-municipality-namibia-and-germany/>.
16. **Pollution Research Group & Bremen Overseas Research & Development Association. (2014).** *Projet DEWATS – Newlands-Mashu. Université du KwaZulu-Natal.* <https://washcentre.ukzn.ac.za/dewats-projects/>.
17. **Pollution Research Group & Bremen Overseas Research & Development Association (Groupe de recherche sur la pollution et Association de recherche et développement outre-mer de Brême) (2014).** *DEWATS process for decentralised wastewater treatment: Technical lessons from eThekweni Municipality. University of KwaZulu-Natal (Processus DEWATS pour le traitement décentralisé des eaux usées : enseignements techniques tirés de la municipalité d'eThekweni)*. Université du KwaZulu-Natal. <https://washcentre.ukzn.ac.za/wp-content/uploads/2020/11/BORDA-project-dewats-process-lessons-from-ethekweni.pdf>.
18. **Seetal, A., Mathye, M., Mahlangu, W., & Godfrey, L. (2023).** *Enabling South Africa's water security through a circular economy (Assurer la sécurité hydrique de l'Afrique du Sud grâce à une économie circulaire) (rapport CSIR n° CSIR/SPLA/WC/ER/2023/0028/C)*. Council for Scientific and Industrial Research (Conseil pour la recherche scientifique et industrielle) (CSIR). https://www.circulareconomy.co.za/wp-content/uploads/2023/08/Water_Report-CE-Opportunities.pdf.
19. **Tamni, F. (2025, 14 juillet).** « Villes sans bidonvilles » : des familles casablancaises victimes de lenteurs administratives. TelQuel. https://telquel.ma/instant-t/2025/07/14/villes-sans-bidonvilles-des-familles-casablancaises-victimes-de-lenteurs-administratives_1942312/.
20. **Tesfamariam, E. (2018).** *A map of the Newlands-Mashu experimental site showing the decentralised wastewater treatment plant (DEWATS), the experimental field and the nearby river. (Carte du site expérimental de Newlands-Mashu montrant la station d'épuration décentralisée (DEWATS), le champ expérimental et la rivière voisine)*. Dans W. Musazura, A. O. Odindo, E. Tesfamariam et C. A. Buckley (dir.), *Decentralised wastewater treatment effluent fertigation: Preliminary technical assessment (Ferti-irrigation*

des effluents issus du traitement décentralisé des eaux usées : évaluation technique préliminaire). ResearchGate. https://www.researchgate.net/figure/A-map-of-the-Newlands-Mashu-experimental-site-showing-the-decentralised-wastewater_fig1_324924960.

21. **WASH R&D Centre. (n.d.).** *Bailleurs de fonds et partenaires.* Université du KwaZulu-Natal. <https://washcentre.ukzn.ac.za/funders-partners/>.

22. **Banque mondiale. (2013).** *Review of community-managed decentralized wastewater treatment systems in Indonesia. Water and Sanitation Program (Examen des systèmes décentralisés de traitement des eaux usées gérés par la communauté en Indonésie. Programme eau et assainissement).* <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/bab3022f-2ccd-513c-bef5-08f61158b5fe/content>.

23. **Zhang, L., Li, Y., & Wang, H. (2023).** *Detection of dental periapical lesions using Retinex-based image enhancement and lightweight deep learning model. (Détection des lésions dentaires périapicales à l'aide d'un modèle d'amélioration d'image basé sur Retinex et d'un modèle d'apprentissage profond léger).* Journal of Dental Sciences, 18(1), 123–135. <https://doi.org/10.1016/j.jdsci.2023.02.004>.



Chapitre 1 : Systèmes décentralisés, locaux et participatifs

IZTAPALAPA, MEXICO, MEXIQUE



Récupération et réutilisation des eaux de pluie



Gestion des eaux pluviales et atténuation des inondations



Recharge des nappes phréatiques



Traitement et réutilisation décentralisés des eaux usées



Infrastructures vertes et bleues / solutions fondées sur la nature



Co-création et gestion communautaires



Aperçu de la ville

Typologie : quartier densément peuplé et à faibles revenus situé dans une vallée enclavée

Population :

- Métropole de Mexico : 22 752 400 (2025)
- Iztapalapa : 1 835 000 (2020)

Climat : climat subtropical de haute altitude, caractérisé par des étés chauds et des hivers doux (Köppen Cwb)

Précipitations : 860 mm/an (modérées)

Risques liés à l'eau :

- **Inondations fréquentes** dues aux précipitations excessives provenant de la chaîne montagneuse de la Sierra de Santa Catarina et s'écoulant vers les zones urbaines basses.
- **Pénuries d'eau chroniques** dues à la surpopulation, au manque d'urbanisme et à un taux élevé de pertes d'eau non facturées.



Présentation

Nom de l'initiative : Parc hydraulique La Quebradora (Parque Hídrico La Quebradora ou Utopia Atzintli)

Lieu : Iztapalapa, Mexico, Mexique

Période : 2017-2021 (conception et construction)

Type d'initiative :

- Recharge des nappes phréatiques,
- Gestion des eaux pluviales et atténuation des inondations
- Traitement décentralisé et réutilisation des eaux usées
- Trame verte et bleue / Solutions fondées sur la nature

Échelle de l'initiative : spécifique au site

Développeurs du projet : municipalité d'Iztapalapa, autorité chargée des espaces publics de Mexico, Université nationale autonome du Mexique (UNAM)

Objectif du projet : Lutter contre les inondations persistantes et les pénuries d'eau à Iztapalapa à l'aide d'une infrastructure innovante combinant la restauration écologique et la création d'espaces publics multifonctionnels.

Principales interventions

- Aménagement d'un **parc public et d'équipements collectifs** sur un terrain urbain auparavant inutilisé, créant un pôle communautaire dynamique comprenant une bibliothèque, une piscine, une librairie, des ateliers, des espaces de loisirs et un centre communautaire.
- **Canaux d'évacuation des eaux pluviales** redirigeant les eaux de pluie des zones avoisinantes vers le parc, où elles sont filtrées à l'aide de tamis et absorbées par des bassins perméables, favorisant ainsi la recharge des nappes phréatiques.
- **Collecte et stockage des eaux de pluie** grâce à des terrasses, des systèmes de zones humides et des citernes.
- **Traitement et réutilisation des eaux usées** pour l'irrigation et la chasse d'eau des toilettes.
- **Aménagement paysager durable**, remplacement des pelouses gourmandes en eau par des aménagements minéraux ne nécessitant pas d'irrigation et par des espèces d'arbres indigènes ou endémiques nécessitant que de petites quantités d'eau.

Principaux résultats

- **Atténuation des inondations et recharge des nappes phréatiques** : l'initiative a augmenté la capacité de captage d'eau de 35 %, ce qui a permis d'atteindre un taux d'infiltration d'environ 68 000 m³/an, rechargeant les nappes phréatiques à une capacité totale de 36 000 m³. L'amélioration de la filtration et de la sédimentation améliore la qualité de l'eau, favorise la recharge des aquifères et garantit la sécurité de l'approvisionnement en eau à long terme.
- **Gestion des eaux pluviales et récupération des eaux de pluie** : le bassin de 3,8 ha capte les eaux de ruissellement des montagnes, recharge l'aquifère sous-jacent et récupère environ 86,4 m³/jour d'eau de pluie pour l'entretien du parc et les toilettes.
- **Espaces publics et équipements urbains accessibles** : le projet profite à 28 000 résidents, doublant la surface d'espace public disponible à Iztapalapa de 1,13 à 2,97 m² par personne et attirant environ 7 000 visiteurs par semaine (Fondation UNAM, 2021).
- **Augmentation de la couverture végétale** : Le nombre d'arbres dans la région a triplé grâce à cette initiative de plantation d'espèces endémiques.

Coût du projet

490 millions de pesos mexicains (22,3 millions d'euros)

- **Première phase (nettoyage de la zone, travaux préparatoires pour les bassins)** : 134 millions de pesos mexicains (6,1 millions d'euros)
- **Deuxième phase (bâtiments, installations, concept d'aménagement urbain et construction d'une station d'épuration des eaux usées)** : 205 millions de pesos mexicains (9,9 millions d'euros)

Projet

Contexte du projet

Mexico est confrontée à une crise hydrique majeure, caractérisée par une pénurie extrême d'eau et des inondations périodiques, conséquence d'une gestion historique défailante des ressources hydriques et d'un développement urbain excessif dans le bassin de la vallée de Mexico. La région d'Iztapalapa est particulièrement touchée par les inondations fréquentes causées par les pluies intenses provenant de la chaîne de montagnes voisine de la Sierra de Santa Catarina, tout en souffrant d'une grave pénurie d'eau. Bien que l'eau soit acheminée depuis d'autres bassins, les défaillances des infrastructures entraînent des pertes de distribution élevées. Par conséquent, de nombreux habitants sont obligés de dépendre de l'eau livrée par camions-citernes, une solution temporaire coûteuse et peu fiable. La forte densité de population, la présence de quartiers informels et le manque de planification urbaine aggravent encore ces difficultés. Face à ces défis, des chercheurs de l'Université nationale autonome du Mexique (UNAM) ont conçu le parc hydraulique La Quebradora comme une démonstration de l'« acupuncture hydro-urbaine », une approche de la gestion de l'eau qui intègre différents types d'infrastructures hydrauliques décentralisées et multifonctionnelles pour répondre aux problématiques liées à l'eau en milieu urbain.

Description du projet

La Quebradora est un parc hydrologique de 3,8 hectares situé à Iztapalapa, dans la ville de Mexico, conçu pour gérer les eaux pluviales grâce à des infrastructures décentralisées tout en offrant des espaces verts publics et des équipements communautaires. Situé sur les pentes de la Sierra de Santa Catarina, le parc capte et filtre les eaux de pluie, recharge la nappe phréatique sous-jacente, fournit de l'eau non potable pour les toilettes et l'irrigation, et offre des équipements récréatifs, écologiques et éducatifs aux habitants de l'une des zones de la ville les plus touchées par le stress hydrique.

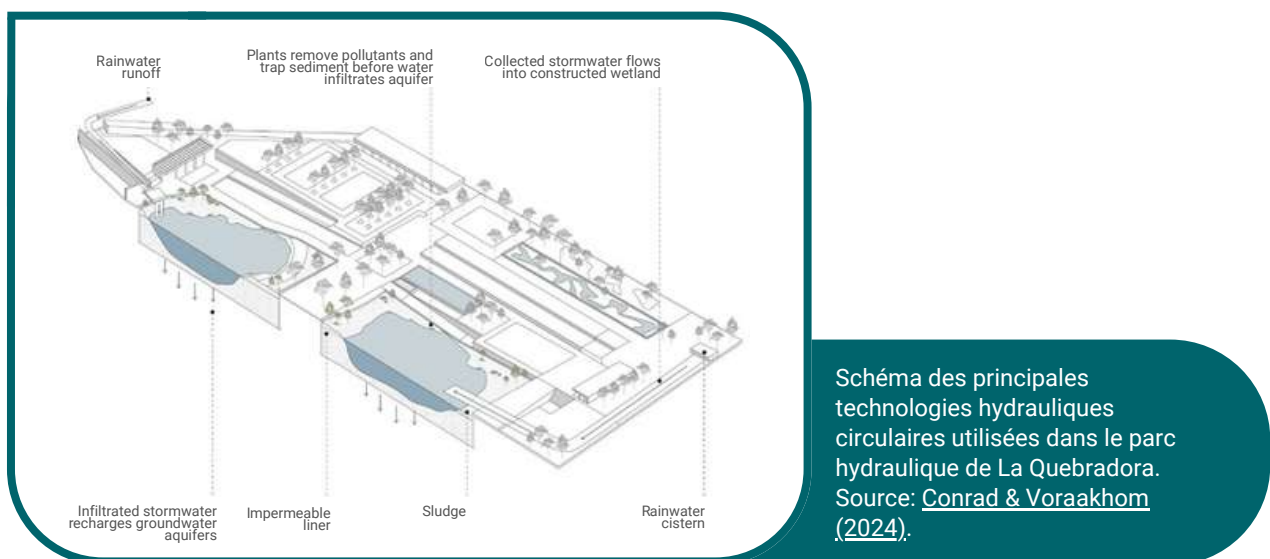
Le projet a été lancé en 2013 par une équipe de l'UNAM. Après des retards initiaux, il a été relancé en 2016 grâce au soutien d'une nouvelle administration locale. La conception détaillée a été achevée en 2017 et la construction a commencé début 2018. Malgré des interruptions dues à un financement insuffisant et à des changements politiques, la reconnaissance internationale, notamment le prix LafargeHolcim Global Gold Prize, a contribué à relancer le projet. En 2021, le parc a été inauguré sous le nom officiel d'Utopía Atzintli, dans le cadre d'un programme municipal plus large de transformation des espaces publics d'Iztapalapa. La participation de la communauté a été au cœur du processus, donnant naissance à un espace résilient et multifonctionnel qui redéfinit la manière dont les infrastructures urbaines peuvent répondre aux défis environnementaux et sociaux.

Technologies et solutions circulaires

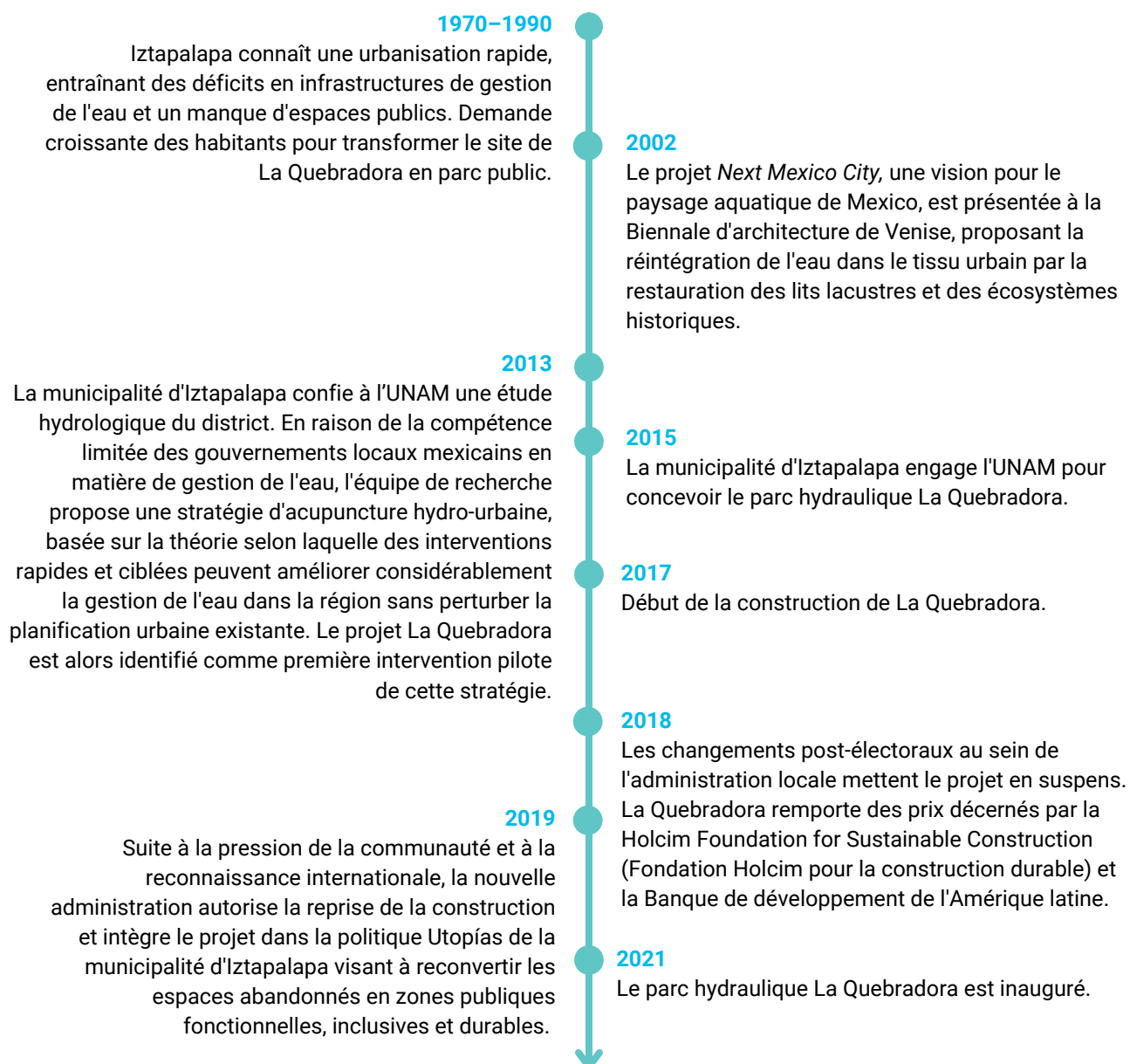
- **Canaux d'évacuation des eaux pluviales et bassins perméables** : Sur une superficie de 3,8 hectares, le parc recueille les eaux de pluie des zones voisines à l'aide de canaux d'évacuation des eaux pluviales. L'eau est filtrée à travers des tamis et passe dans des bassins perméables, s'infiltrant dans le sol sous-jacent et rechargeant les nappes phréatiques. Ce système permet d'éviter les inondations dans des rues importantes telles que l'avenue Ermita

Iztapalapa, une artère majeure pour les automobilistes et les transports publics, tout en reconstituant les réserves d'eau souterraine encore utilisées par les habitants, améliorant ainsi la sécurité hydrique à long terme de la région.

- **Station d'épuration des eaux usées** : en plus de collecter les eaux de pluie, le parc traite également les eaux usées provenant d'un canal de drainage voisin à l'aide d'un système combinant une station d'épuration biologique anaérobie et une zone humide souterraine. L'eau ainsi traitée est réutilisée pour répondre aux besoins quotidiens du parc et pour alimenter les installations du pavillon, où les habitants peuvent venir remplir leurs récipients d'eau. Cette solution s'est avérée particulièrement utile pour les foyers n'ayant pas accès à une source d'eau fiable.
- **Utilisation de matériaux locaux** : la construction a utilisé de la pierre volcanique locale, permettant de minimiser l'impact du transport et de soutenir les économies locales.



Historique de la planification et de la mise en œuvre des politiques :



Impacts climatiques et environnementaux :

- **Atténuation** : les systèmes localisés de recharge des nappes phréatiques et de collecte des eaux de pluie offrent une alternative durable aux infrastructures grises déployées à grande échelle, coûteuses, fortement émettrices de carbone et conçues pour le transport de l'eau sur de longues distances depuis Cutzamala. Le remplacement des camions-citernes par des points d'eau communautaires permet également de réduire les émissions de gaz à effet de serre et d'améliorer la qualité de l'air.
- **Adaptation et résilience** :
 - Atténuation des risques d'inondation : les bassins perméables, les zones humides artificielles et les citernes permettent de gérer les eaux pluviales au niveau local, réduisant ainsi les risques d'inondation.

- Lutte contre la pénurie d'eau : les systèmes de collecte et de traitement des eaux de pluie fournissent de l'eau non potable pour l'irrigation et l'assainissement. Les bassins perméables favorisent la recharge des aquifères, permettant une utilisation durable des eaux souterraines par les communautés locales. Ces sources d'eau supplémentaires contribuent à compenser les insuffisances de l'approvisionnement en eau provenant de sources externes.
- **Biodiversité** : des sentiers offrent de multiples itinéraires à travers le site de 3,8 hectares, permettant à la faune de se déplacer dans la région. Le parc abrite en outre une grande diversité d'espèces végétales endémiques ou adaptées localement, ce qui a permis de tripler la couverture arborée dans la région.

Financement et subventions :

- **Coût total** : environ 490 millions de pesos mexicains (22,3 millions d'euros)
- **Sources et instruments de financement** :
 - **Investissement du secteur public** :
 - Gouvernement fédéral (Fonds fédéral de contribution aux infrastructures sociales) : 250 millions de pesos mexicains (11,4 millions d'euros)
 - Municipalité d'Iztapalapa : 50 millions de pesos mexicains (2,28 millions d'euros)
 - **Other sources (undisclosed)**: MXN 190 million (EUR 8,664)*
- **Sources mixtes** : Toutes les opérations et la maintenance (O&M) sont menées et financées par un partenariat public-privé réunissant la municipalité d'Iztapalapa, le secteur privé, la communauté locale et le monde universitaire. La municipalité gère le parc, sous la direction d'un conseil formé par tous les partenaires. Les sources de financement opérationnel sont présentées dans le Tableau 1.

*Les sources publiques ne précisent pas l'origine des fonds publics restants.

Tableau 1. Pourcentage des contributions des différents partenaires et sources de revenus au fonctionnement du parc hydraulique de La Quebradora.

	Municipalité d'Iztapalapa	Revenus locaux (bibliothèque, toilettes publiques, publicité, antenne-relais de téléphonie mobile)	Société civile et donateurs privés
Exploitation à court terme (< 5 ans)	50%	25%	25%
Exploitation à long terme (>5 ans)	25%	50%	25%

- **Analyse coûts-avantages** :
 - **Réduction des dommages causés par les inondations** : en atténuant les inondations urbaines, le projet contribue à réduire les dégâts causés aux habitations, aux infrastructures et aux services publics, diminuant ainsi les dépenses liées aux interventions d'urgence, aux réparations et aux assurances.
 - **Réduction des coûts d'approvisionnement en eau** : l'approvisionnement en eau non potable grâce à des systèmes de collecte et de traitement des eaux de pluie, associé à la recharge des aquifères, réduit la demande du parc et des communautés locales en

sources d'eau externes, diminuant ainsi les coûts directs d'approvisionnement en eau de la municipalité et les coûts indirects liés à l'entretien des infrastructures hydrauliques centralisées.

- **Avantages financiers indirects** : bien que les données spécifiques sur les coûts évités ne soient pas disponibles, les avantages à long terme du projet, notamment l'amélioration des espaces publics, l'augmentation de la valeur de l'immobilier et l'amélioration de la qualité de vie, démontrent qu'il s'agit d'une alternative rentable aux infrastructures grises traditionnelles et monofonctionnelles.

Engagement des parties prenantes et inclusion sociale :

- **Engagement communautaire** : Le projet a réuni divers acteurs – autorités locales et régionales, société civile et monde académique – autour d'une vision commune. L'un des principaux atouts de La Quebradora est son lien étroit avec la communauté locale. Entre 2013 et 2017, l'équipe de conception a organisé de nombreux ateliers participatifs afin d'adapter les caractéristiques du parc aux besoins spécifiques des habitants d'Iztapalapa, ce qui a abouti à l'ajout de nouvelles installations telles que des piscines publiques. Lorsque le projet a été interrompu en 2018 après un changement d'administration, la pression exercée par la communauté a joué un rôle déterminant dans sa reprise. Aujourd'hui, les résidents participent activement à la gestion du parc via le conseil d'administration du parc, consolidant ainsi un sentiment d'appartenance et un soutien durable au projet.
- **Impact social** : le projet est situé dans une municipalité où la plupart des habitants vivent dans des conditions difficiles, avec un accès limité aux installations récréatives et sportives, et où les problèmes de pénurie d'eau et d'inondations sont récurrents. Le parc a été conçu comme une réponse intégrée à ces défis, offrant davantage d'espace à des fins sociales et récréatives, réduisant les risques d'inondation et contribuant à lutter contre la pénurie d'eau. En outre, il comprend un centre dédié aux femmes victimes de violence, soulignant son engagement plus large en faveur de l'équité sociale.



Source: Giuroiu, A. (2025).
[architecturelab.](https://www.architecturelab.org/)

Facteurs de réussite :



Valeurs : le projet incarne les principes de l'acupuncture hydro-urbaine, qui prône des interventions ciblées, hyperlocales et à petite échelle capables d'améliorer de manière systémique la gestion de l'eau sans nécessiter de modification des plans d'urbanisme ou de réaménagement à grande échelle. Il s'inspire également des éléments du concept de ville éponge, transformant l'espace public en infrastructure hydrologique et éducative : un lieu à la fois esthétique, fonctionnel et pédagogique, où l'eau retrouve sa place au cœur du paysage urbain.



Connexions :

1. **Connexions physiques** : le parc canalise les eaux de ruissellement urbaines provenant de la Sierra de Santa Catarina vers des bassins d'infiltration, créant ainsi un réseau intégré pour recharger les aquifères locaux et alimenter en eau les bornes-fontaines publiques.
2. **Connexions sociales** : Grâce à un modèle de conception participatif, le projet a bénéficié d'un support constant de toutes les parties prenantes, celui-ci ayant consolidé les liens entre la communauté locale, la société civile, le monde universitaire et les autorités locales.



Investissements : La Quebradora démontre la faisabilité d'un modèle de financement d'infrastructures hydrauliques circulaires et résilientes grâce à des investissements à plusieurs niveaux, provenant de fonds publics nationaux et locaux ainsi que de donateurs privés. En combinant les infrastructures de gestion des eaux pluviales avec des espaces publics de haute qualité, La Quebradora constitue une opportunité d'investissement attractive pour les autorités publiques et les autres parties prenantes, permettant de canaliser des fonds vers les systèmes de gestion de l'eau tout en bénéficiant d'un soutien communautaire fort et d'une grande visibilité. Le modèle de financement du projet, qui apporte un complément aux investissements publics grâce à des fonds supplémentaires provenant de donateurs privés, contribue de manière importante à son succès.

Replicabilité

La Quebradora représente un modèle reproductible de gestion durable de l'eau en milieu urbain au Mexique et au-delà. Le projet a inspiré des adaptations dans d'autres municipalités comme celles d'Ecatepec (Mexique), de Tijuana (Mexique) et de Nogales (Arizona, États-Unis) par le biais de projets combinant lutte contre les inondations, réutilisation de l'eau et développement des espaces publics.

Ce concept offre également un fort potentiel de réplication au Maroc. Sa stratégie d'acupuncture hydro-urbaine pourrait être particulièrement pertinente pour les villes marocaines souhaitant améliorer la circularité et la résilience hydrique dans des environnements urbains denses, où les grands projets d'infrastructure pourraient nécessiter un réaménagement urbain coûteux. Le modèle de La Quebradora, qui intègre la recharge des nappes phréatiques et la gestion des eaux pluviales dans l'espace public, constitue également une référence précieuse pour les zones périurbaines du Maroc qui cherchent à mettre en place des infrastructures localisées, peu coûteuses et multifonctionnelles. À Tétouan, par exemple, où les quartiers informels situés autour du bassin de la rivière Martil sont vulnérables au ruissellement des eaux pluviales provenant des collines voisines, la création d'espaces publics en terrasses, de zones d'infiltration et de bassins de rétention décentralisés similaires permettrait à la fois de mieux gérer les flux hydriques tout en améliorant la qualité du cadre de vie urbain.



Source: Giuroiu (2025).
[architecturelab.](https://www.architecturelab.org/)

Bibliographie

1. **Archiabyssniya.** (29 juin 2024). *La Quebradora Water Park in Mexico: Designing public spaces to improve water management (Parc aquatique La Quebradora au Mexique : concevoir des espaces publics pour améliorer la gestion de l'eau)*. <https://archiabyssniya.wordpress.com/2024/07/15/la-quebradora-water-park-in-mexico-designing-public-spaces-to-improve-water-management/>
2. **Congreso de la Ciudad de México (Congrès de la ville de Mexico).** (24 octobre 2018). *Propuesta con punto de acuerdo de urgente y obvia resolución por el que se solicita respetuosamente a la Secretaría de Finanzas de la Ciudad de México y al Sistema de Aguas de la Ciudad de México, a que en el ámbito de sus atribuciones, envíen un informe a esta soberanía sobre el proyecto "Parque Hídrico La Quebradora"* https://www.congresocdmx.gob.mx/archivos/parlamentarios/PPA_20_23_25_10_2018.pdf.
3. **Conrad, P., & Voraakhom, K.** (18 novembre 2024). *WORKS with Nature: Low Carbon Adaptation Techniques for a Changing World. United Nations Framework Convention on Climate Change (WORKS with Nature : Techniques d'adaptation à faible émission de carbone pour un monde en mutation. Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques)*. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/WORKS-with-Nature-Low-Carbon-Adaptation-Techniques-for-a-Changing-World.pdf>
4. **Gaceta de Iztapalapa.** (24 janvier 2018). *Desarrollo del Parque Hídrico La Quebradora podría significar el inicio del cambio en el tratamiento del agua de lluvia*. <https://gacetadeiztapalapa.com.mx/development-del-parque-hidrico-la-quebradora-podria-significar-el-inicio-del-cambio-en-el-tratamiento-del-agua-de-lluvia/>
5. **Giuroiu, A.** (27 janvier 2025). *Parque Hídrico La Quebradora: Transforming water management and public space in Mexico City. (Parque Hídrico La Quebradora : Transformer la gestion de l'eau et l'espace public à Mexico)*. Architecture Lab. <https://www.architecturelab.net/parque-hidrico-la-quebradora>
6. **Fondation Holcim.** (Juin 2020). *Flooding and thirst: Addressing an urban hydrology crisis. (Inondations et soif : faire face à une crise hydrologique urbaine)*. Fondation Holcim. <https://www.holcimfoundation.org/media/news/projects/flooding-and-thirst>
7. **Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).** (15 décembre 2020). *Censo de Población y Vivienda 2020 : Resultados rápidos – Iztapalapa*. <https://www.inegi.org.mx/app/cpv/2020/resultadosrapidos/default.html?texto=Iztapalapa>
8. **Kramer, A.** (2022). *Managing the invisible: Trends in sustainable groundwater development (Gérer l'invisible : tendances en matière de développement durable des eaux souterraines) [Fiche de tendance n° 6]*. Swiss Agency for Development and Cooperation, Trend Observatory on Water (Agence suisse pour le développement et la coopération, Observatoire des tendances dans le domaine de l'eau). https://adelphi.de/system/files/document/trend_sheet_6_groundwater_en_final.pdf
9. **Perló Cohen, M., & Castro-Reguera Mancera, L.** (20 novembre 2019). *Parque Hídrico La Quebradora*. ArchDaily México. <https://www.archdaily.mx/mx/1017835/parque-hidrico-la-quebradora-taller-capital>
10. **Revista Zócalo.** (24 octobre 2021). *Inaugura Clara Brugada la Utopía Hídrica Atzintli para el rescate del parque hídrico La Quebradora*. <https://revistazocalo.com/inaugura-clara-brugada-la-utopia-hidrica-atzintli-para-el-rescate-del-parque-hidrico-la-quebradora/>
11. **Revista Zócalo.** (11 juin 2025). *Inaugura Clara Brugada la Utopía Hídrica Atzintli para el rescate del parque hídrico La Quebradora*. <https://revistazocalo.com/inaugura-clara-brugada-la-utopia-hidrica-atzintli-para-el-rescate-del-parque-hidrico-la-quebradora/>

12. **Service météorologique national (SMN).** (25 août 2023). *Normales climatológicas 1991–2020: Estación meteorológica 09048.* Service météorologique national. https://web.archive.org/web/20230825204315/https://smn.conagua.gob.mx/tools/RECURSOS/Normales_Climatologicas/Normales9120/df/nor9120_09048.TXT
13. **Taller Capital, UNAM, & Perló Cohen, M.** (27 janvier 2025). *Parque Hídrico La Quebradora : Transforming water management and public space in Mexico City.* (Transformer la gestion de l'eau et l'espace public à Mexico). Architecture Lab. <https://www.architecturelab.net/parque-hidrico-la-quebradora/>
14. **Taller Capital, UNAM, & Perló, M.** (20 novembre 2019). *Parque Hídrico La Quebradora.* ArchDaily México. <https://www.archdaily.mx/mx/1017835/parque-hidrico-la-quebradora-taller-capital>
15. **Taller Capital, UNAM et Perló, M.** (20 novembre 2019). *Parque Hídrico La Quebradora.* Arquine. <https://www.arquine.com/obra/parque-hidrico-la-quebradora/>
16. **Taller Capital.** (Juin 2024). *The Image of Water. The Architectural League of New York* (L'image de l'eau. The Architectural League of New York). <https://archleague.org/article/the-image-of-water/>
17. **Transfer-Arch. (11 septembre 2020).** *Designing on Wet Ground: La Quebradora in Mexico City.* (Concevoir sur un terrain humide : La Quebradora à Mexico). <https://www.transfer-arch.com/designing-on-wet-ground-la-quebradora/>
18. **Fondation UNAM. (24 octobre 2021).** *Parque Hídrico La Quebradora : Una realidad que beneficiará a capitalinos.* <https://www.fundacionunam.org.mx/ecopuma/parque-hidrico-la-quebradora-una-realidad-que-beneficiara-a-capitalinos/>
19. **Valencia, I., Hubbard, E., & Herrera, N. (20 mars 2024).** *Convertir parques en cisternas barriales : Agua para el futuro.* UNAM Global. https://unamglobal.unam.mx/global_tv/convertir-parques-en-cisternas-barriales-agua-para-el-futuro/
20. **Vera, F., & Sordi, J. (décembre 2020).** *Ecological Design: Strategies for the Vulnerable City: Adapting Precarious Areas in Latin America and the Caribbean to Climate Change.* (Conception écologique : stratégies pour les villes vulnérables : adapter les zones précaires d'Amérique latine et des Caraïbes au changement climatique). Inter-American Development Bank (Banque interaméricaine de développement). <https://publications.iadb.org/en/ecological-design-strategies-vulnerable-city-adapting-precarious-areas-latin-america-and-caribbean>
21. **World Population Review. (18 juillet 2025).** *Population de Mexico en 2025.* <https://worldpopulationreview.com/cities/mexico/mexico-city>



Chapitre 1 : Systèmes décentralisés, locaux et participatifs

UNIVERSITÉ IBN TOFAIL, KÉNITRA, MAROC



Traitement et réutilisation décentralisés des eaux usées



Co-création et gestion communautaires



Aperçu de la ville

Typologie : Chef lieu de la province de Kénitra et ville portuaire sur le fleuve Sebou

Population:

- Kénitra : 507 736 (2024)
- Campus de l'UIT : plus de 50 000 utilisateurs d'eau

Climat : Climat méditerranéen avec des étés chauds, des hivers doux et des étés secs (Köppen Csa)

Précipitations : 571 mm/an (modérées)

Risques liés à l'eau :

- **Demande croissante en eau** : L'expansion de l'agriculture, de l'industrie (notamment les secteurs automobile et agroalimentaire) et des activités universitaires a accru la pression sur les ressources locales en eau.
- **Pollution de l'eau** : La proximité de l'université avec le fleuve Sebou et l'aquifère sous-jacent expose la zone à des risques de contamination des eaux de surface et souterraines résultant d'eaux usées non traitées ou insuffisamment traitées.
- **Pression sur les ressources** : L'augmentation des prélèvements d'eau comporte un risque de surexploitation du bassin du fleuve Sebou et des aquifères locaux, menaçant la disponibilité à long terme de l'eau.
- **Variabilité climatique** : Les impacts potentiels du changement climatique pourraient aggraver les problèmes de pénurie d'eau et de pollution, compromettant la résilience urbaine et le développement durable.



Présentation

Nom du projet : Station d'épuration Living Lab (laboratoire vivant) de l'université Ibn Tofail

Emplacement : Université Ibn Tofail, Kénitra, Maroc

Période : 2019 – en cours

Type de projet : Station décentralisée d'épuration des eaux usées

Échelle du projet : Spécifique au site

Principaux responsables du projet : Université Ibn Tofail (UIT) et Laboratoire des Procédés de Séparation-Équipe de recherche : Procédés de Séparation

Objectif du projet : Renforcer la capacité de l'université à traiter les eaux usées, réutiliser l'eau traitée pour l'irrigation, réduire la pollution des eaux de surface et souterraines, fournir une plateforme de recherche et de formation pratique aux étudiants et sensibiliser les visiteurs à la gestion durable de l'eau.

Principales interventions

- **Installation d'une station d'épuration** basée sur un bioréacteur à membrane (BAM) pour traiter efficacement les eaux usées des laboratoires et des bâtiments du campus.
- **Réutilisation des eaux usées traitées** pour irriguer 25 % des espaces verts du campus, conformément aux normes de qualité. Le système de réutilisation comprend les éléments suivants :
 - Un réseau d'irrigation souterrain installé dans les zones irriguées.
 - Un réservoir de stockage de 40 m³ qui recueille les effluents traités.
 - Une unité de désinfection au chlore qui traite l'eau stockée dans le réservoir avant sa redistribution pour l'irrigation.
- **Site de démonstration et d'éducation** créé pour les étudiants et les professionnels. Le site favorise l'apprentissage pratique, le renforcement des capacités et le transfert de connaissances dans le domaine des technologies durables de traitement de l'eau, notamment les bioréacteurs à membrane (BAM), les outils de surveillance et les pratiques de réutilisation.

Principaux résultats

- **Amélioration de la capacité de traitement des eaux usées** : l'unité de traitement BAM traite environ 500 m³ d'eaux usées par jour provenant des laboratoires et des bâtiments du campus, ce qui correspond à un total d'environ 170 000 m³ d'eau traitée en 2024.
- **Réduction de la demande en eau potable** : actuellement, les 170 000 m³ d'eau traitée produits par l'unité de traitement BAM sont utilisés pour irriguer 25 % de la superficie totale des espaces verts de l'université (environ 5 ha). La réutilisation de cette eau traitée a permis de réduire la consommation d'eau potable de l'université de 70 %.
- **Amélioration de la qualité de l'eau** : le traitement et la réutilisation des eaux usées conformément aux normes de qualité de l'eau ont considérablement réduit la pollution des eaux de surface et souterraines.
- **Éducation et renforcement des capacités** : le site sert de centre de démonstration et de formation pour les étudiants et les professionnels. Chaque année, le site accueille plus de 10 ateliers techniques et visites de site, auxquels participent plus de 90 personnes, notamment des étudiants en ingénierie et en sciences de l'environnement, des professeurs d'université, des employés municipaux et des professionnels du secteur de l'eau.
- **Durabilité et autonomie** : l'université a atteint l'autonomie dans le traitement local de ses eaux usées, améliorant ainsi la durabilité opérationnelle et réduisant sa dépendance vis-à-vis des services municipaux.
- **Efficacité énergétique** : le système MBR fonctionne avec une consommation d'énergie d'environ 0,2 kWh/m³ d'eau traitée, ce qui représente une consommation annuelle de 33 230,87 kWh en 2024. Ce système est considérablement plus efficace que les systèmes conventionnels à boues activées, qui consomment généralement entre 0,3 et 0,5 kWh/m³.

Coût du projet

Coût total : 8 millions de dirhams (environ 760 000 euros)

Projet

Contexte du projet

Située à l'embouchure du fleuve Sebou, à proximité de la zone humide de Marjat Al Fouwarate inscrite sur la liste RAMSAR, la ville de Kénitra est confrontée à plusieurs défis critiques en matière d'eau. Son économie mixte, qui combine une agriculture intensive, une activité industrielle en expansion et un campus universitaire en pleine croissance, exerce une pression croissante sur les ressources en eau locales. Les principales préoccupations concernent la pollution des eaux de surface et souterraines, principalement due aux rejets urbains non traités, au ruissellement agricole riche en nutriments et en pesticides, et aux effluents industriels. En outre, la situation géographique de la ville, dans une zone historiquement marécageuse, la rend particulièrement vulnérable aux inondations saisonnières, un problème qui a été exacerbé par l'expansion urbaine et l'insuffisance des infrastructures de gestion des eaux pluviales. Le début des années 2000 a été marqué par de multiples inondations, soulignant la vulnérabilité de la ville et le besoin urgent d'une planification résiliente de l'utilisation de l'eau et des terres.

Compte tenu de ces pressions, le développement de systèmes décentralisés et durables de gestion de l'eau est devenu une priorité locale. Dans ce contexte, l'université Ibn Tofail (UIT) a mis en œuvre le projet d'une station d'épuration et Living Lab à la fois comme solution technique et comme plateforme éducative (figure 1). Ce projet met l'accent sur la circularité de l'eau, la maîtrise de la pollution et la prévention des inondations en intégrant le traitement et la réutilisation des eaux usées, le renforcement des capacités locales et les infrastructures basées sur la nature, positionnant ainsi le campus comme un modèle de résilience urbaine face à l'eau dans la région.

Description du projet

Lancée en 2019, la station d'épuration de l'UIT a été créée pour promouvoir la gestion durable de l'eau sur le campus universitaire. L'initiative a débuté par l'installation d'un système de bioréacteur à membrane (MBR) conçu pour traiter les eaux usées générées par les laboratoires et les bâtiments du campus. L'eau traitée est ensuite réutilisée pour irriguer 25 % des espaces verts de l'université, ce qui réduit la dépendance aux ressources en eau douce conventionnelles et contribue à la résilience locale en matière d'eau.

Au-delà de sa fonction technique, la station d'épuration s'est développée pour inclure un laboratoire vivant, soutenant la recherche appliquée, la formation des étudiants et la sensibilisation à la protection de l'environnement et aux pratiques circulaires en matière d'eau. L'installation accueille régulièrement des ateliers, des visites de sites et des projets collaboratifs impliquant à la fois des étudiants et des professionnels.

Des initiatives complémentaires ont été mises en œuvre pour améliorer l'efficacité du système et son impact éducatif, notamment un réseau d'irrigation souterrain, un réservoir de stockage civil d'une capacité de 40 m³ et une unité de chloration pour la désinfection post-traitement. Ces mesures garantissent le respect des normes de qualité tout en offrant une démonstration pratique des systèmes intégrés de réutilisation de l'eau.

Grâce à cette approche globale et inclusive, le laboratoire vivant de la station d'épuration de l'UIT est devenu un modèle de réutilisation décentralisée et respectueuse de la nature de l'eau sur les campus universitaires, avec un potentiel de reproduction dans d'autres institutions urbaines et semi-urbaines confrontées à un stress hydrique.



Figure 1. Vue extérieure du Living Lab de la station d'épuration de l'UIT.
Source : Université Ibn Tofail

Solutions circulaires et résilientes :

Procédé MBR : afin de traiter les eaux usées pour obtenir une qualité élevée adaptée à la réutilisation, ce procédé compact et décentralisé combine un traitement biologique et une filtration membranaire. La membrane d'ultrafiltration comprend deux types de membranes : une membrane à fibres creuses et une membrane plane. Le processus de traitement comprend une station de relevage, une unité de prétraitement, un traitement biologique et membranaire, ainsi qu'un traitement des boues et des odeurs (figure 2). Les performances de la station d'épuration des eaux usées pour les années 2023-2024 sont détaillées dans les tableaux 1 et 2.

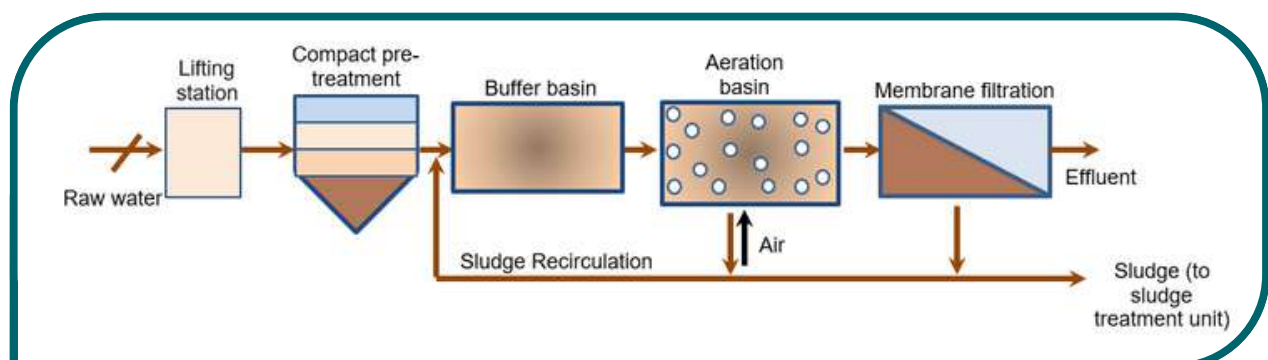


Figure 2.1 : Schéma du processus de traitement utilisé dans la station d'épuration des eaux usées de l'UIT.
Source : Université Ibn Tofail. Equipe de recherche ;
Procédés de Séparation (Pr. Sakina Belhamidi)

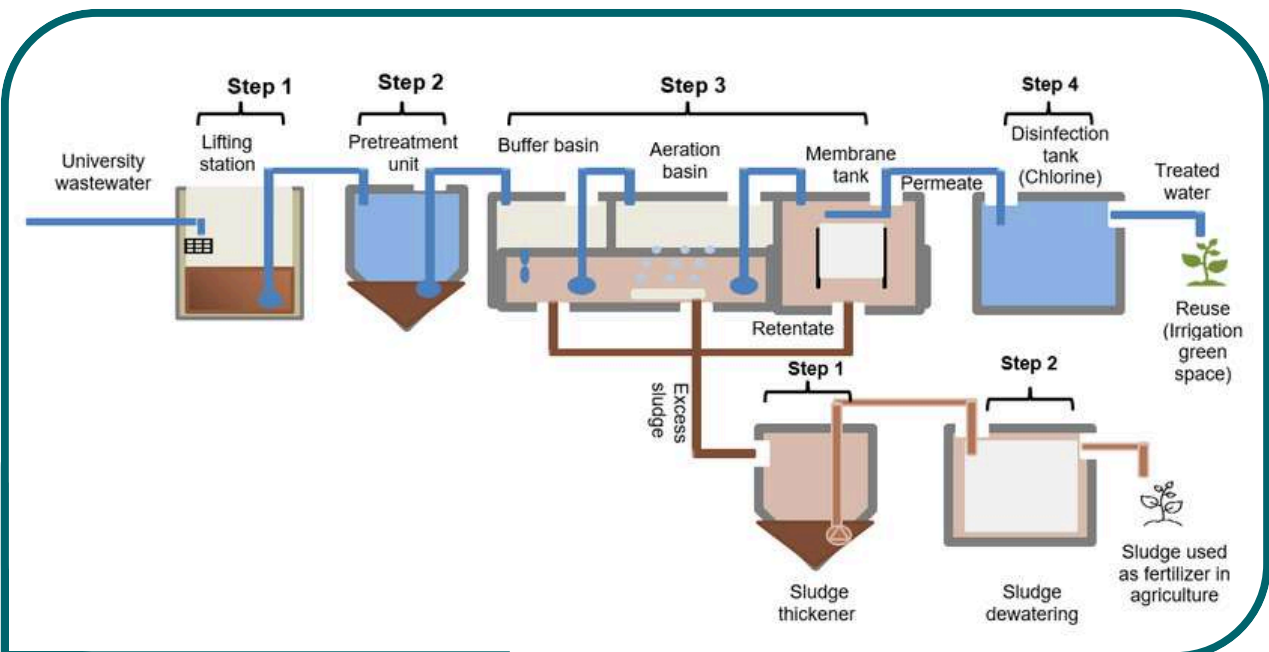


Figure 2.2: Schéma du processus de traitement utilisé dans la station d'épuration des eaux usées de l'UIT.
Source : Université Ibn Tofail. Equipe de recherche ; Procédés de Séparation (Pr. Sakina Belhamidi)

Tableau 1. Paramètres physico-chimiques des performances de la station d'épuration de l'UIT en 2023 et 2024.

Variable	2023			2024		
	Qualité: eau brute	Qualité : eau traitée	Total d'eau traitée	Qualité : eau brute	Qualité : eau traitée	Total d'eau traitée
DCO ^a (mg/L)	500	27	150,000 m ³ /an	540	31	170,000 m ³ /an
DBO5 ^b (mg/L)	360	20		380	23	
MS ^c (mg/L)	490	2.5		500	3.9	
Azote (mg/L)	26	6		22	8	
Phosphore (mg/L)	7	2		9	1	

^a Demande chimique en oxygène

^b Demande biochimique en oxygène sur 5 jours

^c Matières en suspension

Tableau 2. Paramètres bactériologiques des performances de la station d'épuration UIT en 2023 et 2024.

Variable	Eau traitée (2022/2023)
	Concentration maximale
Coliformes fécaux	< 1000 CF/100 MI
Œufs de nématodes	Aucun

- **Système de réutilisation intégré** : afin de réutiliser l'eau traitée, l'installation comprend un réseau d'irrigation souterrain et un réservoir de stockage de 40 m³ avec désinfection au chlore (figure 3). De plus, des études sont en cours afin d'explorer les possibilités de valorisation des boues pour l'amendement des sols dans les espaces verts du campus.

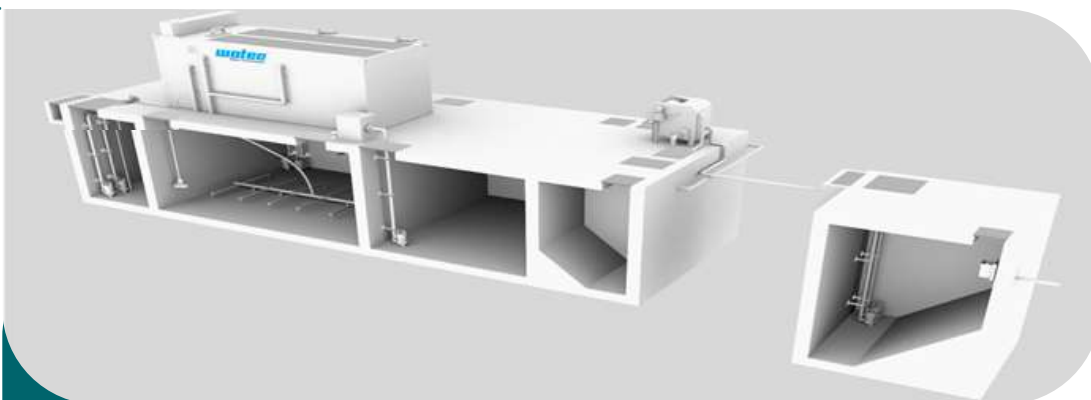


Figure 3 : Modèle 3D de la station d'épuration de l'UIT, montrant les bassins semi-enterrés et le réservoir à membrane.

Source : La Société Water Technologie (Watec)

- **Réutilisation des eaux usées** : L'eau traitée est ensuite réutilisée pour irriguer environ 25 % des espaces verts du campus à l'aide d'une technologie d'irrigation souterraine, ce qui réduit la dépendance à l'eau potable (figure 4).
- **Conception compacte et intégrée** : le système est peu encombrant et conçu pour minimiser les nuisances telles que les odeurs ou le bruit, ce qui le rend adapté aux campus urbains (figure 5).



Figure 4 : Espace vert du campus de l'UIT irrigué à l'aide d'eaux usées traitées.

Source : Université Ibn Tofail

Calendrier de planification et de mise en œuvre des politiques :

2010

Le Maroc adopte la Stratégie de développement du secteur de l'eau et le Plan national de l'eau, en accord avec d'autres stratégies fortement axées sur l'eau.

2016

La loi n° 36-15 établit le principe de la gestion intégrée des ressources en eau au Maroc.



2023

L'UIT, en partenariat avec la société allemande INNARI, installe le système d'irrigation souterraine Mipotube, une marque déposée, dans les espaces verts autour de la station d'épuration du campus (figure 6).

En cours

suite au succès initial de la station d'épuration, l'UIT a mis en place une plateforme dédiée à l'expérimentation, à l'innovation et à la formation dans le secteur de l'eau. Elle se concentre sur le développement de solutions visant à améliorer la gestion de l'eau, tout en réduisant les pertes et en optimisant l'utilisation.

2015

Le Plan de développement régional de /Rabat-Salé-Kénitra est présenté, mettant l'accent sur la protection de l'environnement, la santé publique, la réduction de la pollution de l'eau et la valorisation des ressources en eau non conventionnelles pour l'irrigation.

2019

En réponse aux cadres politiques précédents, l'UIT lance la construction d'une station d'épuration d'une capacité de 400 m³/jour.

2024

L'UIT est reconnue pour son engagement fort en faveur des priorités nationales dans les domaines de l'eau, de la santé, de l'énergie, de l'agro-industrie et de l'innovation numérique.



Figure 5. Interior of the ITU WWTP, highlighting its compact design.

Source: Ibn Tofail University



Figure 6. Schéma du système d'irrigation souterraine (à gauche) et image détaillée des Mipotubes INNARI.

Source : Staff de communication du campus Ibn Tofail en collaboration avec Pr. Sakina Belhamidi et l'équipe INNARI.

Impacts climatiques et environnementaux :

Atténuation : le projet contribue à réduire les émissions indirectes de gaz à effet de serre en diminuant la dépendance de l'université à l'égard de l'eau potable traitée de manière centralisée et son empreinte énergétique associée. Pour soutenir cette initiative, l'UIT a lancé un programme d'énergie solaire qui fournit actuellement environ 30 % des besoins en électricité de la station d'épuration grâce à des panneaux photovoltaïques, avec pour objectif d'atteindre une couverture de 60 % d'ici 2030. Ce passage aux énergies renouvelables devrait réduire considérablement l'empreinte carbone de la station et renforcer sa résilience énergétique.

Adaptation et résilience :

- La réutilisation des eaux usées réduit considérablement la pression sur les ressources en eau potable, contribue à l'adaptation au changement climatique par la préservation de l'eau douce et compense une part importante de la consommation d'eau conventionnelle, en particulier pendant les saisons sèches.
- La conception de la station d'épuration permet un fonctionnement hors réseau, garantissant un traitement et une réutilisation continus même en cas de perturbation de l'approvisionnement énergétique externe, ce qui est essentiel dans le contexte des risques liés au climat.
- Les boues issues du processus de traitement sont actuellement stabilisées et stockées, et des études de faisabilité sont en cours afin de les valoriser pour l'amélioration des sols dans l'aménagement paysager du campus, ce qui permettrait de boucler davantage le cycle des ressources.

Environnement et biodiversité : Les eaux usées traitées alimentent un système d'irrigation souterrain couvrant 25 % des espaces verts du campus, contribuant ainsi au maintien d'une végétation saine, à la réduction du ruissellement de surface et à l'amélioration du refroidissement microclimatique. Cela contribue à la préservation de la biodiversité locale, en particulier à proximité du site RAMSAR de Marjat Al Fouwarate, en réduisant le ruissellement riche en nutriments et en favorisant un environnement universitaire plus vert et plus résistant au climat.

Financement et fonds :

- **Structure des coûts** : Le projet bénéficie de faibles coûts d'exploitation et de maintenance, grâce à des mesures d'efficacité énergétique et à l'intégration d'énergies renouvelables, dont la durabilité à long terme est assurée par les équipes techniques internes de l'université.
- **Sources et instruments de financement** :
 - Subvention de l'État accordée par le gouvernement régional de Rabat-Salé-Kénitra : 4,6 millions de dirhams (environ 418 500 euros)
 - Autofinancement par l'UIT : 3,4 millions de dirhams (environ 309 000 euros)
- **Analyse coûts-avantages** :
 - Le projet a déjà permis de réduire la dépendance de l'université à l'égard des sources externes d'eau potable d'environ 170 000 m³/an, ce qui représente une économie estimée à plus de 680 000 MAD (environ 62 000 EUR) par an (sur la base des tarifs moyens de l'eau).
 - Le projet permet à l'université et à ses environs de réaliser des économies indirectes incalculables grâce à la préservation des ressources en eau douce et à sa contribution à la résilience climatique.
 - Le projet justifie pleinement l'investissement public grâce à ses impacts locaux, régionaux et académiques avérés.
 - Le Living Lab de la station d'épuration génère une valeur économique indirecte grâce aux éléments suivants :
 - Services de formation et visites techniques, dont certains sont monétisés pour les professionnels externes.
 - Projets de recherche et d'innovation collaboratifs, y compris des technologies brevetables dans le domaine du traitement et de la réutilisation de l'eau.
 - Perspectives d'avenir pour la récupération des ressources (par exemple, boues traitées pour l'amendement des sols) qui pourraient générer des retombées environnementales et financières supplémentaires.

Engagement des parties prenantes et inclusion sociale :

Engagement des parties prenantes : le projet bénéficie de la participation de parties prenantes diversifiées impliquées dans le financement, la conception et l'exploitation, comme le résume le tableau 3.

Tableau 3 : Principales parties prenantes impliquées dans le laboratoire d'apprentissage de la station d'épuration des eaux usées de l'UIT.

Partie prenante	Rôle
Université Ibn Tofail-La présidence	Propriétaire et exploitant de la station d'épuration
Région de Rabat-Salé-Kénitra	Cofinanceur du projet
Laboratoire Matériaux Avancés et Génie des Procédés, Equipe de recherche : des Procédés de Séparation	Soutien technique et scientifique
Organismes publics : Office national de l'électricité et de l'eau potable, ministère de l'Environnement, ministère de l'Enseignement supérieur	Régulateurs potentiels ou partenaires techniques
Utilisateurs et étudiants	Renforcement des capacités et partage des connaissances

Inclusion sociale : le projet repose sur trois formes principales d'inclusion sociale :

- **Participation active de la communauté universitaire** : le projet implique activement les étudiants, les chercheurs et le personnel de l'UIT en leur proposant des formations pratiques, des opportunités de recherche ainsi que des plateformes d'expérimentation liées au traitement des eaux usées et à la gestion durable de l'eau.
- **Inclusion des groupes vulnérables** : les femmes, les jeunes et la communauté locale au sens large sont impliqués indirectement par le biais de campagnes de sensibilisation ciblées et de programmes de formation en libre accès, ce qui favorise une plus grande participation de la communauté et une meilleure connaissance de l'environnement.
- **Promotion d'une transition juste** : l'initiative garantit un accès équitable aux connaissances et aux ressources environnementales, réduisant ainsi les inégalités d'accès à une eau de qualité pour l'irrigation. Elle encourage l'innovation locale et les actions éducatives afin de soutenir un développement inclusif et durable.

Facteurs de réussite



Valeurs : L'enseignement occupe une place centrale au sein du laboratoire d'apprentissage de la station d'épuration, en intégrant les principes de circularité et de durabilité tout en sensibilisant au traitement des eaux usées. Le projet valorise les petits systèmes de traitement décentralisés comme une approche clé pour une gestion locale résiliente de l'eau. L'implication des universités a joué un rôle déterminant dans le renforcement des capacités. L'initiative défend les droits humains à l'eau et à l'assainissement, valorise la santé des écosystèmes et promeut les multiples bénéfices liés à l'eau.



Connexions :

1. **Connexions physiques :** Le Living Lab est physiquement intégré aux systèmes de gestion de l'eau et du paysage de l'université. Les eaux usées traitées sont acheminées par un réseau de distribution souterrain dédié, relié à un système d'irrigation souterrain. La station est également connectée à une infrastructure de surveillance pour le contrôle de la qualité de l'eau et la consommation d'énergie, ce qui soutient les activités de recherche et d'éducation.
2. **Connexions sociales :** Les liens solides entre l'université, les autorités régionales, le secteur privé, les chercheurs et la communauté au sens large ont été essentiels à la réussite du projet. Ces réseaux facilitent le partage des connaissances et la résolution collaborative des problèmes. L'engagement de diverses parties prenantes encourage la collaboration intersectorielle.



Investissements : la collaboration entre les autorités régionales, l'université et les parties prenantes locales a permis de réaliser cet investissement. La faisabilité financière est renforcée par les économies réalisées grâce à la réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation, ce qui rend le projet réalisable et rentable, même à petite échelle.

Répliquabilité

Le projet de station d'épuration des eaux usées de Kénitra illustre une approche pratique et reproductible pour renforcer la résilience urbaine en matière d'eau, en intégrant la réutilisation des eaux usées et l'enseignement au niveau universitaire. L'accent mis sur des systèmes de traitement des eaux usées modulaires, décentralisés et de petite taille permet une adaptation flexible à divers contextes urbains. En combinant la réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation avec des actions de formation et le renforcement des capacités au sein de l'université et des parties prenantes locales, ce projet offre un modèle solide pour les villes et les territoires souffrant de pénurie d'eau. La collaboration entre les autorités régionales, les universités et les communautés locales renforce l'appropriation du projet et favorise son exploitation et sa maintenance à long terme.

Dans d'autres villes et campus universitaires marocains confrontés à la pénurie d'eau et à la variabilité climatique, l'adoption de l'approche modulaire et décentralisée de Kénitra peut améliorer la sécurité de l'approvisionnement en eau et promouvoir la gestion circulaire de l'eau. Les systèmes de réutilisation des eaux usées à petite et moyenne échelle, associés à des programmes de sensibilisation et de formation ciblés, peuvent être adaptés aux conditions locales. Ce modèle s'aligne sur les priorités nationales en matière d'utilisation durable de l'eau et d'adaptation au climat, offrant un cadre reproductible aux villes à la recherche de solutions rentables et résilientes.

Bibliographie

1. **Fanack Water. (n.d.).** *Water management in Morocco [La gestion de l'eau au Maroc].*
<https://water.fanack.com/morocco/water-management-in-morocco/>
2. **Université Ibn Tofail. (22 mars 2024).** *Ibn Tofail University's commitment to water stress challenges: Pioneering solutions for sustainable water management [L'engagement de l'université Ibn Tofail face aux défis liés au stress hydrique : des solutions pionnières pour une gestion durable de l'eau].*
<https://sd.uit.ac.ma/ibn-tofail-universitys-commitment-to-water-stress-challengespioneering-solutions-for-sustainable-water-management/>
3. **Université Ibn Tofail. (n.d.).** *Économie circulaire de l'eau : Made in Morocco.*
<https://sd.uit.ac.ma/economie-circulaire-de-leau-made-in-morocco/>
4. **Université Ibn Tofail. (n.d.).** *Station de dépuración et de recyclage des eaux usées de l'Université Ibn Tofail.* <https://sd.uit.ac.ma/station-depuracion-et-de-recyclage-des-eaux-usees-de-luniversite-ibn-tofail/>
5. **Université Ibn Tofail. (s.d.).** *Water Technology Platform [Plateforme technologique de l'eau].*
<https://sd.uit.ac.ma/watertechnologyplatform/>
6. **Pays membres de l'OMM. (2023).** *WMO Climatological Standard Normals for 1991–2020: Kenitra station (CSV) (NCEI Accession 0253808) [Dataset]. National Centers for Environmental Information [Normales climatologiques de l'OMM pour 1991-2020 : station de Kénitra (CSV) (NCEI Accession 0253808) [Ensemble de données]. Centres nationaux d'information environnementale.]*
<https://water.nature.org/waterblueprint/city/casablanca/#/c=7:32.29642:-6.68518>
7. **Banque mondiale. (2017).** *Managing Urban Water Scarcity in Morocco. Annexes to sections 2–4 [Gérer la pénurie d'eau en milieu urbain au Maroc. Annexes aux sections 2-4].*
<https://documents1.worldbank.org/curated/en/820871516882762722/pdf/122698-WP-v2-PUBLIC-annexes-to-sections-2-to-4.pdf>



Chapitre 2 : Intégration urbaine et planification régénérative

SHENZHEN, GUANGDONG, CHINE



Gestion des eaux pluviales et atténuation des inondations



Recharge des nappes phréatiques



Infrastructures vertes et bleues / solutions fondées sur la nature



Restauration des écosystèmes urbains et biodiversité



Modèles de gouvernance publique-privée et multiniveaux



Aperçu de la ville

Population: 13,545,000 (2025)

Typologie : mégapole côtière à forte densité et en rapide urbanisation, située dans un delta sujet aux inondations

Climat : climat subtropical humide influencé par les moussons (Köppen Cwa)

Précipitations : 1 933 mm/an (très élevées)

Risques liés à l'eau :

- **Inondations urbaines :** d'après l'évaluation nationale et municipale des risques d'inondation réalisée en 2016, Shenzhen comptait 446 sites identifiés comme inondables. La plus grande zone touchée s'étendait sur 500 000 m², avec des hauteurs d'inondation atteignant jusqu'à 2,5 m et pouvant durer jusqu'à quatre heures.
- **Pollution de l'eau :** jusqu'au début des années 2000, la baie de Shenzhen et le delta de la rivière des Perles ont connu une grave pollution de l'eau en raison de réglementations environnementales insuffisantes, du traitement inadéquat des eaux usées et du mauvais contrôle des sources.
- **Insécurité hydrique :** malgré des précipitations annuelles élevées, Shenzhen est confrontée à de graves pénuries d'eau, avec seulement 154,54 m³ d'eau disponible par personne et par an (7,7 % de la moyenne nationale), ce qui la place parmi les 10 villes chinoises les plus touchées par le stress hydrique.



Case study overview

Nom de l'initiative : Programme « Ville -éponge » de Shenzhen

Lieu : Shenzhen, Guangdong, Chine

Période :

- Programme chinois « Ville -éponge » : 2013 - ce jour (en cours)
- Programme « Ville -éponge » de Shenzhen :
 - 2016 - 2020 (planification et projet pilote à Fenghuangcheng, Guangming)
 - 2019 - ce jour (plan d'action en cours à l'échelle de la ville)

Type d'initiative :

- Recharge des nappes phréatiques
- Gestion des eaux pluviales et atténuation des inondations

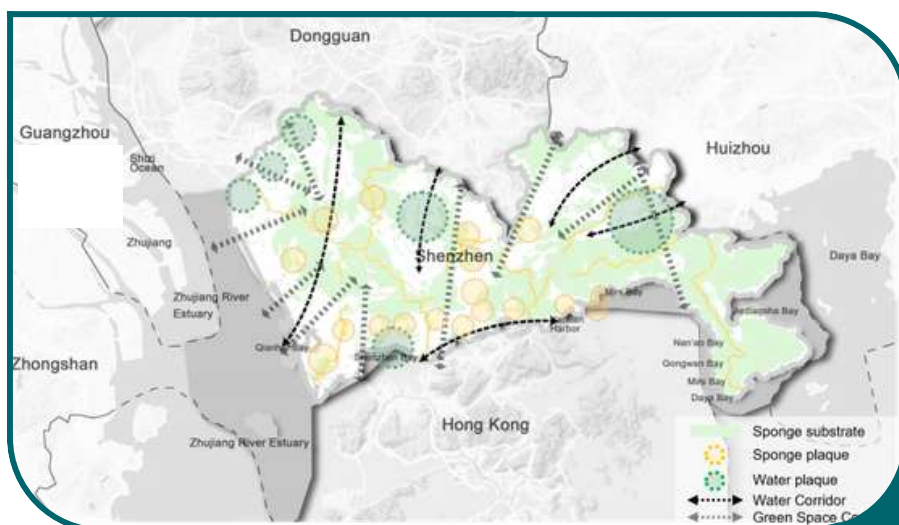
Échelle de l'initiative : à l'échelle de la ville

Responsables du projet : Ministère du Logement et du Développement urbain et rural, Autorité des eaux de Shenzhen, Bureau de construction de la ville éponge de Shenzhen, Bureaux des affaires hydrauliques au niveau des districts, Bureaux du développement urbain et rural au niveau des districts.

Objectif du projet : le projet PVE de Shenzhen est une initiative intégrée de gestion de l'eau urbaine visant à améliorer la résilience de la ville face aux inondations, à améliorer la qualité de l'eau et à développer les ressources en eau en utilisant des solutions fondées sur la nature.

Principales interventions

- **Planification d'une ville éponge fondée** sur l'analyse du niveau des nappes phréatiques et la capacité d'absorption de surface, permettant le développement de corridors verts et bleus interconnectés afin d'assurer une distribution de l'eau en plusieurs points. D'ici 2030, le projet comprendra 27 zones clés de construction de villes éponges, avec plus de 80 % de la zone bâtie de Shenzhen qui devrait répondre aux exigences des villes éponges.
- **Des toits et des murs verts** pour collecter et stocker les eaux pluviales (à l'image du projet de démonstration Green Cloud à Gangxia), l'excédent d'eau étant dirigé vers des réservoirs de stockage, où l'eau peut être traitée et réutilisée.
- **Des chaussées et des surfaces perméables** permettant à l'eau de s'infiltrer dans le sol.
- Des solutions fondées sur la nature, comprenant notamment des ceintures vertes à faible altitude, des jardins pluviaux, des zones humides artificielles et des fossés herbeux, comme dans le parc Xiangmi.
- **Des stations d'épuration des eaux pluviales**, utilisant un processus en trois étapes pour traiter les eaux de ruissellement, qui sont ensuite rejetées dans des zones humides artificielles, dirigées vers des plans d'eau naturels ou réutilisées dans les bâtiments à des fins non potables.

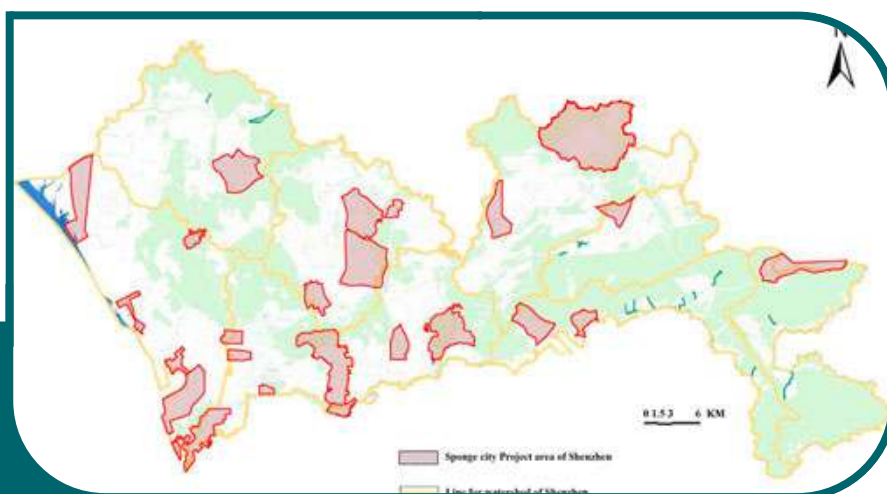


La structure spatiale du PVE de Shenzhen.

Source : [Jiang & Shan \(2021\)](#).

Zones du projet « ville éponge » par rapport aux bassins versants de Shenzhen.

Source : [Wang et al. \(2022\)](#).





Vue aérienne du parc Xiangmi, riche en biodiversité.
Source : mlaplus.com

Principaux résultats

- **Couverture de la ville éponge** : les infrastructures perméables de la ville éponge couvrent 235 km², soit 24 % de la superficie de Shenzhen (en 2020).
- **Réduction de la vulnérabilité aux inondations** : les infrastructures de la ville éponge captent jusqu'à 72 % des eaux pluviales dans certains quartiers, ce qui réduit considérablement le ruissellement de surface.
- **Amélioration de la qualité de l'eau** : les niveaux de pollution dans huit rivières de Shenzhen ont considérablement diminué, la qualité de l'eau répondant désormais aux normes nationales, ce qui indique des conditions propices à la vie aquatique.
- **Augmentation de la couverture végétale** : le projet a permis de mettre en place un réseau dense d'infrastructures vertes s'étendant sur plus de 2 300 km, comprenant des corridors verts, des forêts et des parcs.
- **Réduction de l'effet d'îlot de chaleur urbain** : les infrastructures de la ville éponge ont permis de réduire les températures dans le centre urbain, avec une baisse de 1,9 °C de la température maximale annuelle entre 2016 et 2018 dans des zones telles que Fenghuangcheng.
- **Amélioration de la qualité de vie urbaine** : grâce à la création de nouveaux espaces verts, à l'amélioration de l'aménagement paysager et à la dépollution des rivières, les habitants bénéficient désormais d'un meilleur accès aux espaces naturels et récréatifs.

Projet

Contexte

Au cours des quatre dernières décennies, Shenzhen s'est transformée d'un village de pêcheurs en un pôle économique majeur axé sur la technologie, les services financiers et la logistique dans le sud de la Chine. Cependant, cette urbanisation rapide, qui a entraîné des changements dans l'utilisation des sols, une augmentation de la densité de population et des changements du climat local, a considérablement accru le ruissellement de surface, les inondations urbaines et les risques d'inondation. De plus, la ville souffre de pénuries d'eau en raison de sa forte dépendance à l'égard de sources d'eau externes et de la demande en eau sans cesse croissante. En réponse à cette situation, le gouvernement de Shenzhen a désigné la ville comme faisant partie du deuxième groupe de villes pilotes nationales pour le développement de villes-éponges en avril 2016. Cette initiative vise à construire un modèle international de ville-éponge, à relever de manière systématique les défis liés à l'eau et à positionner Shenzhen comme un leader national en matière de gestion durable de l'eau.

Project description

Le programme « ville éponge » (PVE) est une stratégie globale de gestion de l'eau en milieu urbain qui vise à réduire le ruissellement de surface, la pollution de l'eau et les risques d'inondation, tout en utilisant des ressources en eau non conventionnelles pour remédier aux pénuries d'eau. Tout en s'inscrivant dans des concepts tels que le développement à faible impact (DFI), les systèmes de drainage urbain durables et la conception urbaine sensible à l'eau, le PVE adopte une approche de planification plus holistique et à plus grande échelle. Shenzhen a commencé à explorer les pratiques DFI en 2004 dans la nouvelle zone de Guangming (aujourd'hui district de Guangming), en se concentrant sur la gestion des eaux pluviales lors de fortes pluies grâce à des dispositifs favorisant l'infiltration, la rétention et le stockage de l'eau. Ces premiers projets DFI ont jeté les bases d'une extension du PVE à l'échelle de toute la ville. Contrairement aux interventions DFI isolées, le PVE représente un plan directeur à l'échelle de toute la ville visant à promouvoir le développement urbain durable et la résilience. Il intègre de manière coordonnée les infrastructures grises, vertes et bleues afin d'améliorer la santé des écosystèmes et de générer des avantages sociaux. Les principaux éléments du PVE de Shenzhen sont les suivants :

- i. Des évaluations préalables complètes des ressources naturelles, de l'hydrologie et du climat afin d'orienter l'aménagement du territoire.
- ii. Une stratégie unifiée de gestion de l'eau.
- iii. Des conceptions sur mesure qui répondent aux conditions environnementales et écologiques locales.

Coût total

Environ 34,5 à 48,3 milliards de yuans (4,2 à 5,9 milliards d'euros)

Technologies et solutions circulaires :

- **Bassins de bio rétention et voies vertes pour la gestion des eaux pluviales :** sur les différents sites, une combinaison de solutions fondées sur la nature est mise en œuvre pour collecter, filtrer et diriger les eaux pluviales à travers des zones de bio rétention et des corridors verts (figure 1). Il s'agit notamment de jardins pluviaux, de rigoles de drainage et d'étangs, utilisant de la végétation et des couches de matériaux de perméabilité variable, tels que des matières végétales, de l'écorce d'arbre, de l'argile et du calcaire. Ces systèmes fonctionnent ensemble pour ralentir le ruissellement, améliorer l'infiltration et retenir l'eau sous terre. Un réseau intégré de canalisations souterraines achemine l'eau collectée vers des bassins de stockage ou des points de drainage désignés, contribuant ainsi à la fois à l'atténuation des inondations et à la recharge des nappes phréatiques.

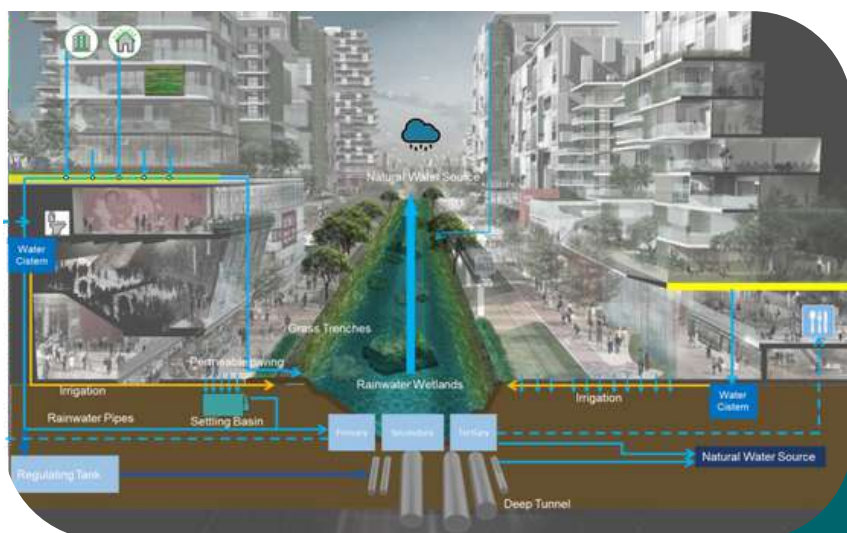


Figure 1. Vue en coupe illustrant les principaux composants de l'infrastructure d'une ville éponge. Source : [Bureau de construction de la ville éponge de Shenzhen \(2017\)](#).

- **Stations de traitement des eaux pluviales :** dans des sites tels que le parc Xiangmi, l'infrastructure verte et bleue est intégrée à un système de traitement des eaux pluviales en trois étapes. L'eau traitée est ensuite rejetée dans les zones humides, redirigée vers des plans d'eau naturels ou réutilisée dans les bâtiments à des fins non potables.
- **Revêtements et surfaces perméables pour améliorer l'infiltration :** les revêtements perméables permettent à l'eau de pluie de s'infiltrer dans le sol, réduisant ainsi le ruissellement et les inondations. Utilisées sur les trottoirs, les pistes cyclables et les routes, ces surfaces sont constituées de couches de gravier et de pierre qui imitent le sol naturel, ralentissant l'écoulement de l'eau et filtrant les polluants. Elles contribuent à prévenir l'engorgement des zones basses et favorisent la recharge des nappes phréatiques. Par exemple, la route n° 38, entièrement « éponge », retient jusqu'à 60 % des précipitations annuelles, réduit de plus de 50 % les polluants transportés par les eaux de pluie et diminue la consommation d'eau de 15 %.
- **Toits et murs végétalisés :** comme mis en œuvre dans le projet de démonstration Green Cloud à Gangxia, ces aménagements collectent et stockent l'eau de pluie, l'excédent étant dirigé vers des réservoirs de stockage d'eau, où elle peut être traitée et réutilisée.

Tableau 1. Mise en œuvre du concept de ville éponge au niveau du district à Shenzhen : le cas de Fenghuangcheng

Depuis avril 2016, la zone de Fenghuangcheng, dans le district de Guangming, à Shenzhen, sert de projet pilote pionnier pour la construction de villes éponges. Ce projet a établi un modèle de référence pour la construction de ville éponge qui est désormais reproduit dans toute la Chine.	
Début du projet pilote : avril 2016	Superficie : 24,6 km ² (dont six villages urbains et 64 anciennes zones industrielles)
Principaux promoteurs : Autorité de l'eau du district de Guangming, Bureau du développement urbain et rural Coordination et supervision : Bureau municipal de la planification et des ressources naturelles de Shenzhen ; Bureau de l'environnement écologique Communauté : 18 projets impliquant les résidents locaux, les écoles et les entreprises	Actions clés : • Création de zones de contrôle écologique (3,8 km²), de voies vertes (47 km) et d'un espace écologique côtier (40 ha). • Construction de canalisations de dérivation des eaux pluviales et des eaux usées. • Modernisation des installations de traitement des eaux usées et du réseau d'égouts grâce à un partenariat public-privé (PPP).
Impact: • Réduction de l'engorgement et de la pollution. • Amélioration de la résilience urbaine et de la santé écologique. • Réduction de l'effet d'îlot de chaleur urbain.	



Vue aérienne du projet Green Cloud à Gangxia.
Source : [Qiang & Yu \(2020\)](#).

Historique de planification et de mise en œuvre des politiques

2004

Shenzhen commence à mettre en œuvre des pratiques DFI dans le district de Guangming, jetant les bases des futures initiatives de ville éponge.

December 2013

le président Xi Jinping approuve officiellement le concept de ville éponge.

October 2014

le ministère du Logement et du Développement urbain et rural publie les Directives techniques pour la construction de villes-éponges et lance le programme national PVE afin d'améliorer la gestion de l'eau et la résilience urbaines.

2015

- *Le Conseil d'État publie les Avis d'orientation sur la construction de villes-éponges (Guobanfa [2015] n° 75), fixant comme objectif aux villes de gérer 70 % des eaux pluviales par absorption, rétention et réutilisation.*
- *L'initiative d'amélioration de la qualité de l'eau à Shenzhen (2015-2020) propose un plan complet axé sur quatre principes : la gestion des ressources en eau, la récupération de l'eau dans l'environnement, la sécurité sanitaire de l'eau et l'amélioration des plans d'eau visibles.*

2015 - 2016

Les villes sont sélectionnées pour la première série de villes pilotes du programme national PVE, avec 16 villes annoncées en 2015 et 14 en 2016.

2018

Shenzhen met en œuvre des exigences de construction spécifiques, avec des réglementations imposant que les nouveaux projets, ainsi que les projets rénovés et agrandis respectent des ratios de surface perméable spécifiques et intègrent des installations éponge telles que des espaces verts en contrebas et des jardins pluviaux.

April 2016

Shenzhen est désignée comme faisant partie du deuxième groupe de villes pilotes du programme national PVE. La ville élabore un cadre de planification à trois niveaux comprenant les niveaux municipal, régional et local, couvrant 27 zones clés totalisant environ 312,7 km².

December 2018

Publication de mesures provisoires pour la construction et la gestion de la ville éponge de Shenzhen, couvrant des aspects allant de la planification et de la construction à l'exploitation et à la maintenance (E&M), afin de standardiser les pratiques des villes éponges.

January 2019

Shenzhen promulgue le *Plan spécial de planification et de mise en œuvre pour la construction de la ville éponge de Shenzhen (optimisation)*, visant à minimiser l'impact écologique du développement urbain grâce à des mesures couvrant l'infiltration, la rétention, le stockage, la purification, l'utilisation et le rejet, en intégrant des technologies de pointe telles que le cloud computing (informatique en nuage) et le big data (analyse de masse de données)



Impacts climatiques et environnementaux :

- **Atténuation** : le PVE de Shenzhen a créé environ 2 300 km de voies vertes et d'espaces verts, notamment à Fenghuangcheng, dans le parc Xiangmi et dans la ville aquatique de Qianhai, qui contribuent à la capture du carbone. Par exemple, le Parc écologique du littoral de la mangrove (Mangrove Seashore Ecological Park) (figure 2) capture environ 934 tonnes de carbone par an.
- **Adaptation et résilience** : Le PVE de Shenzhen a considérablement amélioré la gestion de l'eau en milieu urbain et renforcé la résilience de la ville en minimisant les impacts des inondations, en améliorant la qualité de l'eau et en renforçant les services écosystémiques. Les zones conformes aux normes de ville éponge ont réduit leur ruissellement des eaux pluviales de 75 % et sont capables de capter et d'utiliser jusqu'à 70 % des précipitations locales, ce qui augmente considérablement la capacité de Shenzhen à s'adapter aux inondations urbaines. Le PVE a également contribué à réduire l'effet d'îlot de chaleur urbain. Fenghuangcheng, qui a été une zone pionnière de la ville dans l'adoption des principes de la ville éponge et des infrastructures vertes, a connu une diminution de 1,9 °C de sa température annuelle maximale.
- **Biodiversité** : sur le plan écologique, la restauration de la végétation riveraine contribue à améliorer progressivement la biodiversité urbaine. Cela favorise la restauration écologique en aidant à rétablir l'intégrité des écosystèmes. Dans le Parc écologique du littoral de la mangrove (Mangrove Seashore Ecological Park), par exemple, le nombre d'espèces d'oiseaux est passé de 53 à 80 en 2023 par rapport à 2016, et la population totale d'oiseaux a augmenté de 34,5 % (figure 2).



Figure 2. Espèces d'oiseaux présentes au Mangrove Seashore Ecological Park.
Source : [Lu et al. \(2022\)](#).

Financement et subventions :

- **Coût** : mise en œuvre d'infrastructures urbaines éponge conformes aux normes par km²: 150 à 200 millions de yuans (18,3 à 24,4 millions d'euros).
- **Sources et instruments de financement** :
 - **Gouvernement national** : le PVE national a distribué 1,2 à 1,8 milliard de yuans (145 à 218 millions d'euros) sur trois ans aux gouvernements locaux pour rénover les espaces urbains existants.
 - **Gouvernement local** : le gouvernement de Shenzhen a pris en charge les coûts d'investissement restants, estimés entre 33 et 46 milliards de yuans (4,0 à 5,6 milliards d'euros).

- **Secteur privé** : la participation du secteur privé aux initiatives de villes-éponges, principalement par le biais de PPP et de subventions, en est encore à ses débuts. Cependant, lorsqu'il est impliqué, le secteur privé est censé financer jusqu'à 50 % du total des investissements. Dans le district de Guangming, par exemple, le projet d'intégration du réseau de stations d'épuration, qui comprend la construction d'une station d'épuration d'une capacité de traitement de 300 000 m³/jour et d'un réseau de canalisations d'égouts de 982 km, est mis en œuvre dans le cadre d'un PPP. Une entreprise privée contribue à hauteur de 51 % du coût total de l'investissement, qui s'élève à 1,6 milliard de yuans (188,9 millions d'euros), le gouvernement couvrant le reste.
- **Analyse coûts-avantages** :
 - Les avantages économiques des projets de villes-éponges sont les suivants :
 - Réduction des pertes économiques dues aux dégâts causés par les inondations sur les industries et les infrastructures municipales.
 - Réduction des coûts d'approvisionnement en eau pendant les périodes de pénurie.
 - Réduction des risques pour l'agriculture et la santé publique résultant de la pollution de l'eau.
 - Création d'emplois grâce à la construction et à l'exploitation et la maintenance des infrastructures des villes-éponges.
 - Augmentation des recettes touristiques grâce aux nouveaux espaces de loisirs créés.
 - Amélioration des avantages sociaux grâce à un meilleur accès aux possibilités de loisirs dans les parcs et les espaces verts.
 - Dans le cadre de l'initiative « ville éponge » de Changde, par exemple, une étude a démontré que les avantages économiques sur une période de 10 ans ont largement dépassé les coûts. Le projet a généré plus de 538,4 millions de yuans (64,2 millions d'euros) de revenus pour un investissement de 382 millions de yuans (45,6 millions d'euros), soit un ratio coûts-avantages de 1,4. D'autres études indiquent une période de retour sur investissement de 6 à 12 ans, selon les conditions urbaines locales.

Engagement des parties prenantes et inclusion sociale :

- **Gouvernance transversale** : des groupes de travail interdépartementaux ont été créés au niveau municipal et au niveau des districts. Au niveau municipal, le bureau chargé de la construction de la ville éponge de Shenzhen est responsable de la planification et de la coordination globales, tandis que des bureaux correspondants opèrent au niveau des districts. Étant donné que le PVE de Shenzhen est étroitement lié à la restauration des milieux aquatiques, le Bureau des affaires de l'eau, tant au niveau municipal qu'au niveau local, joue également un rôle essentiel.
- **Engagement communautaire** : les initiatives de ville éponge travaillent en étroite collaboration avec les communautés locales pour définir le périmètre des interventions et les opérations et la maintenance qui en découlent. Par exemple, le Parc écologique de la mangrove de Futian (Futian Mangrove Ecological Park), géré par la Fondation pour la conservation de la mangrove (Mangrove Conservation Foundation), a mis en œuvre des programmes de sensibilisation communautaire, notamment des centres d'éducation à la nature et des activités d'observation des oiseaux, afin de sensibiliser le public et de le faire participer à la protection de l'environnement.

Facteurs de réussite



Valeurs : en présentant la ville comme une éponge, le PVE de Shenzhen promeut des principes de gestion circulaire et résiliente de l'eau au sein des pratiques des autorités locales et de la société civile

- **Absorption et stockage de l'eau** : utilisation de surfaces perméables et d'éléments tels que des lacs et des bassins de rétention pour collecter et stocker l'eau de pluie à sa source.
- **Régulation du débit et purification** : ralentissement et filtration de l'eau grâce à des canaux sinueux et des zones humides afin d'améliorer la qualité de l'eau et de réduire le ruissellement.
- **Intégration écologique** : protection des berges naturelles en tant que zones tampons et réservoirs, tout en limitant un développement urbain dense afin de renforcer la résilience hydrique et les écosystèmes.



Connexions:

1. **Connexions physiques** : le PVE de Shenzhen s'appuie sur un plan global et intégré qui relie divers systèmes d'eaux souterraines et de bassins versants grâce à des voies vertes et des infrastructures bleues.
2. **Connexions sociales** : au niveau national, les villes pilotes sont encouragées à participer à des événements de réseautage et à partager les leçons apprises. Au niveau municipal et régional, des groupes de travail interdépartementaux ont été créés pour coordonner la mise en œuvre entre les différentes agences. Un bureau municipal dédié à la construction de la ville éponge dirige la planification et la coordination globales, tandis que les bureaux régionaux sont chargés de gérer et d'exécuter les projets locaux. Des instituts de recherche et des ONG, tels que The Nature Conservancy, ont également pris part au réseau de politiques de la ville éponge et soutiennent sa mise en œuvre. Enfin, les initiatives de ville éponge telles que celle de Shenzhen collaborent avec les communautés locales afin de déterminer les travaux à réaliser et d'assurer une exploitation et une maintenance durables.



Investissements : Le modèle de financement du programme « ville éponge » à Shenzhen repose sur un financement à plusieurs niveaux, combinant subventions gouvernementales nationales, des budgets des collectivités locales et des contributions du secteur privé par le biais de PPP. Malgré des coûts d'investissement initiaux élevés, le programme présente une forte justification économique, notamment en évitant les pertes économiques liées aux inondations. Cet avantage en termes de réduction des risques, combiné à des avantages connexes tels que l'amélioration de la qualité de vie urbaine et de la sécurité hydrique, renforce l'intérêt d'investir dans les infrastructures de la ville éponge.



Vue aérienne du parc forestier de Dadingling, vers 2021.
Source : [Thornett \(2023\)](#).



Parc de la baie de Shenzhen, présentant des voies vertes pour la rétention des inondations et des pistes cyclables avec une surface perméable.
Source : [Thornett \(2023\)](#).

Réplicabilité

Le modèle de ville éponge, tel qu'il est appliqué à Shenzhen, présente un fort potentiel de reproductibilité dans les villes du monde entier confrontées à des risques croissants d'inondations et de stress hydrique, y compris celles du Maroc. L'accent mis sur des infrastructures décentralisées et fondées sur la nature, telles que les chaussées perméables, les bassins de rétention et les corridors verts, offre des solutions rentables et multifonctionnelles adaptées aux zones urbaines densément peuplées. De nombreuses solutions de type « ville éponge » sont adaptables à différentes échelles, allant des bâtiments individuels et des communautés jusqu'aux quartiers et aux villes entières, en fonction des conditions locales telles que les précipitations, la température et la nature du sol. Dans des villes comme Tétouan ou Tanger, où les inondations soudaines et la pénurie d'eau se conjuguent, les techniques de type « ville éponge » pourraient contribuer à gérer le ruissellement, à améliorer la recharge des nappes phréatiques et à améliorer les espaces publics, les positionnant ainsi comme des modèles de résilience urbaine dans des contextes similaires, semi-arides et en forte urbanisation.

L'approche de financement à plusieurs niveaux et les structures de planification coordonnées du projet peuvent également inspirer des initiatives marocaines. Si certaines interventions à Shenzhen ont nécessité des investissements importants, la nature modulaire et décentralisée de nombreuses techniques « éponge », en particulier celles appliquées aux bâtiments privés ou aux zones urbaines plus petites, offre aux villes marocaines aux capacités financières plus limitées la possibilité de mettre en œuvre et de déployer progressivement des solutions inspirées du concept « éponge ».

Bibliographie

1. **Feng, Y. (11 juillet 2024).** *How China's most 'futuristic' city restored its mangrove (Comment la ville la plus « futuriste » de Chine a restauré ses mangroves).* *New Security Beat.* <https://www.newsecuritybeat.org/2024/07/how-chinas-most-futuristic-city-restored-its-mangroves/>
2. **Gouvernement du district de Guangming. (29 octobre 2020).** *Ville éponge.* <https://www.szgm.gov.cn/english/topic/SpongeCity/index.html>.
3. **Association internationale de l'eau. (Décembre 2016).** *City Water Stories : Shenzhen – Solutions to Shenzhen's Resource Shortages (Solutions aux pénuries de ressources à Shenzhen) [PDF].* https://www.iwa-network.org/wp-content/uploads/2016/12/IWA_City_Stories_Shenzhen.pdf
4. **Jenkins, M. (2 avril 2020).** *Sponge City: Shenzhen explores the benefits of designing with nature. {Ville éponge : Shenzhen explore les avantages d'une conception en harmonie avec la nature}.* *Lincoln Institute of Land Policy.* <https://www.lincolnst.edu/publications/articles/sponge-city-shenzhen-explores-benefits-designing-with-nature>
5. **Jenkins, M. (2 avril 2020).** *Sponge City: Shenzhen explores the benefits of designing with nature. {Ville éponge : Shenzhen explore les avantages d'une conception en harmonie avec la nature}.* *Lincoln Institute of Land Policy.* <https://www.lincolnst.edu/publications/articles/sponge-city-shenzhen-explores-benefits-designing-with-nature>
6. **Jiang, Y., & Shan, S. (11 décembre 2021).** *Shenzhen's next nickname: The big sponge. (Le prochain surnom de Shenzhen : la grande éponge.)* <https://www.urbanwateratlas.com/2021/12/11/shenzhens-next-nickname-the-big-sponge/en.wikipedia.org+8>
7. **Landscape China. (s.d.).** *一方/未名新作首发 | 深圳岸线与候鸟共栖-基于NbS的福田红树林国家级自然保护区鸟类生境修复[Coexister avec les oiseaux migrateurs le long du littoral de Shenzhen : restauration de l'habitat des oiseaux dans la réserve naturelle nationale de Futian Mangrove grâce à des solutions fondées sur la nature].* <https://www.landscape.cn/landscape/12375.html>
8. **Landscape Performance Series. (2011).** *Shenzhen Bay Coastal Park Phase 1. (Parc côtier de Shenzhen Bay, phase 1.)* <https://www.landscapeperformance.org/case-study-briefs/shenzhen-bay-coastal-park-phase-1>.
9. **MLA+. (n.d.).** *Biodiverse Xiangmi Park (Le Parc Xiangmi et sa biodiversité).* <https://mlaplus.com/website/biodiverse-xiangmi-park/>
10. **Qiang, V., & Yu, X. (22 mars 2020).** *The Green Cloud: A rooftop story from Shenzhen—a living sponge space inside an urban village. (Le nuage vert : une histoire de toit à Shenzhen, un espace éponge vivant au cœur d'un village urbain).* *The Nature of Cities.* <https://www.thenatureofcities.com/2020/03/22/the-green-cloud-a-rooftop-story-from-shenzhen-a-living-sponge-space-inside-an-urban-village/>
11. **Shenzhen Municipal Discipline Inspection Commission & Supervisory Bureau. (Commission municipale d'inspection disciplinaire et bureau de supervision de Shenzhen). (s.d.).** *深圳划定27个海绵城市建设重点片区 到2030年建成区80%以上的面积将达到海绵城市要求 [Shenzhen désigne 27 zones clés pour le développement de villes-éponges. D'ici 2030, plus de 80 % des zones bâties répondront aux exigences des villes-éponges].* http://www.szsdfw.gov.cn/szsd/content/post_582530.html
12. **Gouvernement municipal de Shenzhen. (24 février 2018).** *Guangming New Area Sponge City PPP project starts the year with good news (Le projet PPP de la ville éponge de la nouvelle zone de Guangming commence l'année avec de bonnes nouvelles).* *Shenzhen Special Zone Daily.* https://www.sz.gov.cn/cn/xxgk/zfxgj/zwdt/content/post_1454836.html

- 13. Gouvernement municipal de Shenzhen. (8 octobre 2024).** *Regulations of Shenzhen Municipality on the Administration of Building Sponge City. (Règlement de la municipalité de Shenzhen sur l'administration de la construction de la ville éponge).* Shenzhen Municipal Bureau of Justice (Bureau municipal de la justice de Shenzhen). https://sf.sz.gov.cn/fggzywyb/content/post_11584273.html
- 14. Gouvernement municipal de Shenzhen. (s.d.).** *Sponge City. (Ville éponge).* <https://www.szgm.gov.cn/english/topic/SpongeCity/index.html>
- 15. Sina News. (21 février 2024).** 這條2400公里的綠道讓「深圳藍」背後的「深圳綠」迅速圈粉，住在森林... https://k.sina.cn/article_1895096900_70f4e244034002oja.html
- 16. Thornett, R. C. (18 janvier 2023).** *Becoming a 'Sponge City' at Shenzhen speed (Devenir une « ville éponge » à la vitesse de Shenzhen).* *The Diplomat.* <https://thediplomat.com/2023/01/becoming-a-sponge-city-at-shenzhen-speed/>
- 17. United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific. (Commission économique et sociale des Nations Unies pour l'Asie et le Pacifique). (2020).** *Session 8.1: Shenzhen Sponge City Programme in Guangming District (Session 8.1 : Programme « ville éponge » de Shenzhen dans le district de Guangming)* [PDF]. https://www.unescap.org/sites/default/d8files/event-documents/Session%208_1.%20Shenzhen%20Sponge%20City%20Programme%20in%20Guangming%20District.pdf
- 18. United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (Commission économique et sociale des Nations Unies pour l'Asie et le Pacifique). (Septembre 2021).** *Session 8.1: Shenzhen Sponge City Programme in Guangming District (Session 8.1 : Programme « Shenzhen Sponge City » dans le district de Guangming)* [PDF]. https://www.unescap.org/sites/default/d8files/event-documents/Session%208_1.%20Shenzhen%20Sponge%20City%20Programme%20in%20Guangming%20District.pdf
- 19. Urban Nature Atlas. (Atlas de la nature urbaine). (Octobre 2021).** *Le projet Green Cloud (The Green Cloud Project) – Gangxia 1980, Shenzhen.* <https://una.city/nbs/shenzhen/green-cloud-project-gangxia-1980>
- 20. Wang, Y., Jiang, Z., & Zhang, L. (2021).** *Sponge city policy and sustainable city development: The case of Shenzhen (Politique des villes éponges et développement urbain durable : le cas de Shenzhen).* *Frontiers in Environmental Science*, 9, 772490. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.772490>
- 21. Wang, Y., Jiang, Z., & Zhang, L. (2022).** *Sponge city policy and sustainable city development: The case of Shenzhen (Politique de la ville éponge et développement urbain durable : le cas de Shenzhen).* *Frontiers in Environmental Science*, 9, 772490. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.772490>
- 22. Xu, D., Ouyang, Z., Wu, T., & Han, B. (2020).** *Dynamic trends of urban flooding mitigation services in Shenzhen, China (Tendances dynamiques des services d'atténuation des inondations urbaines à Shenzhen, en Chine).* *Sustainability*, 12(11), 4799. <https://doi.org/10.3390/su12114799>
- 23. Zhu, Y., Xu, C., Yin, D., Xu, J., Wu, Y., & Jia, H. (2022).** *Environmental and economic cost-benefit comparison of sponge city construction in different urban functional regions. Journal of Environmental Management, (Comparaison des coûts et avantages environnementaux et économiques de la construction de villes-éponges dans différentes régions urbaines fonctionnelles).* *Journal of Environmental Management*, 304, 114230. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114230>



Chapitre 2 : Intégration urbaine et planification régénérative

GOOGONG, NOUVELLE-GALLES DU SUD (NSW), AUSTRALIE



Récupération et réutilisation des eaux de pluie



Gestion des eaux pluviales et atténuation des inondations



Recharge des nappes phréatiques



Recyclage et réutilisation centralisés de l'eau



Infrastructures vertes et bleues / solutions fondées sur la nature



Modèles de gouvernance publique-privée et multiniveaux



Aperçu de la ville

Population :

- 2025 : 10 500
- Milieu des années 2030 (prévisions) : 18 000

Climat : climat océanique avec des étés chauds et des hivers frais (Köppen Cfb)

Précipitations : 590 mm/an (modérées) (avec une forte variabilité interannuelle et des sécheresses pluriannuelles)

Risques liés à l'eau :

- **Pénurie chronique d'eau**, avec des sécheresses prolongées et des pénuries d'eau, comme on l'a vu lors de la sécheresse du millénaire (2001-2009) et de la sécheresse de 2019.
- **Dépendance vis-à-vis des ressources limitées en eau de surface** provenant de la rivière Queanbeyan et du barrage de Googong, qui sont déjà mises à rude épreuve en raison du développement de la région de Canberra.
- **Inondations et érosion** dues aux **eaux pluviales** en raison de l'urbanisation rapide d'anciennes terres rurales, augmentant le ruissellement et provoquant des crues soudaines et une érosion en aval.
- **La croissance régionale rapide** accentue l'urgence de mettre en place des infrastructures résilientes et de protéger les ressources en eau vitales contre la pollution et la surexploitation.



Présentation

Nom du projet : Cycle intégré de l'eau (CIE) de Googong

Lieu : Googong, Nouvelle-Galles du Sud (NSW), Australie

Période :

- 2002-2011 : planification
- 2012-présent : développement urbain en cours
- 2013-2020 : mise en œuvre du système du CIE

Type de projet : Traitement et réutilisation décentralisés des eaux usées ; collecte et réutilisation des eaux de pluie ; gestion des eaux pluviales et atténuation des inondations

Échelle du projet : Quartier/district

Principaux responsables du projet : Peet Limited (anciennement Canberra Investment Corporation) et Mirvac (promoteurs immobiliers conjoints) ; Icon Water (service public local) ; Queanbeyan-Palerang Regional Council (exploitant du CIE)

Objectif du projet : créer l'une des premières communautés à grande échelle sensibles à l'eau en Australie, en utilisant le recyclage des eaux usées sur place et la collecte des eaux de pluie afin de réduire la consommation d'eau potable, d'assurer un approvisionnement durable en eau pour la nouvelle ville de Googong, qui compte 18 000 habitants, et de protéger le barrage de Googong.

Principales interventions

- **Développement de la commune** : grâce à un processus de planification globale, Googong a été développée comme une nouvelle ville dans la zone périurbaine à la périphérie de Canberra, avec pour objectif final d'accueillir 18 000 habitants.
- **Infrastructure locale de recyclage de l'eau** : une usine de recyclage de l'eau (URE) de Googong traite les eaux usées de la nouvelle ville selon des normes élevées, afin qu'elles puissent être réutilisées à des fins non potables. Avec une capacité de 3 millions de litres par jour (MLJ) et soutenue par un réservoir d'eau recyclée de 8,5 millions de litres, elle fournit de l'eau pour l'irrigation des espaces publics, des jardins résidentiels, la chasse d'eau des toilettes et d'autres applications non potables.
- **Double réseau de distribution** : cela implique l'installation d'un système de distribution d'eau recyclée de 29 km parallèlement à la canalisation d'eau potable. Reconnaissable à ses tuyaux et raccords violets, le réseau alimente en eau traitée toutes les propriétés de Googong, permettant ainsi à tous les bâtiments de réduire leur consommation d'eau douce.
- **Récupération des eaux de pluie des ménages** : des réservoirs d'eau de pluie installés dans chaque résidence captent les eaux de ruissellement des toits pour les réutiliser sur place. L'eau de pluie collectée est utilisée dans les machines à laver et pour l'irrigation des jardins. Dans des conditions normales, l'eau de pluie et l'eau recyclée répondent à la plupart des besoins en eau non potable des ménages.
- **Aménagement urbain sensible à l'eau** : les rues intègrent des surfaces perméables et des rigoles de rétention biologique, tandis que la commune dispose de bassins de rétention et de zones humides artificielles qui traitent et ralentissent le ruissellement des eaux pluviales.
- **Mise en œuvre par étapes** : Le projet du CIE de Googong est mis en œuvre en quatre étapes, en fonction de la croissance de la commune. La première étape, achevée en 2015, comprenait la construction d'une URE ainsi que les canalisations et les réservoirs de stockage associés, avec une capacité de traitement de 1 MLJ et desservant environ 4 700 habitants. En 2020, après des tests et la mise en service, l'eau traitée a commencé à être recyclée et réapprovisionnée dans les habitations. La dernière extension a été achevée en 2023 et a porté la capacité de l'usine à 3 millions de litres par jour (MLJ).

Principaux résultats

- **Économies d'eau potable** : le projet a permis de réduire d'environ 60 % la consommation d'eau potable. Une fois la population atteinte de son plein potentiel, les 18 000 habitants de la commune ne consommeront pas plus d'eau potable que 6 500 personnes dans une ville australienne type, ce qui allégera la pression sur l'approvisionnement en eau et les infrastructures régionales, notamment le barrage de Googonong.
- **Réutilisation élevée des eaux usées** : au total, 62 % des eaux usées sont recyclées sur place et réutilisées à des fins non potables, ce qui réduit les volumes de rejet et fournit une source d'eau secondaire fiable. Les effluents traités répondent aux normes de la NSW Health (ministère de la Santé de Nouvelle-Galles du Sud) et de la NSW Environment Protection Authority (Agence de protection de l'environnement de Nouvelle-Galles du Sud) en matière de réutilisation non potable, la qualité de l'eau étant surveillée en permanence pour détecter la présence d'agents pathogènes, de nutriments et de turbidité.
- **Gestion efficace des eaux pluviales** : la conception sensible à l'eau réduit les pics de débit des eaux pluviales et améliore la qualité des eaux de ruissellement qui se déversent dans les ruisseaux locaux, tout en améliorant la recharge des nappes phréatiques et en atténuant l'érosion lors de fortes pluies.

- **Résilience accrue à la sécheresse** : le système intégré répond à tous les besoins en eau non potable grâce à l'eau recyclée ou collectée dans des conditions normales. Pendant la sécheresse de 2019-2020, alors que les villes voisines imposaient des restrictions, Googong a maintenu ses espaces verts et ses services essentiels, démontrant ainsi la fiabilité de son cycle interne de l'eau.
- **Avantages économiques et infrastructurels** : Googong est largement reconnu comme un exemple phare de développement communautaire sensible à l'eau. Il a remporté de nombreux prix, dont l'accréditation 5 Green Star du Green Building Council, et est l'un des développements immobiliers les plus vendus en Australie, avec plus de 10 500 résidents.

Coût total

- CIE : 133 millions de dollars australiens (74,2 millions d'euros)
- Développement de la commune : 2,2 milliards de dollars australiens (1,2 milliard d'euros)

Projet

Contexte

Au début des années 2000, les autorités chargées de l'aménagement du territoire ont identifié Googong, un ancien pâturage de 780 hectares situé à 16 km au sud-est de Canberra, comme un site clé pour répondre à la demande croissante de logements dans la région (figure 1). Cependant, l'approvisionnement en eau de cette nouvelle ville posait un défi majeur. À l'époque, la région était touchée par la grave sécheresse du millénaire (2001-2009), et il était impossible d'ajouter des milliers de nouveaux consommateurs d'eau au système déjà saturé de la rivière Queanbeyan et du barrage de Googong. De plus, la réglementation environnementale exigeait que le nouveau développement ne compromette pas le barrage de Googong, un réservoir d'eau potable protégé.

En réponse, les promoteurs immobiliers Peet Limited et Mirvac, en étroite collaboration avec les urbanistes de l'État et le conseil municipal, ont proposé un modèle de cycle intégré de l'eau (CIE). En réduisant considérablement les besoins en eau externes et en recyclant l'eau en interne, le CIE permettrait à la ville de s'étendre à 6 000 logements, accueillant 18 000 habitants avec un impact minimal sur l'approvisionnement en eau de la région.

Description du projet

Lancé parallèlement à la première phase de construction de la ville en 2015, le projet du CIE de Googong est une solution complète de gestion de l'eau en circuit fermé. Intégré au plan directeur de Googong (figure 2), le CIE est conçu pour desservir l'ensemble de la communauté. Les eaux usées de toutes les propriétés sont acheminées par canalisation vers l'usine de recyclage de l'eau (URE) de Googong, où elles sont traitées selon des normes élevées, conformément à la stratégie nationale australienne de gestion de la qualité de l'eau. Plus de 60 % des effluents traités sont recyclés, stockés dans des réservoirs dédiés (figure 3) et distribués via un réseau de distribution séparé pour des usages non potables, fonctionnant en parallèle avec celui de l'eau potable (figure 4). La récupération des eaux de pluie complète ce système : chaque propriété est équipée de

réservoirs qui collectent les eaux de ruissellement des toits, raccordés à des installations non potables telles que les systèmes de blanchisserie, ce qui réduit encore la demande. Ensemble, ces mesures ont permis de réduire la consommation d'eau potable d'environ 60 %.

Mis en œuvre par étapes progressives, le CIE intègre également une conception urbaine sensible à l'eau pour la gestion des eaux pluviales. Des surfaces perméables, des rigoles, des zones d'infiltration et des bassins de rétention sont intégrés dans tout Googong afin de réduire le ruissellement, d'améliorer la qualité de l'eau et de favoriser la recharge des nappes phréatiques.

Le cycle de l'eau de Googong est en grande partie autonome : le seul apport important est un petit volume d'eau douce, tandis que l'excès d'eau recyclée et les effluents traités ne sont rejetés que dans des conditions contrôlées, pendant les périodes de faible demande. Le CIE est devenu la pierre angulaire de la stratégie de développement de Googong, ouvrant la voie au recyclage décentralisé de l'eau à grande échelle et créant un précédent national dans l'Australie post-sécheresse.



Figure 1. La ville de Googong et son contexte géographique.



Figure 2. Plan directeur de Googong.



Figure 3. Réservoirs de stockage d'eau recyclée.

Source : Australian Water Association (2023).

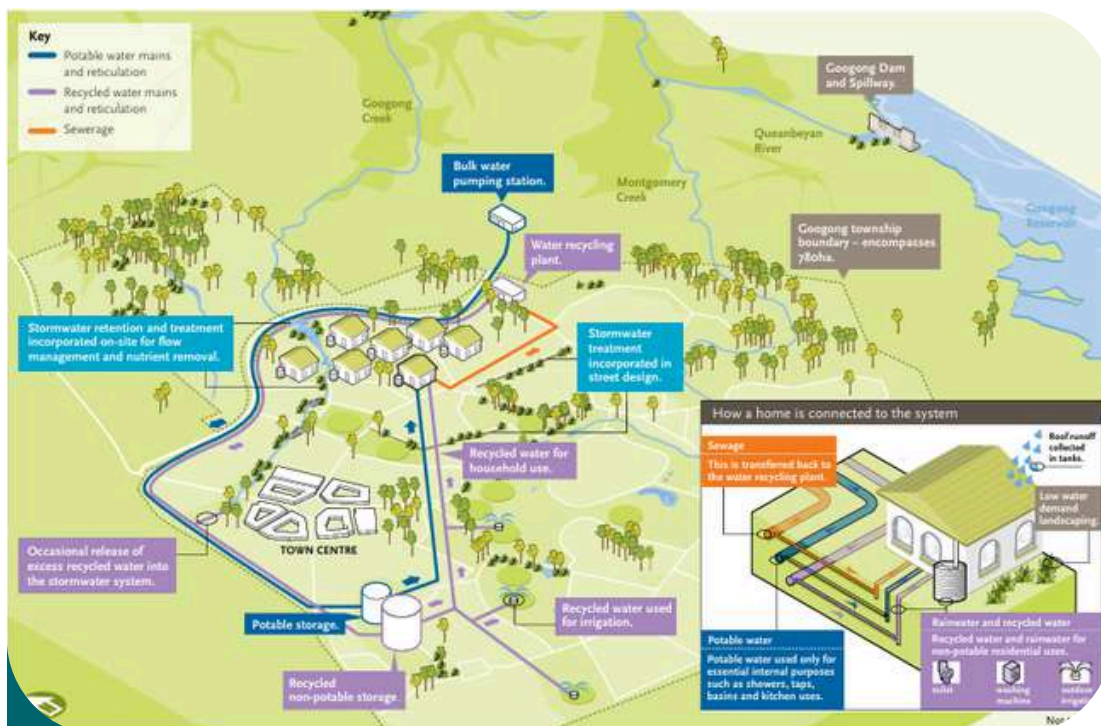


Figure 4. Illustration simplifiée du double réseau de distribution de Googong.

Source : CIC Australia (n.d.).

Solutions circulaires et résilientes

Recyclage avancé des eaux usées : l'URE de Googong utilise une technologie de traitement moderne pour produire une eau recyclée de haute qualité destinée à un usage non potable et à un rejet contrôlé dans l'environnement. Le processus de traitement comprend les étapes suivantes (figures 5 et 6) :

- Ouvrages d'entrée pour le traitement préliminaire
- Bioréacteur à membrane (MBR) pour le traitement des eaux usées
- Élimination tertiaire du phosphore
- Désinfection par rayons UV
- Désinfection au chlore

Réutilisation des biosolides : l'URE comprend des installations de traitement des boues, produisant des biosolides qui sont réutilisés hors site pour l'agriculture ou l'amélioration des sols.



Figure 5. Processus de traitement des eaux usées de Googong.
Source : [Conseil régional de Queanbeyan-Palerang \(n.d.\)](#).

Double système de distribution : un réseau parallèle de canalisations codées en violet achemine l'eau recyclée vers toutes les toilettes, les robinets de jardin et les systèmes d'irrigation de Googong (figure 7). Séparé du réseau de distribution d'eau potable, il comprend des réservoirs et des stations de pompage dédiés. Tous les composants sont clairement étiquetés afin d'éviter les connexions croisées et de sensibiliser le public au fait que l'eau n'est pas potable (figure 8).

Supply	
Supply	Connection point
Drinking water supply	Shower/bath cold water
	Kitchen, bathroom and laundry tub cold water
	Hot water system
	Dedicated outdoor drinking water taps (uses include pool filling and pool top up)
	Air-conditioner/cooling system
	Refrigerator (if required for icemaker)
	Dishwasher
	Backup hot and cold taps for washing washine
Rainwater supply	Washing machine primary cold water tap
Recycled water supply	Dedicated outdoor gardening and irrigation taps (minimum of 2 external taps)
	Toilet
Drainage	
Drains to	Drainage point
Sewer	Shower/bath
	Kitchen, bathroom and laundry tub
	Pool filter backwash
	Dishwasher
	Toilet
	Washing machine
	Floor Wastes
Stormwater	Pool overflow
	Rainwater tank overflow and first flush

Figure 6. Uses and drainage points of different types of water in the Googong IWC.

Source: [Queanbeyan-Palerang Regional Council \(n.d.\)](#).



Figure 7. Connecteur représentatif et panneau de sécurité publique associés au système violet de distribution d'eau recyclée.

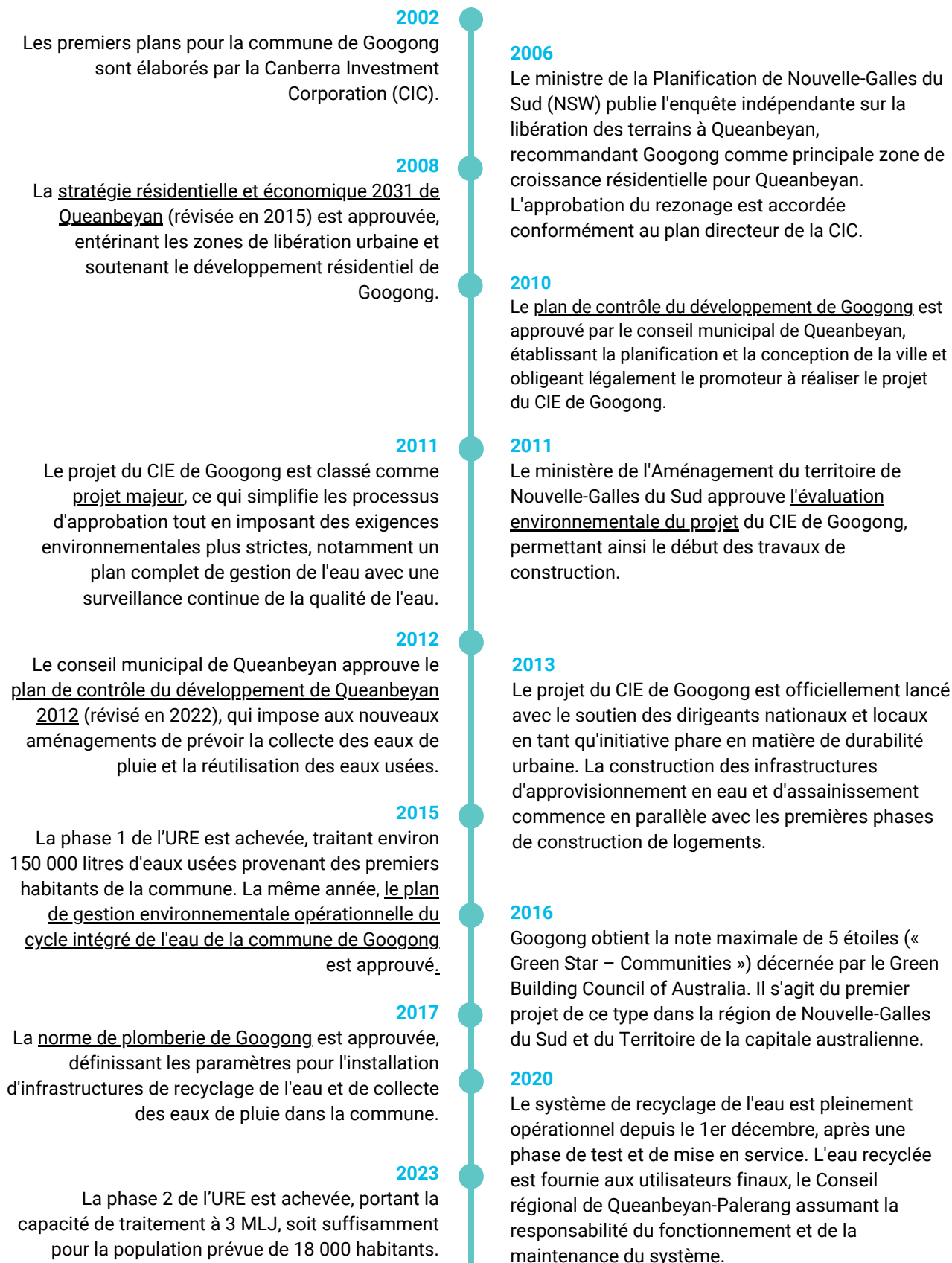
Source : [Conseil régional de Queanbeyan-Palerang \(n.d.\)](#).

- **Récupération des eaux de pluie au niveau des ménages** : toutes les habitations sont équipées d'un réservoir d'eau de pluie qui recueille les eaux de ruissellement des toits pour des usages non potables tels que la lessive et l'irrigation des jardins (tableau 1). Ces réservoirs contribuent à réduire le ruissellement des eaux pluviales et à compléter l'approvisionnement en eau recyclée, ce qui atténue la demande pendant les périodes humides et renforce la résilience pendant les sécheresses.
- **Aménagement urbain sensible à l'eau** : le paysage de Googong intègre des solutions basées sur la nature telles que des fossés ou rigoles végétalisées, des bassins de rétention, des zones humides artificielles et des revêtements perméables pour gérer les eaux pluviales. Ceux-ci permettent à l'eau de pluie de s'infiltrer dans le sol et de ralentir le ruissellement, filtrant les sédiments et les nutriments avant que l'eau n'atteigne les ruisseaux locaux. Ils réduisent également les pics de crue, limitent l'érosion et fournissent des espaces verts et des habitats pour les espèces locales.
- **Contrôles et comptage intelligents** : des capteurs répartis dans tout le réseau garantissent le maintien de la qualité et de la pression de l'eau recyclée, et permettent de détecter rapidement toute anomalie (par exemple, des connexions croisées ou des fuites). Les résidences sont également équipées de compteurs d'eau intelligents qui surveillent la consommation d'eau potable par rapport à celle d'eau recyclée, ce qui facilite la facturation et sensibilise aux habitudes de consommation.

Tableau 1 : Tailles minimales des réservoirs d'eau de pluie par type de logement.

Type de logement	Superficie type du terrain(m2)	Surface de captage présumée du toit (m2)	Taille requise du réservoir (L)
Appartements, terrasses, terrains compacts	<300	-	Facultatif
Petite cour, cour moyenne	365	100	2 000
Grande cour	450	125	2 000
Petit traditionnel, Moyen traditionnel	480	150	4 000
Grande maison traditionnelle, maison de maître	645	200	4 000
Maison de campagne (rurale), hameau de la zone U, zone U Talpa, lots E2	2 000	300	10 000
Hameaux de la zone Y, rural (R5), rural APZ	15	300	10 000
Non résidentiel	Toute superficie	Toute surface	Facultatif

Calendrier de planification et de politique



Impacts climatiques et environnementaux

Atténuation : en traitant et en réutilisant localement les eaux usées et en récupérant les eaux de pluie, le CIE de Googong évite en grande partie le pompage énergivore de l'eau et des eaux usées sur de longues distances, ce qui se traduit par une empreinte carbone réduite. Une étude réalisée en 2016 a montré que la réutilisation décentralisée de l'eau non potable peut réduire les émissions de gaz à effet de serre jusqu'à 29 % dans les zones périurbaines.

Adaptation et résilience : Le CIE de Googong améliore considérablement la résilience à la sécheresse et aux conditions météorologiques extrêmes. En cas de pénurie d'eau, la commune peut répondre à la demande en eau non potable en utilisant de l'eau recyclée et de l'eau de pluie stockée, évitant ainsi les restrictions strictes auxquelles sont confrontées les zones voisines. Son système intégré de gestion des eaux pluviales permet de gérer le volume et le débit des eaux de ruissellement, réduisant ainsi les risques d'inondation et d'érosion lors de fortes précipitations.

Autres avantages environnementaux :

- Le CIE a été conçu pour protéger les écosystèmes locaux et préserver le barrage de Googong. Pour ce faire, il réduit le volume et améliore la qualité de l'eau rejetée dans le barrage.
- La conception urbaine sensible à l'eau réduit la charge polluante des eaux de ruissellement, améliorant ainsi la qualité des ruisseaux et des rivières à proximité.
- L'eau recyclée alimente les espaces verts, qui couvrent 32 % de la superficie de la commune, contribuant ainsi à la biodiversité.
- Une zone de conservation de 52 hectares a été créée pour le lézard-ver à queue rose, une espèce vulnérable, grâce à un financement d'un million de dollars australiens (environ 559 000 euros).

Financement et fonds

Investissement en capital :

- L'investissement en capital de 133 millions de dollars australiens (74,2 millions d'euros) dans le CIE de Googong a été principalement financé par les promoteurs immobiliers Peet Limited et Mirvac.
- Une subvention fédérale de 5,1 millions de dollars australiens (2,9 millions d'euros) a été accordée au CIE pour son approche innovante en matière de gestion de l'eau.
- Un accord de planification volontaire a prévu des incitations, les promoteurs fournissant des infrastructures essentielles en échange de droits de développement.

Propriété, exploitation et maintenance : Une fois les travaux terminés, la propriété des actifs du CIE (station d'épuration et canalisations) a été transférée au Conseil régional de Queanbeyan-Palerang, qui possède et exploite le système en tant que service public. Les coûts d'exploitation sont couverts par un modèle de paiement à l'utilisation via la facturation de l'eau.

- **Facturation et recouvrement des coûts :** les résidents reçoivent deux compteurs d'eau (potable et recyclée) et sont facturés selon des tarifs distincts. Le prix de l'eau recyclée est moins élevé afin d'encourager son utilisation, ce qui favorise le recouvrement des coûts et réduit la demande en eau potable. Ce modèle permet d'assurer la viabilité financière grâce à des tarifs mixtes pour l'eau.
- **Soutien et transfert :** Au cours des premières années du projet, les opérations ont été soutenues par des entrepreneurs privés dans le cadre de contrats de service et de garantie, ce qui a permis un transfert harmonieux de l'expertise au personnel du Conseil régional de

Analyse coûts-avantages :

- **Économies à long terme et coûts évités** : l'investissement initial du CIE de Googong dans la résilience locale en matière d'eau contribue à retarder, voire à éliminer, la nécessité d'une expansion coûteuse de l'approvisionnement régional en eau, réduisant ainsi la charge future des infrastructures pour les gouvernements et les contribuables.
- **Valeur marchande et rendement pour les promoteurs** : le programme de recyclage de l'eau a été bien accueilli par la communauté et a joué un rôle important dans l'attraction de nombreux résidents pour l'achat de terrains dans la commune. L'image de marque « durable en matière d'eau » du projet a renforcé l'attrait commercial de Googong, ce qui a probablement augmenté la demande immobilière et permis aux promoteurs de récupérer une partie de leurs coûts grâce à la hausse de la valeur des terrains.
- **Atténuation des effets de la sécheresse** : en garantissant un approvisionnement en eau résilient, le système protège la communauté contre les perturbations coûteuses pendant les périodes de sécheresse, qui devraient s'intensifier en raison du changement climatique.

Engagement des parties prenantes et inclusion sociale

Collaboration public-privé : le projet du CIE de Googong est le fruit d'une collaboration étroite entre le secteur privé (Peet Limited et Mirvac), le Conseil régional de Queanbeyan-Palerang et les autorités nationales. Un groupe de pilotage composé d'ingénieurs, de planificateurs et de représentants de la communauté a guidé l'élaboration de la stratégie intégrée en matière d'eau.

Consultation et adhésion de la communauté : L'engagement des parties prenantes a débuté pendant la phase d'évaluation environnementale de 2010, à travers des expositions publiques et des réunions communautaires, permettant aux résidents, aux futurs acheteurs et aux groupes d'intérêt d'examiner les plans du CIE et de poser des questions sur la sécurité et les odeurs. La communauté s'est montrée très réceptive, le système de recyclage de l'eau étant cité comme l'une des principales raisons de choisir de vivre à Googong et comme une source d'appropriation et de fierté.

Éducation et inclusion sociale : Des efforts importants sont déployés pour familiariser la communauté avec le nouveau système :

- Chaque foyer reçoit une brochure détaillée intitulée « Guide complet sur l'eau recyclée à Googong », qui présente les bonnes pratiques d'utilisation de l'eau non potable provenant des canalisations violettes.
- Les réseaux sociaux, les bulletins d'information et la signalisation dans toute la ville sont utilisés pour communiquer les dernières informations sur l'usine à un public plus large.
- Des visites du site et des ateliers sont organisés pour informer les habitants sur le fonctionnement de la station d'épuration et des systèmes de réservoirs d'eau de pluie.
- Les campagnes mettent l'accent sur la santé et la sécurité, afin que même les groupes vulnérables (par exemple, les enfants et les personnes âgées) comprennent que l'eau recyclée n'est pas potable.
- Les écoles locales ont intégré le cycle de l'eau de Googong dans leur programme scolaire, transformant les enfants en ambassadeurs de l'économie d'eau à la maison.

Échange de connaissances et réseau sur la circularité de l'eau : Compte tenu du vif intérêt manifesté par les urbanistes et les professionnels de l'eau en Australie et à l'étranger, l'équipe du projet a organisé des visites sur place pour des délégations provenant de régions souffrant de pénurie d'eau et a partagé ses connaissances lors de conférences internationales. Ces efforts ont favorisé l'échange de connaissances et contribué à positionner Googong au sein d'un réseau plus large d'innovation en matière de résilience et de circularité de l'eau.

Facteurs de réussite



Valeurs :

Le projet du CIE de Googong a été guidé par le principe selon lequel l'eau est une ressource rare et précieuse qui doit être gérée efficacement et réutilisée. Les nouveaux développements devaient compenser, et non augmenter, la demande en eau existante grâce au recyclage local. L'éducation et la transparence ont contribué à renforcer la compréhension et l'acceptation du public, et finalement la fierté communautaire à l'égard du système.



Connexions :

1. **Connexions physiques** : le projet a relié des éléments du cycle urbain de l'eau qui sont généralement séparés, en reliant les maisons à une usine de recyclage locale, en reliant la gestion des eaux pluviales à l'aménagement urbain et en reliant les eaux usées à l'approvisionnement en eau, formant ainsi un système en boucle fermée.
2. **Connexions sociales** : le partenariat entre les promoteurs privés, le conseil local, les agences gouvernementales de l'État (planification, santé et environnement) et, finalement, les résidents eux-mêmes a été rendu possible grâce à un engagement et une communication publics constants ; il était essentiel d'instaurer la confiance et un sentiment d'appropriation commune. L'expérience de Googong s'est également connectée à des réseaux de connaissances plus larges, s'inspirant de communautés durables précédentes (par exemple, les projets du village olympique cités dans sa conception) et servant désormais de modèle pour d'autres villes.



Investissements :

1. **Vision à long terme** : une planification sur plusieurs décennies a permis un déploiement progressif qui a résisté à des processus d'approbation prolongés.
2. **Sécurité réglementaire** : un engagement fort du secteur public et un soutien politique ont réduit le risque d'investissement et garanti l'adoption du système.
3. **Engagement communautaire** : les investissements dans l'éducation et la communication ont renforcé la confiance du public et garanti une utilisation efficace du système.
4. **Valeur marchande** : un message clair en matière de durabilité a stimulé l'intérêt des acheteurs, favorisant ainsi les ventes immobilières et le retour sur investissement privé.

Répliquabilité

Le projet du CIE de Googong offre un modèle pratique et évolutif pour les systèmes urbains circulaires de gestion de l'eau, en particulier dans les régions intérieures soumises à un stress hydrique. Son succès repose sur une planification à long terme, des infrastructures décentralisées (par exemple, des réseaux à double canalisation et un recyclage local) et un environnement politique favorable, autant d'éléments qui peuvent être intégrés dans des stratégies de croissance urbaine grâce à une forte coordination entre les secteurs public et privé.

Bien que conçus pour un nouveau développement, les éléments fondamentaux de Googong sont adaptables aux villes existantes. Les codes de construction peuvent exiger une double plomberie dans les nouvelles constructions, tandis que la réutilisation à l'échelle du quartier et la collecte des eaux de pluie peuvent être intégrées dans les projets de rénovation urbaine. Des réglementations claires, des cadres d'investissement fiables et une implication précoce de la communauté ont été essentiels pour instaurer la confiance et garantir la viabilité à long terme.

Ces enseignements sont particulièrement pertinents pour le Maroc, où l'expansion urbaine rapide et la pénurie croissante d'eau exigent des approches plus résilientes en matière d'infrastructures hydrauliques. Les développements dans les régions arides de l'intérieur, telles que Mohammedia ou les zones suburbaines émergentes, pourraient imposer dès le départ des systèmes intégrés de réutilisation de l'eau, réduisant ainsi la pression sur les infrastructures centralisées. Le modèle public-privé de Googong est également transférable : les promoteurs ont financé les infrastructures hydrauliques dans le cadre du programme de développement de nouveaux sites, tandis que la municipalité a pris en charge l'exploitation à long terme, une approche qui pourrait être adaptée aux structures de gouvernance urbaine marocaines.

Une communication forte et l'engagement de la communauté sont également des enseignements clés tirés de Googong qui sont applicables au Maroc. La longue tradition de collecte des eaux de pluie dans le pays constitue une base pour la confiance du public, qui peut être renouvelée grâce à des campagnes de communication modernes et des programmes scolaires.

Googong fournit un modèle évolutif pour les communautés circulaires de l'eau qui peut être adapté au contexte marocain, en fusionnant les infrastructures modernes avec les valeurs locales de conservation et de résilience.

Bibliographie

1. **Bureau of Meteorology. (n.d.).** Climate statistics for Australian locations [Statistiques climatiques pour les localités australiennes] : Queanbeyan Bowling Club [(Site 070072). Gouvernement australien. http://www.bom.gov.au/climate/averages/tables/cw_070072.shtml
2. **CIC Australie. (avril 2025).** Projet de cycle intégré de l'eau à Googong : questions fréquemment posées. Googong Township Pty Ltd. <https://googong.net/wp-content/uploads/sites/91/2025/04/FAQ.pdf>
3. **CIC Australia. (Avril 2025).** Projet de cycle de l'eau de la commune de Googong. Googong. <https://googong.net/wp-content/uploads/sites/91/2025/04/Googong-township-water-cycle-project.pdf>
4. **Département de la planification et des infrastructures. (2011).** Projet sur le cycle de l'eau de la commune de Googong : rapport d'évaluation environnementale du directeur général (MP08_0236). Gouvernement de Nouvelle-Galles du Sud. https://majorprojects.planningportal.nsw.gov.au/prweb/PRRestService/mp/01/getContent?AttachRef=MP08_0236%2120190807T055615.800+GMT
5. **Googong Township Pty Ltd. (30 juillet 2013).** Lancement d'un système de recyclage de l'eau de 90 millions de dollars à Googong. <https://www.googong.net/updates/90-million-water-recycling-system-launched-at-googong/>
6. **Googong Township Pty Ltd. (23 octobre 2020).** L'eau recyclée à Googong. <https://www.googong.net/updates/recycled-water-at-googong/>
7. **Googong Township Pty Ltd. (avril 2025).** Projet de cycle intégré de l'eau à Googong : invitation à commenter les travaux d'extension de la phase D. https://googong.net/wp-content/uploads/sites/91/2025/04/Googong_IWC_Project.pdf
8. **Googong. (s.d.).** À propos de Googong. <https://www.googong.net/about/>
9. **Mirvac Group. (avril 2025).** Googong, Googong Dam Road. <https://mirvac-cdn-web.azureedge.net/-/media/project/mirvac/corporate/main-site/corporate-theme/images/investor-centre/property-compendium/pdfs/googong.pdf>
10. **Morgan, N. (23 janvier 2023).** Points forts de la visite technique d'ACT. Australian Water Association. <https://www.awa.asn.au/resources/latest-news/act-technical-tour-highlights>
11. **Nowroozi, I. (5 décembre 2020).** L'usine de recyclage de l'eau de Googong est pleinement opérationnelle alors que Canberra est appelée à développer des options plus durables. ABC News. <https://www.abc.net.au/news/2020-12-06/googong-water-recycling-plant-puts-pressure-on-canberra/12954722>
12. **OpenLot. (s.d.).** Googong, NSW 2620. <https://www.openlot.com.au/googong-nsw-2620>
13. **Conseil régional de Queanbeyan-Palerang. (10 août 2017).** Norme de plomberie de Googong. https://www.qprc.nsw.gov.au/files/assets/public/v/1/services/water-amp-sewer/googong_plumbing_standard_10_august_2017.pdf
14. **Conseil régional de Queanbeyan-Palerang. (10 août 2017).** Comment fonctionne le système intégré de cycle de l'eau ? <https://www.qprc.nsw.gov.au/files/assets/public/v/1/services/water-amp-sewer/booklet-recycled-water-in-googong-final-web.pdf>

15. **Conseil régional de Queanbeyan-Palerang. (s.d.).** Fiche d'information 01 : Comment fonctionne le système intégré de cycle de l'eau ? <https://www.qprc.nsw.gov.au/files/assets/public/v/1/services/water-amp-sewer/fact-sheet-01-how-does-the-integrated-water-cycle-system-work.pdf>
16. **Conseil régional de Queanbeyan-Palerang. (s.d.).** Eau recyclée de Googong. <https://www.qprc.nsw.gov.au/Services/Water/Googong-Recycled-Water>
17. **Ross, K. (28 août 2024).** Googong : le nouveau centre commercial de cette communauté planifiée de 1,8 milliard de dollars recherche des investisseurs. Immobilier commercial. <https://www.commercialrealestate.com.au/news/googong-1-8b-masterplanned-communitys-new-convenience-centre-seeks-investors-1314517/>
18. **Stantec. (s.d.).** Cycle intégré de l'eau de la commune de Googong. <https://www.stantec.com/au/projects/g/googong-township-integrated-water-cycle>
19. **Wong, C. H., Hurley, K., & Harris, C. (2017).** Construire une ville résiliente face à l'eau. Association australienne de l'eau. <https://www.awa.asn.au/resources/latest-news/environment/built-environment/building-a-water-resilient-town>
20. **Wong, C. H., Hurley, K., & Harris, C. (16 août 2017).** Construire une ville résiliente face à l'eau. Association australienne de l'eau. <https://www.awa.asn.au/resources/latest-news/environment/built-environment/building-a-water-resilient-town>



Chapitre 2 : Intégration urbaine et planification régénérative

MALMÖ, SUÈDE



Gestion des eaux pluviales et atténuation des inondations



Recharge des nappes phréatiques



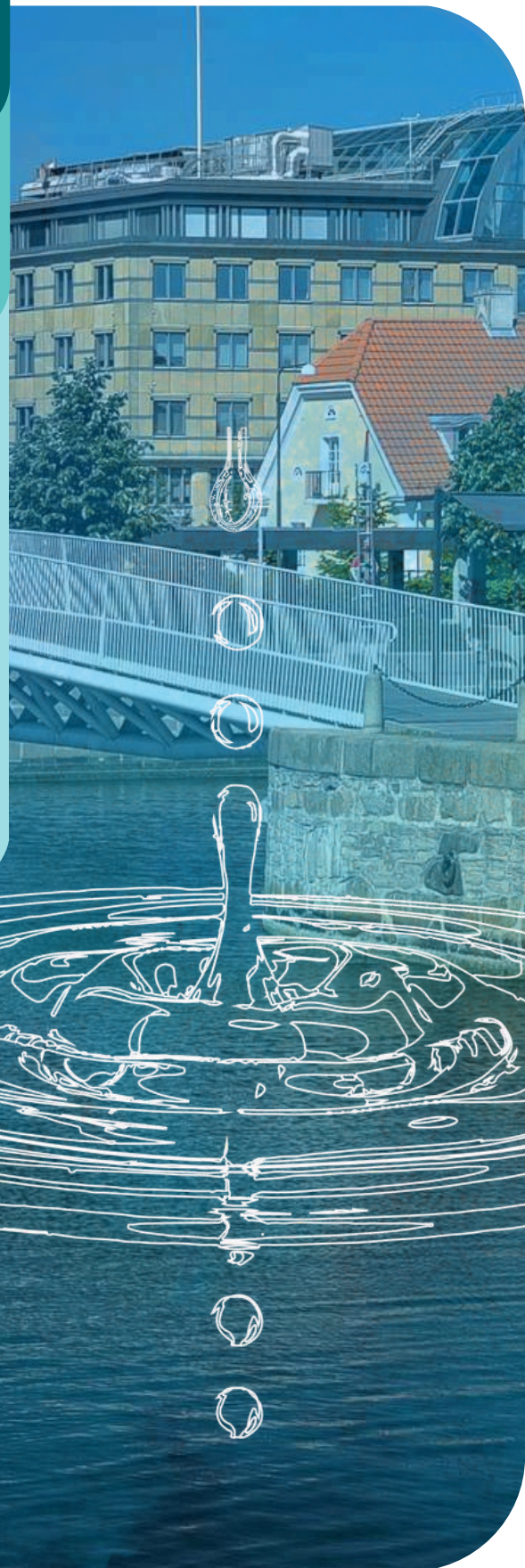
Infrastructures vertes et bleues / solutions fondées sur la nature



Restauration des écosystèmes urbains et biodiversité



Co-crédation et gestion communautaires



Aperçu de la ville

Typologie : ville côtière

Population : 365 644 habitants (décembre 2024)

Climat : océanique tempéré, avec des étés doux/humides et des hivers frais/humides (Köppen Cfb)

Précipitations : 673 mm/an (modérées)

Risques liés à l'eau :

- **Inondations urbaines** causées par des précipitations intenses et des infrastructures d'assainissement inadéquates et obsolètes, entraînant des dommages matériels, le ruissellement des eaux usées, la pollution des plans d'eau et des impacts négatifs sur les écosystèmes et la santé publique.
- **Modification des régimes pluviométriques due au changement climatique**, avec une augmentation prévue des précipitations hivernales et une pénurie d'eau accrue en été à Malmö.



Présentation

Nom de l'initiative : Ekostaden Augustenborg (la ville écologique d'Augustenborg)

Lieu : Malmö, Suède

Période :

- **1998-2002** : mise en œuvre initiale
- **2002-maintenant** : exploitation continue en tant que living lab

Type d'initiative : Récupération des eaux de pluie, gestion des eaux pluviales et atténuation des inondations

Échelle de l'initiative : à l'échelle du quartier

Chefs de projet : Ville de Malmö en partenariat avec la société municipale de logement de Malmö (MKB), VA-Verket (service municipal des eaux), les résidents locaux et des institutions universitaires

Objectifs du projet : Réaménager un quartier industriel en déclin en un quartier écologiquement sain et résilient à l'eau en intégrant des systèmes de gestion durable de l'eau qui imitent les cycles hydrologiques naturels, réduisant ainsi les inondations urbaines et le ruissellement et améliorant la circularité de l'eau.

Principales interventions

- **Système ouvert de gestion des eaux pluviales** : installation d'un système de drainage urbain durable, comprenant 6 km de canaux à ciel ouvert et 10 bassins de rétention, drainant 40 % des 33 ha de la zone.
- **Toitures végétalisées et solutions basées sur la nature** : utilisation de la végétation pour le contrôle décentralisé des eaux pluviales :
 - Création de 11 000 m² de toitures végétalisées sur des bâtiments neufs et existants, dont le jardin botanique de 9 000 m² situé au sommet du Scandinavian Green Roof Institute, qui intercepte environ 50 % du ruissellement annuel total.
 - Installation d'un substrat de 3 à 4 cm et d'une végétation succulente résistante à la sécheresse sur presque tous les toits.
- **Bâtiments écoénergétiques** : Rénovations effectuées dans 1 600 appartements locatifs publics (89 % du parc immobilier total de la région) afin d'améliorer l'efficacité énergétique, notamment la modernisation des systèmes d'isolation et de chauffage.
- **Énergie solaire** : installation de 450 m² de panneaux solaires et de systèmes photovoltaïques, notamment sur les toits.

Principaux résultats

- **Atténuation des inondations et gestion des eaux pluviales** : à l'heure actuelle, 90 % des eaux pluviales provenant des toits et d'autres surfaces imperméables sont acheminées vers le système de gestion des eaux pluviales à ciel ouvert, ce qui réduit le volume total annuel des eaux de ruissellement d'environ 20 % et améliore la résilience opérationnelle contre les débordements des égouts.
- **Espaces verts et biodiversité** : Au total, 30 jardins et parcs ont été restaurés à l'aide d'arbres indigènes, attirant une nouvelle faune et augmentant la biodiversité locale de 50 %.
- **Efficacité énergétique** : la rénovation des bâtiments a permis d'augmenter l'efficacité énergétique de 35 %, ce qui a entraîné une réduction de 20 % des émissions de carbone associées dans le quartier.
- **Énergies renouvelables** : à l'heure actuelle, les énergies renouvelables représentent 80 à 85 % de l'énergie utilisée pour le chauffage urbain et 10 à 15 % de l'eau chaude produite.
- **Quartier écologiquement sain, résilient et attrayant** pour près de 4 000 habitants, réduisant le taux de rotation des locataires de 50 %.

Coût

200 millions de couronnes suédoises (17,8 millions d'euros)

Projet

Contexte

Le quartier d'Augustenborg occupe une zone basse et inondable de Malmö, la troisième plus grande ville de Suède, située sur la côte sud du pays. Initialement développé à la fin des années

1940 dans le cadre d'un projet de logements sociaux, Augustenborg a commencé à connaître de graves problèmes liés à l'eau dans les années 1980, en raison de systèmes de drainage obsolètes et d'inondations fréquentes lors de fortes pluies. Le réseau d'égouts de Malmö était souvent saturé, ce qui entraînait des débordements, des dégâts des eaux et une détérioration de la santé écologique. Alors que le programme de régénération urbaine durable de Malmö prenait de l'ampleur dans les années 1990, Augustenborg a été choisi comme site pilote pour tester des solutions fondées sur la nature afin de répondre à ses problèmes croissants de gestion de l'eau.

Description du projet

En 1998, la ville de Malmö a lancé l'initiative Ekostaden Augustenborg, qui est depuis reconnue comme un éco-quartier pionnier à Malmö, transformant le quartier d'une zone polluée et sujette aux inondations en un modèle de vie urbaine durable. Ce résultat a été obtenu grâce à l'intégration de systèmes de drainage urbain durables, de circuits d'eau circulaires, d'infrastructures vertes, de solutions fondées sur la nature et à l'engagement de la communauté afin de réduire la vulnérabilité aux inondations, de renforcer la résilience et d'améliorer la qualité de vie d'une manière socialement inclusive et écologiquement rationnelle.

L'une des principales caractéristiques du projet est un système décentralisé d'évacuation des eaux pluviales à ciel ouvert, comprenant 6 km de canaux visibles et 10 bassins de rétention qui collectent et ralentissent le ruissellement de surface provenant des toits, des routes et des cours. Plus de 11 000 m² de toitures végétalisées ont été installés pour absorber les eaux pluviales, réduire le ruissellement et fournir une isolation. Des revêtements perméables et des canaux végétalisés permettent en outre à l'eau de s'infiltrer dans le sol, favorisant ainsi la recharge des nappes phréatiques. Ces systèmes imitent les cycles naturels et localisés de l'eau et ont permis de réduire le ruissellement annuel d'environ 20 %. Cette réduction du ruissellement contribue à prévenir les inondations lors de fortes pluies, à réduire la pression sur le réseau d'égouts de Malmö et à atténuer la pollution des plans d'eau.

Ensemble, ces interventions ont rendu Augustenborg plus résilient au changement climatique, amélioré la biodiversité locale et restauré l'eau comme un élément visible et précieux du quartier. L'approche innovante du projet a été largement reconnue et a reçu de nombreux prix, notamment le World Habitat Award, le UN-Habitat Scroll of Honor et le Malmö's Urban Development Award, soulignant son succès dans la combinaison de l'innovation écologique, de l'inclusion sociale et de la résilience climatique à l'échelle du quartier. Augustenborg offre des enseignements précieux aux villes marocaines en tant que référence pour l'adaptation urbaine à l'augmentation des risques de précipitations et d'inondations.

Solutions circulaires et résilientes

- **Déconnexion du réseau d'égouts centralisé** : cette approche réduit le volume et le débit de pointe des eaux pluviales entrant dans le réseau d'égouts centralisé, atténue les débordements d'égouts et garantit que la quasi-totalité des eaux pluviales sont gérées localement, ce qui allège la pression sur les stations d'épuration régionales et réduit les risques de pollution.
- **Systèmes de drainage urbain durables** : le projet a permis de créer 6 km de canaux à ciel ouvert et 10 bassins de rétention, ainsi que des zones humides et des rigoles végétalisées (figures 1 et 2). Ces éléments ralentissent, stockent, filtrent et traitent les eaux pluviales localement avant que tout excédent ne soit rejeté dans le réseau d'égouts conventionnel.

Dans l'ensemble, ces interventions ont permis de réduire de 90 % le ruissellement des eaux pluviales, ce qui a réduit la charge des égouts et amélioré la qualité de l'eau. Aujourd'hui, seul un volume négligeable d'eaux pluviales pénètre dans le réseau d'égouts, qui draine presque exclusivement les eaux usées.

- **Toitures végétalisées** : le projet a permis d'installer 11 000 m² de toitures végétalisées sur des bâtiments neufs et existants, dont le jardin botanique sur le toit de 9 000 m². En absorbant les précipitations, ces toitures végétalisées interceptent environ 50 % du ruissellement annuel total, ce qui réduit encore la pression sur les infrastructures centralisées de gestion des eaux pluviales et des eaux usées et le risque d'inondations, tout en offrant des espaces verts supplémentaires.
- **Circularité des déchets** : la zone atteint un taux de conformité au recyclage supérieur à 50 %, grâce à 13 stations de tri des déchets, y compris un compostage régulier des déchets alimentaires.

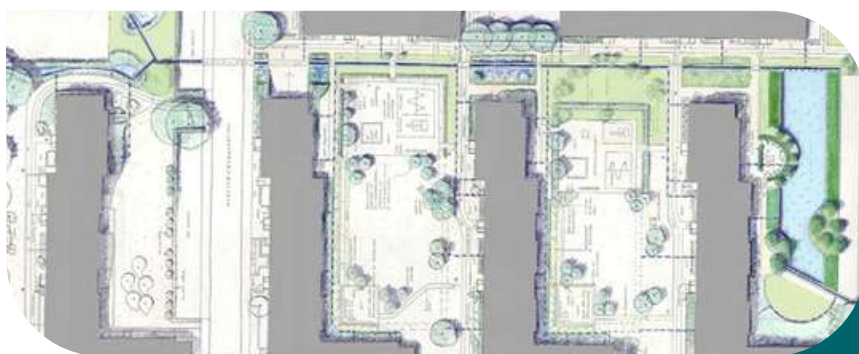


Figure 1. Plan illustré d'Ekostaden Augustenborg, montrant une partie du système de gestion des eaux pluviales à ciel ouvert. Source : [Boverket \(2023\)](#).

Calendrier de planification et de mise en œuvre des politiques

Le projet s'est appuyé sur les objectifs globaux de Malmö en matière de durabilité, en intégrant des processus de planification participatifs et en s'alignant sur les objectifs environnementaux nationaux.

1997

L'idée d'une « éco-ville » à Augustenborg est d'abord promue par des acteurs locaux, notamment le service municipal de Malmö, MKB et l'école d'Augustenborg, en réponse aux inondations urbaines récurrentes et au déclin social.

1999

Le projet prévoit la création de 6 km de canaux d'évacuation des eaux pluviales à ciel ouvert et de 10 bassins de rétention, intégrés dans le quartier, ainsi que la modification des procédures d'aménagement du territoire et la conception d'espaces verts.

2002-2005

L'expérience d'Augustenborg a servi de base à l'élaboration du Green Space Factor (Grönytefaktor) de Malmö, qui a ensuite été adopté comme exigence d'aménagement pour les nouveaux projets de développement de la ville.



2016

MKB commence la construction de la Greenhouse Augustenborg, un immeuble de 14 étages comprenant 56 appartements passifs et doté de multiples caractéristiques écologiques : panneaux solaires, toitures végétalisées, jardin et serre communautaires sur le toit, balcons potagers, partage de vélos-cargos, tri intelligent des déchets et comptage individuel de l'énergie et de l'eau.

1998

Le projet Ekostaden Augustenborg est officiellement lancé grâce au financement du programme d'investissement local (LIP) de la Suède et du programme LIFE de l'UE, coordonné par la ville de Malmö et MKB.

2001

Le jardin botanique sur le toit est ouvert au sommet du Scandinavian Green Roof Institute en tant que centre de démonstration et d'éducation pour les infrastructures de toiture durables.

2006-2010

De nouvelles stratégies environnementales sont lancées afin d'intégrer la gestion durable de l'eau dans le cadre de l'urbanisme de Malmö, sur la base du projet Ekostaden Augustenborg.



2017-Présent

Le quartier continue de servir de référence nationale et internationale en matière de gestion des eaux pluviales et des pluies torrentielles, influençant la stratégie nationale suédoise d'adaptation au changement climatique et le plan de gestion des pluies torrentielles de Malmö. Le quartier continue d'accueillir des visites d'étude, d'inspirer la recherche et d'éclairer la politique municipale.

Impacts climatiques et environnementaux

Atténuation :

- Au total, 450 m² de panneaux solaires, complétés par l'introduction d'une énergie éolienne à petite échelle en 2009, fournissent 10 à 15 % de l'énergie nécessaire aux besoins locaux en eau chaude. Dans l'ensemble, la consommation d'énergie pour le chauffage des bâtiments et de l'eau a diminué de 25 %. Grâce à ces sources d'énergie renouvelables et à la mise en œuvre de mesures d'efficacité énergétique, les émissions de carbone du quartier ont diminué de plus de 20 %.

Résilience et adaptation :

- Les canaux d'évacuation des eaux pluviales à ciel ouvert et les bassins de rétention, combinés à d'autres solutions fondées sur la nature, permettent de gérer 90 % des précipitations sur le site, réduisant ainsi les risques d'inondation et de débordement des égouts. Ce système décentralisé, fonctionnant par la gravité, reste fonctionnel lors de fortes précipitations et ne dépend pas de pompes ou d'une alimentation électrique externe.

Biodiversité et environnement :

- Plus de 11 000 m² d'infrastructures vertes, telles que des toits végétalisés, des zones humides et des surfaces perméables, ont été ajoutés au quartier, créant des habitats qui ont augmenté la biodiversité locale de 50 %, amélioré la qualité de l'air et contribué au rafraîchissement de cet environnement urbain dense.

Financement et fonds

Coûts d'investissement : l'investissement total de 200 millions de couronnes suédoises (17,8 millions d'euros) a été assuré grâce à un modèle de financement collaboratif à plusieurs niveaux :

- **Gouvernement national – LIP** : 29,3 millions de couronnes suédoises (2,63 millions d'euros) répartis en deux phases (1998 et 2002-2005) pour cofinancer les coûts d'exploitation des infrastructures (tableau 1).
- **Ville de Malmö – MKB** : 100 millions de couronnes suédoises (8,97 millions d'euros), dont 70,5 millions de couronnes suédoises (6,32 millions d'euros) à titre de contribution municipale à la subvention LIP.
- **Ville de Malmö – principalement par l'intermédiaire de VA-Verket** : 55 millions de couronnes suédoises (4,93 millions d'euros)¹.
- **Union européenne – Programme LIFE de l'UE** : 7 millions de couronnes suédoises (0,63 million d'euros) pour soutenir le développement du jardin botanique sur le toit.
- **Gouvernement national – Kretsloppsmiljarden** : 7 millions de couronnes suédoises (0,63 million d'euros) pour compléter les fonds reçus de la subvention LIFE de l'UE.
- **Secteur privé** : les promoteurs privés ont également apporté leur contribution financière en alignant les nouveaux bâtiments sur les pratiques d'Augustenborg et les exigences du facteur d'espace vert qui en découle.

Coûts d'exploitation et de maintenance (E&M) : 150 000 couronnes suédoises (13 450 EUR) par an

- Les coûts annuels d'exploitation et de maintenance du système d'eaux pluviales à ciel ouvert

¹ L'infrastructure de gestion des eaux pluviales bleues-vertes a été principalement financée par la ville de Malmö par l'intermédiaire de MKB et VA-Verket. Les chiffres précis et les sources concernant le montant restant financé par la ville de Malmö ne sont pas disponibles.

et des infrastructures vertes d'Augustenborg sont deux fois plus élevés que ceux d'un système d'égouts classique, en grande partie à cause de tâches telles que le nettoyage des débris et la réparation des canaux en granit.

- L'exploitation et la maintenance du système d'eaux pluviales à ciel ouvert et des infrastructures vertes d'Augustenborg sont principalement financées par le budget municipal de la ville de Malmö, les revenus locatifs de MKB et les tarifs de l'eau de VA-Verket.

Analyse coûts-avantages : les coûts d'investissement et d'exploitation relativement élevés du projet sont compensés par ses avantages économiques et environnementaux significatifs :

- **Résilience aux inondations :** Augustenborg a vu ses coûts liés aux dommages causés par les inondations diminuer d'environ 50 %. Par exemple, lors de la tempête de 2014 à Malmö (avec plus de 100 mm de précipitations), qui a causé plus de 600 millions de couronnes suédoises (53,83 millions d'euros) de dommages dans toute la ville, Augustenborg n'a pas été touché.
- **Valeur immobilière et qualité de vie :** dans l'ensemble, les interventions d'Ekostaden Augustenborg ont augmenté la valeur immobilière et le niveau global de satisfaction des locataires. En conséquence, le taux de rotation des locataires dans ces zones a diminué de 20 %.
- **Activité économique :** l'initiative a stimulé l'entrepreneuriat local, conduisant à la création de nouveaux emplois et à la création de petites et moyennes entreprises telles que Watreco (qui propose des solutions pour les eaux pluviales), le Green Roof Institute et Skåne's Car Pool.



Source: [City of Malmö \(2020\)](#).

Tableau 1 : Répartition des fonds provenant des subventions LIP et d'autres sources entre les différents volets de l'initiative Ekostaden Augustenborg au cours de deux phases de financement (1998 et 2002-2005).

<i>Postes de dépenses liés à Ekostaden Augustenborg (montant réel dépensé d'après les audits finaux entre parenthèses)</i>	<i>Coût total, en milliers de couronnes suédoises</i>	<i>Subventions LIP, en milliers de couronnes suédoises</i>	<i>Autres financements (principalement MKB), en milliers de couronnes suédoises</i>
Première phase de subventions (1998)			
Gestion de projet, gestion environnementale, assurance qualité, conception du projet	11 333(11 458)	3 400(3 400)	7 933(8 058)
Gestion locale des eaux pluviales	7 333(10 115)	2 200(2 200)	5 133(7 915)
Gestion locale des déchets	8 500(8 638)	2 550(2 550)	5 950(6 088)
Transport électrique local (train sans rails)	7 333(9 894)	3 300(3 330)	4 033(6 594)
Rénovation écologique des cours, places et autres espaces publics	11 333(11 418)	3 400(3 400)	7 933(8 018)
Gestion des ressources	6 333(8 112)	1 900(1 900)	4 433(6 212)
Réaménagement écologique d'un centre culturel et médiatique	1 212(1 570)	400(400)	812(1 170)
Régénération écologique des terrains scolaires et des parcs	3 125(7 298)	2 000(2 000)	1 125(5 298)
Restauration du patrimoine culturel et historique (dans le cadre d'un projet énergétique)	15 000(16 930)	4 500(4 500)	10 500(12 430)
Exploitation et gestion d'Ekostaden	500(500)	200(200)	300(300)
Deuxième phase de subventions (2002-2005)			
Caractéristiques énergétiques des bâtiments (installation de compteurs individuels)	16 575(3 096)	4 973(929)	11 602(2 167)
Panneaux solaires, cellules solaires, recyclage d'énergie, récupération d'énergie provenant de la patinoire	22 500(6 266)	3 375(2 538)	19 125(3 788)
Campagne éducative « Vivre et travailler dans une ville écologique »	3 350(2 370)	1 525(1 185)	1 825(1 185)
Covoiturage électrique (non mis en œuvre)	64(0)	32(0)	32(0)
Contrôle qualité, coordination, évaluation	3 100(2 439)	1 178(927)	1 922(1 512)

Source : Adapté de Månsson & Persson (2021 ; 57-58).

Engagement des parties prenantes et inclusion sociale

Collaboration avec les principales parties prenantes :

- Une équipe intersectorielle composée de responsables municipaux, de représentants scolaires et de résidents a façonné la vision initiale d'Ekostaden Augustenborg.
- Tout au long de la phase de mise en œuvre qui a suivi, les partenaires ont inclus des écoles, des entreprises locales, des universités et des sociétés privées, qui ont été particulièrement impliquées dans le lancement du Green Roof Institute, un réseau et un centre d'apprentissage pour les solutions d'infrastructures vertes et bleues.

Participation communautaire et co-création :

- Environ 20 % des habitants d'Augustenborg, y compris des enfants scolarisés, ont participé à des réunions publiques, des ateliers de planification et des activités éducatives.
- Ces habitants ont influencé la conception des espaces verts et des systèmes de gestion des eaux pluviales.
- Un conseiller spécialisé dans les besoins particuliers a soutenu la conception inclusive et accessible.

Éducation et sensibilisation :

- Des cercles d'étude, des programmes scolaires et des événements ont permis de sensibiliser le public aux toitures végétalisées, à la gestion des eaux pluviales et à l'efficacité énergétique.
- Les enfants ont participé à des activités de jardinage sur les toits, de compostage et à des campagnes sur la durabilité.
- Un moulin à vent local, un système de chauffage solaire et des toitures végétalisées ont été installés dans les écoles, permettant aux jeunes de voir et d'apprendre à connaître ces types d'infrastructures.

Renforcement des capacités et emploi :

- Les habitants ont contribué à l'entretien des espaces verts et des systèmes d'approvisionnement en eau, renforçant ainsi les compétences locales et favorisant l'engagement communautaire à long terme.
- Le projet a stimulé l'esprit d'entreprise et la création d'emplois, notamment grâce au Green Roof Institute, à une coopérative de covoiturage et à Watreco AB. En conséquence, le taux de chômage est passé de 30 % (1998) à 6 % (2002).

Autonomisation civique et intégration sociale :

- Avec 65 % de résidents issus de l'immigration, Ekostaden Augustenborg avait besoin de stratégies inclusives pour lutter contre la ségrégation et la fragmentation sociale.
- Une implication précoce a permis d'instaurer la confiance, de renforcer la cohésion sociale et d'augmenter le taux de participation électorale de 54 % (1998) à 79 % (2002).

Partage des connaissances et reproduction :

- Augustenborg est devenu un site vivant de démonstration pour la régénération urbaine durable.
- Plus de 15 000 visiteurs ont visité la zone depuis le début du projet.

Facteurs de réussite



Valeurs :

- Le projet a adopté la résilience hydrique comme principe fondamental de la régénération urbaine, considérant les eaux pluviales comme une ressource plutôt que comme un risque.
- Les activités ont privilégié des systèmes décentralisés, fondés sur la nature, et des infrastructures bleues et vertes qui offrent à la fois une protection contre les inondations et des équipements collectifs.
- L'engagement communautaire et l'éducation ont été intégrés au projet dès le début, les résidents agissant en tant que co-créateurs et gardiens de leur environnement à long terme.



Connexions:

1. **Connexions physiques** : un réseau visible et ouvert de canaux et de bassins relie les toits, les routes et les espaces verts, favorisant l'infiltration, réduisant le ruissellement et allégeant la pression sur le réseau d'égouts.
2. **Connexions sociales** : des réseaux locaux solides ont été créés grâce à une planification participative, à l'implication des écoles et à un dialogue continu. Le Green Roof Institute et d'autres initiatives similaires ont contribué à partager les connaissances et à inspirer la reproduction du projet dans d'autres quartiers de Malmö et au-delà.



Investissements :

- Participation de multiples acteurs, en particulier VA-Verket et MKB, au modèle de financement et promotion d'incitations financières grâce à l'augmentation de la valeur foncière et des revenus locatifs.
- Financement à plusieurs niveaux par l'UE, les gouvernements nationaux et locaux et les entreprises publiques

Réplicabilité

Depuis sa création en 1998, Ekostaden Augustenborg a reçu une reconnaissance mondiale en tant que modèle rentable et reproductible de résilience urbaine face à l'eau. Son système innovant à eau ouverte et la forte implication de la communauté ont reçu de nombreux prix nationaux et internationaux, ont inspiré des projets similaires dans les quartiers Bo01 et Sege Park de Malmö, et ont suscité des visites d'étude et des projets pilotes dans des villes allant de Copenhague à Singapour.

Au Maroc, où des villes comme Casablanca et Rabat sont confrontées à la fois à des crues soudaines et à une pénurie chronique d'eau, l'approche d'Augustenborg constitue un modèle pour la résilience et l'économie circulaire. Les toitures végétalisées des immeubles résidentiels, les bassins de rétention à l'échelle des quartiers et les zones humides artificielles permettent de capter la plupart des eaux pluviales pour une recharge contrôlée des aquifères, l'irrigation ou la réutilisation, tout en réduisant les pics de crue. Dans la ville côtière de Tanger et la ville historique de Tétouan, où les averses soudaines submergent les infrastructures d'égouts vieillissantes, les jardins pluviaux décentralisés et les rigoles de drainage biologiques peuvent soulager les réseaux de drainage. L'intégration d'une planification participative par le biais de comités locaux et de programmes scolaires garantit une conception axée sur la communauté et une gestion à long terme. Enfin, la mobilisation de mécanismes de financement à plusieurs niveaux et la gestion partagée entre les secteurs public et privé peuvent jeter les bases d'infrastructures vertes et bleues évolutives et durables dans les quartiers urbains marocains.



Bibliographie

1. **Baldrich Architects. (18 juin 2018).** Green-house Living. Malmö. <https://www.rb-aa.com/green-house-living/>
2. **Boverket. (n.d.).** Ekostaden Augustenborg. <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/arkitektur-och-gestaltad-livsmiljo/natverk-och-samarbeten/nordiskt-samarbete/stadsgronska/exempel/ekostaden/>
3. **Brink, E. (29 août 2018).** Les citoyens suédois ont besoin de plus de soutien pour faire face aux effets du changement climatique. Centre d'études sur la durabilité de l'université de Lund. <https://www.lucsus.lu.se/article/swedish-citizens-need-more-support-handle-effects-climate-change>
4. **Agence européenne pour l'environnement. (27 juin 2017).** Gestion des eaux pluviales urbaines à Augustenborg, Malmö. Climate-ADAPT. <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/case-studies/urban-storm-water-management-in-augustenborg-malmo>
5. **Forest Research. (s.d.).** Systèmes de drainage durables à Malmö, en Suède. Un nouveau système de gestion des eaux pluviales à Ekostaden Augustenborg, Malmö. Forest Research. https://cdn.forestresearch.gov.uk/2022/02/urgp_case_study_015_malmo-2.pdf
6. **Greenroofs.com. (n.d.).** Jardin botanique sur le toit d'Augustenborg. Extrait de <https://www.greenroofs.com/projects/augustenborg-botanical-roof-garden/>
7. **Interlace Hub. (n.d.).** Facteur d'espaces verts et système de points verts – Malmö. <https://interlace-hub.com/green-space-factor-and-green-points-system-malmo%C3%B6>
8. **Kazmierczak, A., & Carter, J. (2010).** Adaptation au changement climatique grâce à des infrastructures vertes et bleues – Augustenborg, Malmö. Agence européenne pour l'environnement. <https://copenhagenwater.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/11/adaption-to-climate-change-using-green-and-blue-infrastructure-augustenborg-malmo.pdf>
9. **Kruuse, A. (2021).** The Green Space Factor and the Green Points System [Le facteur espace vert et le système de points verts] (GRaBS Expert Paper 6). Association pour l'aménagement du territoire et de l'urbanisme. https://tcpa.org.uk/wp-content/uploads/2021/11/EP6_FINAL.pdf
10. **Malmö Stad. (n.d.).** Ekostaden Augustenborg (Eco-City). <https://malmo.se/Welcome-to-Malmo/Technical-visits/Theme-Sustainable-City/-Ecology-Energy-and-Climate/-Ekostaden-Augustenborg-Eco-City.html>
11. **Malmö Stad. (n.d.).** Faits et statistiques : Population. <https://malmo.se/Facts-and-statistics/Population.html>
12. **Metropolis. (n.d.).** Ekostaden Augustenborg and Bo01 – City of Tomorrow [La ville de demain]. <https://use.metropolis.org/case-studies/city-of-tomorrow>
13. **Mobini, S., Nilsson, E., Persson, A., Becker, P., & Larsson, R. (2021).** Analysis of pluvial flood damage costs in residential buildings – A case study in Malmö [Analyse des coûts des dommages causés par les inondations pluviales dans les bâtiments résidentiels – Une étude de cas à Malmö]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 62, Article 102407. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102407>
14. **Monika Månsson and Bengt Persson. (2021, March).** The Eco-city Augustenborg – experiences and lessons learned [L'éco-ville d'Augustenborg – expériences et enseignements tirés]. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2%3A1571677/FULLTEXT01.pdf>

15. **Mottaghi, M. (2020).** *Map of Augustenborg showing blue-green solutions in public open spaces.* In *Blue-Green Playscapes: Exploring Children's Places in Stormwater Spaces in Augustenborg, Malmö* [Carte d'Augustenborg montrant les solutions bleues-vertes dans les espaces publics ouverts]. *Urban Planning*, 6(2), 175–188. <https://doi.org/10.17645/up.v6i2.3953>
16. **Ponsford, M. (2021, February 5).** *Swede dreams: can Malmö's green points system help rewild London?* [Rêves suédois : le système de points verts de Malmö peut-il aider à renaturer Londres ?] *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/environment/2021/feb/05/malmo-sweden-success-rewild-london-aoe>
17. **Rolfsdotter-Jansson, C. (n.d.).** *Ekostaden Augustenborg – Towards a sustainable neighbourhood* [Vers un quartier durable]. Extrait de https://www.rolfsdotter.se/pdf/Ecocity_Aug.pdf
18. **Schott, A. B. S., Nilsson, M. O., & Hall, J. (2013, October 3).** *Ekostaden Augustenborg vill bli bäst på biologisk mångfald* [La ville écologique d'Augustenborg veut devenir la meilleure en matière de biodiversité]. MKB Fastighets AB. https://www.mynewsdesk.com/se/mkb_fastighets_ab/pressreleases/ekostaden-augustenborg-vill-bli-baest-paa-biologisk-maangfald-912523
19. **Urban Nature Atlas. (2022, April).** *Eco City Augustenborg.* <https://una.city/nbs/malmo/eco-city-augustenborg>
20. **World Habitat Awards. (n.d.).** *Ekostaden Augustenborg.* World Habitat. <https://world-habitat.org/world-habitat-awards/winners-and-finalists/ekostaden-augustenborg/>
21. **World Habitat. (2011).** *Eco-city Augustenborg, Sweden: Peer-exchange and analysis* [Suède : échange entre pairs et analyse] [PDF]. <https://www.world-habitat.org/wp-content/uploads/2016/03/Report-Eco-city-Augustenborg-peer-exchange-5MB1.pdf>



Chapitre 2 : Intégration urbaine et planification régénérative

LAC NORD DE TUNIS, TUNISIE



Gestion des eaux pluviales et atténuation des inondations



Infrastructures vertes et bleues / solutions fondées sur la nature



Restauration des écosystèmes urbains et biodiversité



Modèles de gouvernance publique-privée et multiniveaux



Présentation de la ville

Population : 2 545 030 habitants (2025)

Climat : climat chaud et semi-aride (classification de Köppen BSh) à la limite d'un climat méditerranéen à été chaud (Csa), avec des étés secs et chauds et des hivers doux

Précipitations : 444 mm/an (modérées)

Risques liés à l'eau :

- **Eau contaminée :** le faible taux de renouvellement de l'eau du lac Nord (temps de rétention élevé) et l'afflux continu d'eaux usées riches en nutriments ont provoqué une grave eutrophisation, perturbant son équilibre écologique et dégradant considérablement la qualité de l'eau au fil du temps (figure 2).



Présentation

Nom du projet : Projet de réhabilitation et de développement urbain du lac Nord de Tunis

Lieu : Tunis, Tunisie

Période :

- 1983-1988 : Réhabilitation du lac
- 1989-2030 : Réaménagement et urbanisation

Type de projet : Restauration de l'écosystème aquatique

Échelle du projet : Quartier/commune

Principaux responsables du projet : Al Buhaira Invest (anciennement Société de Promotion du Lac de Tunis), une coentreprise entre le secteur public (le gouvernement tunisien) et le secteur privé (le groupe Dallas El Baraka)

Objectif du projet : Nettoyer le bassin versant du lac Nord de Tunis, éliminer les déchets, améliorer la qualité de l'eau, restaurer le littoral, réorienter une partie de l'expansion urbaine de la ville de Tunis vers l'hypercentre de la métropole afin de protéger les terres agricoles et soutenir une croissance économique équilibrée grâce à la planification et au développement d'un nouveau quartier urbain durable.

Principales interventions

- **Enlèvement des sédiments :** Les sédiments riches en matières organiques et pollués ont été dragués dans les zones nord et ouest de la lagune.
- **Contrôle des rejets d'eau :** Tous les rejets directs d'eaux usées dans la lagune ont été arrêtés. Actuellement, seuls les eaux de ruissellement urbaines sont autorisées à entrer dans la lagune afin de prévenir les inondations. Les eaux douces provenant de la ville de Tunis en hiver sont rejetées via des sources ponctuelles souterraines.

- **Dérivation de l'eau** : Un barrage est-ouest doté de vannes contrôlées par les marées a été construit afin d'améliorer les échanges entre la lagune et la mer et de réduire le temps de séjour de l'eau à environ 22-27 jours.
- **Réalignement du littoral et prévention de la stagnation** : Les berges ont été modifiées et remblayées afin d'éliminer les zones stagnantes et de favoriser une circulation régulière et uniforme de l'eau dans tout le lac.
- **Bassin de rétention des eaux pluviales** : Un bassin peu profond de 9 ha a été construit près de la rive est afin de retenir les eaux pluviales et de protéger la ville de Kram contre les inondations. L'excès d'eau est parfois rejeté dans le canal à marée basse.
- **Rénovation écologique et urbaine** : Le projet a permis de réhabiliter des terrains suburbains dégradés en un atout de développement environnemental et urbain, alliant objectifs écologiques et économiques.

Principaux résultats

- **Restauration et reconstruction du lac** : Le projet a permis d'éliminer les sédiments contaminés, dont environ 1 million de m³ de boues organiques, et de remodeler les berges du lac.
- **Transformation structurelle** : La superficie du lac a été réduite d'environ 28 km² à 24 km², tandis que la profondeur moyenne est passée de 0,9 m à 1,5 m. Un nouveau littoral de 22 km a été construit, avec une superficie totale de remblai de 7 km².
- **Production d'énergie** : Une centrale électrique flottante d'une capacité de 200 kW a été mise en service en juin 2022 (figure 1). D'une superficie de 2 500 m², elle fournira 265 MWh par an et contribuera à réduire les émissions de CO₂ du pays de 120 tonnes.
- **Récupération des terres** : Au total, 1 300 ha de terrains constructibles ont été créés, dont 500 ha récupérés dans le cadre du projet de nettoyage.
- **Lotissement** : Les phases 1 et 2 de la planification des infrastructures (1996-2001) couvraient initialement environ 60 ha, l'objectif global étant de 280 ha de surface bâtie pour accueillir une population de 120 000 habitants.



Figure 1. Centrale solaire flottante sur le lac de Tunis.
Source : Kapitalis.com

Coût total

515 millions de dinars tunisiens (152 millions d'euros)

Projet

Contexte

Le lac de Tunis, une lagune naturelle située dans la capitale tunisienne, a toujours servi de déversoir naturel pour les eaux usées urbaines et industrielles de la ville, ainsi que pour les eaux de ruissellement provenant des précipitations. Cet afflux important d'eaux usées et d'eaux pluviales, combiné à une faible circulation de l'eau du lac, a entraîné une détérioration progressive de la qualité de l'eau. De plus, le rejet continu d'eaux usées enrichies et non traitées, particulièrement riches en azote et en phosphore, dans un milieu aquatique relativement stagnant, peu profond et exposé au soleil, a perturbé l'équilibre écologique du lac. L'ensemble de ces facteurs a conduit à une eutrophisation sévère, affectant la santé de l'écosystème ainsi que celle de son environnement avoisinant.

Description du projet

En réponse à la dégradation écologique constante, à partir des années 1980, la Société de Promotion du Lac de Tunis (SPLT) a été créée dans le cadre d'un partenariat public-privé (PPP) dans le but de restaurer et de réaménager 1 327 ha sur la rive nord de la lagune. Le lac Nord a fait l'objet d'une réhabilitation majeure, comprenant le détournement des eaux usées, le nettoyage des berges et la mise en place d'un régime hydrologique réglementé (figure 2). La restauration écologique du lac et de ses rives a nécessité une vaste remise en état des terres, permettant un développement urbain à grande échelle des terrains environnants grâce à un plan directeur global (figure 3) et à une joint-venture publique-privée entre la SPLT et Dallah El Baraka, un groupe d'investissement saoudien. En redonnant au site sa valeur écologique, sociale et économique, le plan directeur vise à transformer l'espace pour la gestion environnementale, le logement, la croissance économique et les équipements publics.

À terme, le projet devrait accueillir environ 120 000 habitants et créer 140 000 emplois. Les espaces verts dédiés aux parcs et autres zones de loisirs (à l'exclusion des jardins privés) couvriront près de 20 % du terrain, offrant environ 20 m² d'espace vert par habitant. Le projet montre comment la restauration d'un plan d'eau peut servir de base à l'amélioration de la santé écologique ainsi qu'à l'expansion urbaine durable.



Figure 2. Le lac Nord après sa réhabilitation, mettant en évidence l'amélioration de la qualité de l'eau et des espaces récréatifs.
Source : Al Buhaira invest



Figure 3. Plan directeur du projet « La Perle du Lac ».
Source : [Institut arabe de développement urbain \(n.d.\)](#).

Technologies et solutions circulaires

- **Système de circulation d'eau à sens unique** : une grande partie du lac a été draguée afin d'augmenter sa profondeur et d'améliorer la circulation de l'eau. De plus, le projet a mis en place un système de circulation d'eau unidirectionnelle actionné par les mouvements des marées, comprenant des points d'entrée et de sortie équipés de vannes à clapet anti-retour au niveau du canal de Khereddine.
- **Installation d'une digue** : une digue centrale de séparation de 8,2 m de long et de 5 à 8 m de large a été installée, divisant le Lac Nord en deux sections (figure 4). Cette structure dirige l'eau vers l'ensemble du lac avant qu'elle ne soit rejetée dans la mer. L'augmentation des taux de circulation de l'eau a réduit le temps de rétention du lac et accéléré son renouvellement sur une période de 22 à 27 jours, en fonction de la direction et de la vitesse du vent.
- **Modification du littoral** : les rives ont été remodelées et remblayées afin d'éliminer les zones d'eau stagnante et de favoriser une circulation constante de l'eau.
- **Gestion des eaux de ruissellement** : le projet a mis fin à tous les rejets d'eaux usées dans la lagune, n'autorisant que les eaux de ruissellement urbaines à pénétrer dans le plan d'eau afin d'éviter les inondations. En hiver, les eaux de ruissellement provenant de Tunis sont principalement rejetées sous forme de sources ponctuelles le long des rives nord et est via des réseaux souterrains, et sous forme de sources diffuses non ponctuelles dans le bassin sud.
- **Bassin d'eaux pluviales** : un bassin peu profond de 9 ha, d'une profondeur moyenne d'environ 1 m, situé près de la rive est de la lagune, est spécialement aménagé pour collecter les eaux de ruissellement et protéger la ville de Kram contre les inondations. L'excédent d'eau de ce bassin est parfois rejeté dans le canal à marée basse.

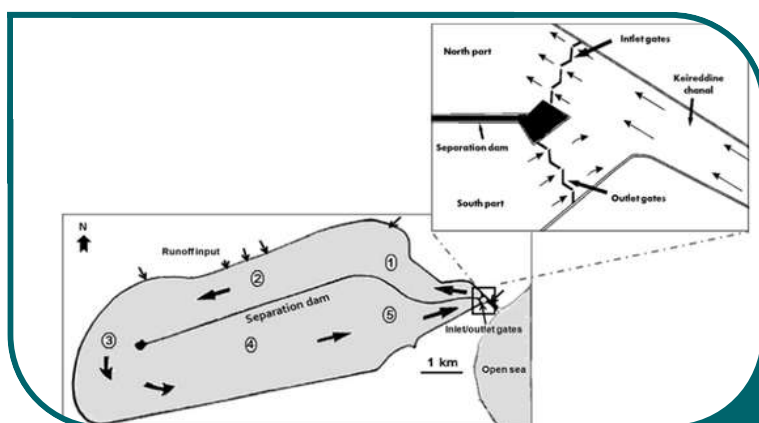


Figure 4. Schéma du barrage de séparation et des changements qui en résultent dans la circulation de l'eau à travers le lac Nord.
Source : [Trabelsi-Bahri et al. \(2013\)](#).

Calendrier de planification et de mise en œuvre des politiques

1974

Création de l'Office national de l'assainissement chargé de gérer et de traiter les eaux usées urbaines et de réduire la pollution dans les zones urbaines.



1980

La SPLT est créée dans le cadre d'un partenariat public-privé afin de restaurer et de réaménager le lac Nord.

1989

La SPLT a engagé à partir de cette date l'urbanisation progressive des berges du lac avec une réserve foncière évaluée à 1300 ha.



2009-2012

Une étude du lac est menée avec les ministères concernés (Équipement, Tourisme, Environnement et Municipalités).



1975

Les politiques d'assainissement de la Tunisie se concentrent principalement sur la gestion des eaux usées dans les zones côtières prisées par les touristes.

1985-1988

Les travaux de restauration du lac ont été engagés sur la base d'un modèle de fonctionnement hydrodynamique et écologique avec pour but de réhabiliter un milieu longtemps utilisé comme réceptacle des eaux usées et pluviales des quartiers Nord de la ville de Tunis.



2002

Des stratégies visant à améliorer et à dynamiser la rive nord du lac Nord sont adoptées à la suite d'un accord de sous-concession accordé à la SPLT par l'État.

2023

Al Buhaira Invest reçoit des appels d'offres pour la plantation d'espaces publics, les systèmes d'irrigation verts et l'entretien des infrastructures de gestion des eaux pluviales.

Impacts climatiques et environnementaux

Atténuation :

- Le projet favorise une mobilité durable et respectueuse de l'environnement en donnant la priorité aux pistes cyclables afin de réduire l'utilisation de la voiture. Stratégiquement situé à proximité du plus grand aéroport international du pays, La Perle du Lac offre un accès direct aux principales voies d'accès au centre-ville par les transports publics et d'autres moyens de transport. Ces modes de transport non motorisés et publics contribuent à réduire les émissions de gaz à effet de serre liées à l'utilisation des véhicules privés.

Adaptation et résilience :

- Le nettoyage du bassin versant du lac et l'élimination des déchets ont amélioré la qualité de l'eau et restauré les berges, ce qui a permis un renouvellement naturel de l'eau grâce aux mouvements des marées. Le contrôle des flux d'eau et la réduction de la contamination qui en résultent renforcent respectivement la résilience aux inondations et à la pollution, deux défis majeurs en matière d'adaptation au changement climatique auxquels sont confrontées les villes côtières.
- Le projet donne la priorité à une gestion efficace du gaz, de l'électricité et de l'eau. Les espaces verts publics ont été conçus pour améliorer le confort climatique en réduisant l'effet d'îlot de chaleur urbain. Ces espaces verts présentent des co-bénéfices tels que l'augmentation de la couverture végétale, l'amélioration de la perméabilité des sols et le renforcement de la rétention d'eau, contribuant ainsi à optimiser les systèmes d'irrigation, à améliorer la gestion des eaux pluviales et à atténuer l'effet d'îlot de chaleur urbain (figure 5).
- La remise en état des terres dans la zone humide a permis le développement urbain des rives du lac en un nouveau quartier urbain intégré sur le plan spatial, comprenant des logements, des emplois, des équipements publics et des espaces de loisirs le long des rives du lac. Cette transformation permet à Tunis de répondre durablement aux exigences de l'urbanisation grâce à la création d'un environnement sain (figure 6).



Figure 5. Modèle 3D rendu de l'espace public le long des rives du lac Nord, présentant une couverture végétale et des zones d'eau accrues afin de réduire l'effet d'îlot de chaleur urbain.
Source : [Archi Mag \(2023\)](#).



Figure 6. Modèle 3D rendu de La Perle du Lac 2 conformément au plan directeur pour le développement à usage mixte le long des rives du lac Nord.

Source : [Institut arabe de développement urbain \(n.d.\)](#).

Financement et fonds

Structure des coûts : Au départ, le SPLT disposait d'un budget d'investissement de 34 millions de dinars tunisiens (10 millions d'euros), qui a ensuite été porté à 44 millions de dinars tunisiens (12,9 millions d'euros). L'investissement total a finalement atteint environ 515 millions de dinars tunisiens (152 millions d'euros), couvrant les infrastructures, le dragage, la restauration du littoral et le développement urbain.

Sources et instruments de financement :

- **PPP et coentreprises :**

- Gouvernement tunisien : 17 millions de dinars tunisiens (5 millions d'euros) – comprenant 800 ha de terrain et 3 millions de dinars tunisiens de financement direct
- Groupe Dallah El Baraka : 17 millions de dinars tunisiens (5 millions d'euros)

Analyse coûts-avantages:

- **Avantages économiques :** le projet a généré des retombées socio-économiques importantes, notamment 120 000 logements et 140 000 emplois.
- **Avantages environnementaux :** ceux-ci comprennent de vastes espaces verts, une meilleure qualité de l'eau, une plus grande biodiversité et une meilleure résilience aux inondations.
- **Avantages sociaux :** la restauration écologique a favorisé une croissance urbaine durable, avec des avantages publics significatifs à long terme, notamment l'accès au logement, des opportunités d'emploi, des espaces publics de grande qualité et une meilleure santé.

Engagement des parties prenantes et inclusion sociale

Al Buhaira Invest était chargé de concevoir et de superviser l'exécution d'un plan de développement global. Le cofinancement a été assuré par un partenariat public-privé avec le groupe Dallah El Baraka. La mise en œuvre du plan a été réalisée par un consortium tunisien d'entrepreneurs privés, dirigé par Bouzguenda Frères et Bonna Tunisie (figure 7).

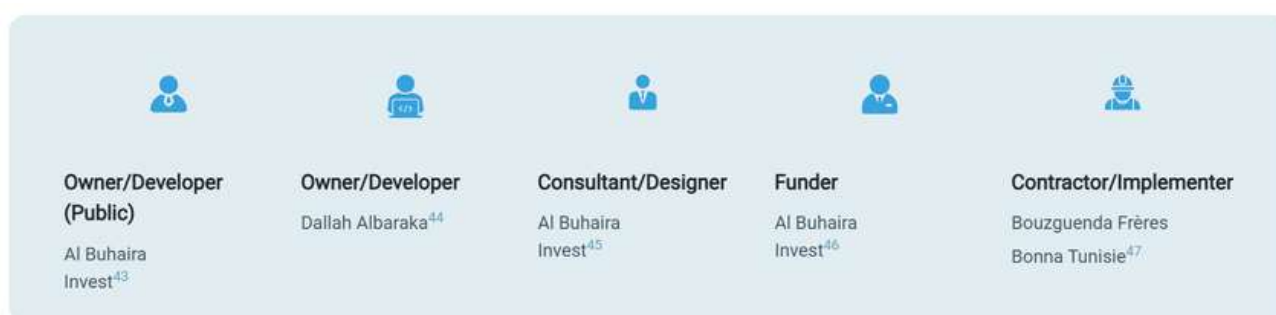


Figure 7. Aperçu des principaux acteurs publics et privés impliqués dans le projet de réhabilitation et de développement urbain du lac Nord.

Facteurs de réussite



Valeurs :

En améliorant la qualité de l'eau et en restaurant l'écosystème aquatique du lac Nord, le projet a démontré la valeur intrinsèque des écosystèmes sains ainsi que leur importance pour des villes saines et durables, notamment grâce à la mise à disposition de terrains constructibles, à la création d'espaces publics de grande qualité et à l'amélioration de la santé publique.



Connexions:

1. **Connexion physique** : le nettoyage et les interventions infrastructurelles ont amélioré la connexion entre le lac et les cours d'eau environnants, ce qui a permis de mettre en place un système de gestion de l'eau plus circulaire. L'emplacement stratégique du site le relie également au plus grand aéroport international de Tunisie, ce qui favorise le développement économique potentiel.
2. **Connexion sociale** : la collaboration entre divers acteurs publics et privés et l'expertise de spécialistes de différents domaines ont permis le développement réussi du projet, axé sur la restauration de l'environnement et la création d'espaces urbains de haute qualité (figure 8).



Investissements :

Les investissements stratégiques provenant de sources publiques et privées ont été essentiels à la réussite du projet, permettant une restauration écologique et un développement urbain à grande échelle. Les contributions financières du gouvernement tunisien et du groupe Dallah El Baraka ont financé des interventions cruciales résilientes au climat, notamment des systèmes de circulation de l'eau et la remise en état des terres, garantissant la durabilité environnementale et économique à long terme.

Répliquabilité

Ce projet démontre que des investissements à long terme dans la qualité de l'eau, l'élimination des sédiments et les contrôles hydrologiques artificiels peuvent permettre de réhabiliter efficacement les écosystèmes aquatiques dégradés. En alignant la restauration environnementale sur l'expansion urbaine, d'autres villes en pleine croissance confrontées à des problèmes de pollution de l'eau peuvent reproduire ce cadre afin de renforcer leur résilience, favoriser le développement économique et améliorer la qualité de vie.

Au Maroc, plusieurs lacs et zones humides situés à proximité des villes, tels que Marjat Al Fawarat à Kénitra, sont menacés par l'expansion urbaine et la pollution. L'adoption d'un dispositif institutionnel et d'un PPP similaires à ceux mis en place à Tunis permettrait potentiellement de restaurer ces plans d'eau tout en assurant un développement urbain durable afin de répondre aux besoins d'une population et d'une économie en pleine croissance.

Bibliographie

1. **Al Buhaira Invest. (29 avril 2023).** *Avis d'appel d'offres N° 03/2023*
<https://www.albuhairainvest.com/2023/04/29/avis-dappel-doffres-n-03-2023/>
2. **Al Buhaira Invest. (n.d.).** *Al Buhaira Invest: A success story [Une réussite exemplaire]*.
<https://www.perledulac.tn/en/al-buhaira-invest>
3. **Institut arabe de développement urbain. (s.d.).** *La Perle du Lac*. <https://araburban.org/en/infohub/projects/?id=7537>
4. **Archi Mag. (11 juillet 2023).** *Démarrage des travaux de la Perle du Lac 2*. Archi Mag.
<https://archimag.tn/2023/07/11/demarrage-des-travaux-de-la-perle-du-lac-2/>
5. **Bouguerra, T., & Batimat, T. (2013).** *Projet du lac nord de tunis un grand projet d'environnement et d'aménagement urbain intégré realisations et projets futurs*. Société de promotion du lac de tunis.
https://www.leaders.com.tn/uploads/FCK_files/Lac%20de%20Tunis%20Bouguerra%20Tarek%20Batimat%202013.pdf
6. **Climate-Data.org. (n.d.).** *Tunis*. <https://en.climate-data.org/africa/tunisia/tunis/tunis-502/>
7. **Hagui, A. (2012).** *The process of creation of the new cities in Tunisia: Case of the city of the Lake of Tunis*. Journal of Geography and Regional Planning [Le processus de création des nouvelles villes en Tunisie : le cas de la ville du Lac de Tunis. Journal de géographie et d'aménagement du territoire]. <https://doi.org/10.5897/JGRP12.0098>
8. **Rezgui, A., Ben Maiz, N., & Moussa, M. (2008).** *Fonctionnement hydrodynamique et écologique du Lac Nord de Tunis par modélisation numérique [Hydrodynamic and ecological functioning of the Tunis North Lake by a numerical modelling approach]*. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*. <https://doi.org/10.7202/018781ar>
9. **Saber, J. (2021).** *Al Buhaira Invest : une belle expérience réussie en PPP aux Berges du Lac Nord, Tunis*.
<https://jamelsaber.com/al-buhaira-invest-une-belle-experience-reussie-en-ppp-aux-berges-du-lac-nord-tunis/>
10. **Sarra, A. (2018, February 12).** *Urbanisme : Plan de la SPLT pour animer le Lac de Tunis*. Webmanagercenter.
<https://www.webmanagercenter.com/2018/02/12/415316/urbanisme-plan-de-la-splt-pour-animer-le-lac-de-tunis/>
11. **Société de Promotion du Lac de Tunis (SPLT). (n.d.).** *Aménagement de la rive nord du lac de Tunis (phases 1 et 2)*. Studi. <https://www.studi.com.tn/site/en/Projects/urban-development-urban-roads-interchanges-and-bridges/development-of-tunis-lake-northern-bank-phase-1-and-2.355.html>
12. **Trabelsi-Bahri, E. L., Armi, Z., Trabelsi-Annabi, N., Shili, A., & Ben Maiz, N. (2013).** *Water quality variables as indicators in the restoration impact assessment of the north lagoon of Tunis, South Mediterranean [Les variables de qualité de l'eau comme indicateurs dans l'évaluation de l'impact de la restauration de la lagune nord de Tunis, en Méditerranée sud]*. *Journal of Sea Research*, 79, 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2013.01.003>
13. **Transnational Institute. (2023).** *The World Bank's water and sanitation policies in Tunisia [Les politiques de la Banque mondiale en matière d'eau et d'assainissement en Tunisie]*. <https://www.tni.org/en/article/the-world-banks-water-and-sanitation-policies-in-tunisia>
14. **Programme des Nations Unies pour les établissements humains (ONU-Habitat). (2016).** *National report for the United Nations Conference HABITAT III [Rapport national pour la Conférence des Nations Unies HABITAT III]*.
<https://habitat3.org/wp-content/uploads/National-report-for-the-united-nations-conference-HABITAT-III.pdf>
15. **Wikipédia (s.d.).** *Tunis*. Wikipédia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Tunis>
16. **World Population Review. (n.d.).** *Tunis*. <https://worldpopulationreview.com/cities/tunisia/tunis>



Chapitre 2 : Intégration urbaine et planification régénérative

ÉCO-VILLE DE ZENATA, MAROC



Récupération et réutilisation des eaux de pluie



Gestion des eaux pluviales et atténuation des inondations



Infrastructures vertes et bleues / solutions fondées sur la nature



Restauration des écosystèmes urbains et biodiversité



Modèles de gouvernance publique-privée et multiniveaux



Aperçu de la ville

Population : Le grand Casablanca compte 4 012 310 habitants (2025). La population de Zenata devrait atteindre 300 000 habitants d'ici 2050.

Climat : Climat méditerranéen avec des étés chauds (Köppen Csa)

Précipitations : 408 mm/an (semi-aride)

Risques liés à l'eau :

- **Sécheresse et pénurie d'eau :** Zenata se trouve dans une région de plus en plus touchée par l'aridification et des sécheresses récurrentes, qui surviennent désormais en moyenne tous les trois ans. La région dépendait auparavant du barrage de Massira, dont le niveau d'eau est tombé à seulement 2,3 % de sa capacité totale. Cette situation résulte de la diminution des précipitations, de saisons de neige plus courtes et de la hausse des températures, autant de facteurs qui réduisent l'apport en eau des principaux barrages.
- **Inondations côtières :** au cours des 20 dernières années, le corridor côtier Casablanca-Mohammedia a été confronté à de fréquentes inondations, qui ont causé des dégâts considérables dans les communautés côtières en raison de débordements et de submersions. Les aquifères côtiers sont gravement menacés par l'intrusion d'eau de mer, l'augmentation de la salinité et la pollution par les nitrates due à la surexploitation des eaux souterraines et à la réduction de leur recharge, ce qui dégrade à la fois la qualité et la disponibilité de l'eau.
- **Eaux de mer contaminées :** les eaux usées non traitées de l'est du Grand Casablanca sont rejetées dans l'océan Atlantique par sept exutoires, menaçant la qualité de l'eau marine et la santé publique en propageant des bactéries, des virus et des parasites nocifs, qui affectent particulièrement les nageurs et les pêcheurs.



Présentation

Nom du projet : Éco-ville de Zenata

Lieu : Zenata, Grand Casablanca, Maroc

Période : 2006-maintenant

Type de projet : Planification urbaine intégrée sensible à l'eau

Échelle de l'initiative : quartier/district

Principal responsable du projet : Société d'Aménagement Zenata (appartenant à la Caisse de Dépôts et de Gestion du Maroc)

Objectif du projet : Répondre à la pénurie de logements et aux défis du développement urbain à Casablanca grâce à un modèle d'éco-ville qui intègre une planification sensible à l'eau, des corridors écologiques et des systèmes de refroidissement naturels afin d'améliorer la résilience climatique, de restaurer le cycle urbain de l'eau et de soutenir une croissance inclusive.

Principales interventions

- **Aménagement urbain sensible à l'eau** : un réseau d'eaux de surface et des bassins de rétention paysagers collectent et filtrent les eaux de pluie en vue d'une réutilisation partielle.
- **Approvisionnement en eau potable** : l'eau potable est fournie par le réservoir de Tit Mellil, alimenté par les systèmes d'approvisionnement en eau existants de l'Office national de l'électricité et de l'eau potable.
- **Corridors écologiques** : des infrastructures vertes à grande échelle, comprenant 470 ha d'espaces verts et de parcs côtiers (30 % de la ville), font office de corridors écologiques, reliant les systèmes urbains et naturels.
- **Infrastructure intégrée d'assainissement et d'égouts** : un réseau d'égouts centralisé, couvrant 800 ha, constitue l'épine dorsale du système d'assainissement dans toute la ville.
- **Système de refroidissement naturel** : la conception en réseau ouvert de l'éco-ville exploite les vents océaniques pour fournir un refroidissement naturel en été et réduire l'humidité en hiver.
- **Réseau de mobilité durable** : à ce jour, 44 kilomètres de pistes cyclables et de voies piétonnes sécurisées, séparées de la circulation automobile et intégrées aux transports publics.

Principaux résultats

- **Amélioration de la résilience hydrique** : les systèmes de collecte et de rétention des eaux de pluie réduisent le ruissellement, ce qui favorise le refroidissement urbain, contribue à restaurer le cycle urbain de l'eau et alimente l'irrigation des espaces verts.
- **Adaptation au changement climatique et atténuation de ses effets** : la conception du système de refroidissement naturel, qui permet une réduction estimée de la température de 2 à 3 °C, diminue la consommation d'énergie et contribue à atténuer les effets de l'îlot de chaleur urbain.
- **Gestion des eaux usées** : 2 808 m³/h et 2 160 m³/h d'eaux usées dans les zones ouest et est respectivement sont gérés par des collecteurs et des intercepteurs.
- **Amélioration de l'environnement marin** : l'émissaire marin de 5,3 s de kilomètres de long améliorera considérablement l'environnement marin et réduira les risques sanitaires de la population locale. Le principal résultat attendu est l'obtention d'eaux de baignade de qualité « A », essentielles pour le tourisme côtier de la région.
- **Amélioration de la biodiversité** : une forte proportion d'espaces verts vise à améliorer la qualité de l'air, les possibilités de loisirs et le bien-être psychologique des habitants.
- **Création de logements et d'emplois** : le plan directeur de l'éco-ville prévoit la construction de 43 500 logements, d'une université internationale, d'installations biomédicales et de santé, du plus grand centre commercial du Maroc ainsi qu'un parc industriel. Le projet devrait générer environ 100 000 emplois, principalement dans les secteurs de la fabrication et du commerce de détail.
- **Gestion environnementale et reconnaissance mondiale** : le projet a reçu le label Éco-Cité décerné par Certivea (France), ainsi que le label HQE Aménagement, qui récompense la conception et l'aménagement urbains durables.

Coût total

800 millions d'euros

Projet

Contexte

Le Maroc connaît une urbanisation rapide due à la croissance démographique et à l'exode rural, avec un taux d'urbanisation qui devrait atteindre 65 % d'ici 2030. Cette tendance, combinée à une sécheresse persistante et au changement climatique, a aggravé les problèmes liés à l'eau dans les zones urbaines, et notamment l'approvisionnement continu en eau potable tout au long de l'année. La région du Grand Casablanca, qui représente 18,8 % du PIB et 47 % des emplois industriels au niveau national, est particulièrement touchée. La région est confrontée à de graves problèmes liés à l'eau, ainsi qu'à une pénurie sévère de logements, d'équipements et de services pour la classe moyenne, ce qui entraîne un étalement urbain croissant en périphérie. En réponse à cette situation, le Maroc a lancé en 2004 un programme visant à construire quinze nouvelles villes d'ici 2020, dont Zenata, située au nord-est du Grand Casablanca. Le projet Zenata est géré par une filiale spéciale de la Caisse de dépôt et de gestion (CDG), une entreprise publique.

Description du projet

Lancée dans le cadre du programme national de construction de villes du Maroc, l'éco-ville de Zenata s'étend sur 18,3 km², soit environ 5,5 km le long de la côte atlantique et près de 3 km à l'intérieur des terres (figure 1). Zenata se caractérise par une approche intégrée du développement urbain axée sur la durabilité environnementale, les opportunités économiques et l'inclusion sociale. Elle met l'accent sur la qualité de l'air, la gestion des eaux pluviales et des eaux usées, les transports et surtout la création d'emplois afin de favoriser le développement d'une ville durable sur le plan environnemental et économique et bien connectée.

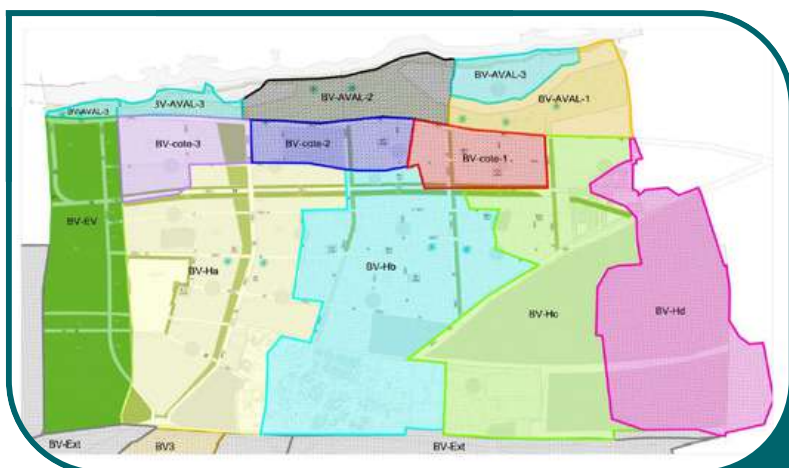
L'une des principales caractéristiques de Zenata est sa conception sensible à l'eau. Un système de drainage de surface collecte les eaux de pluie et les achemine vers un réseau de bassins de rétention paysagers, qui servent à la gestion des eaux pluviales ainsi qu'à l'irrigation de 470 ha de corridors verts, améliorant ainsi la biodiversité locale et régulant les microclimats urbains. La trame urbaine ouverte de la ville s'aligne sur les vents océaniques dominants afin de favoriser le refroidissement naturel, tandis que la recharge des nappes phréatiques est favorisée par des surfaces perméables et une réduction des aménagements en dur.

Le plan directeur urbain consacre 31 % de la superficie à des espaces naturels, 50 % à des blocs à usage mixte (intégrant des logements, des équipements et des espaces commerciaux) et 14 % à des routes et des espaces publics. Un cadre politique dédié à la réinstallation garantit une relocalisation équitable des résidents déplacés. Une fois achevée, Zenata devrait accueillir 300 000 personnes, créer 100 000 emplois et servir de modèle de croissance urbaine inclusive et résiliente au changement climatique dans les régions souffrant de pénurie d'eau.



Solutions circulaires et résilientes

- **Conception urbaine sensible à l'eau** : Zenata dispose de réseaux séparés pour les eaux usées et les eaux pluviales. Les eaux pluviales sont captées par un système de drainage de surface et acheminées vers des bassins de rétention paysagers qui favorisent la recharge des nappes phréatiques, l'irrigation des corridors verts et le refroidissement naturel. Les eaux usées sont prétraitées, puis rejetées en mer afin de protéger la qualité des eaux côtières.
- **Gestion localisée des eaux pluviales** : les eaux pluviales sont collectées et partiellement rejetées dans l'océan par quatre collecteurs principaux (figure 2). Ces collecteurs sont conçus pour gérer des épisodes pluvieux pouvant durer jusqu'à quatre heures. Les bassins de rétention en aval des collecteurs primaires stockent temporairement les eaux pluviales provenant de fortes tempêtes (épisodes pouvant survenir tous les 20 ans), les rejetant lentement afin de réduire leur impact sur la côte. Des bassins et collecteurs similaires dans deux autres bassins gèrent le ruissellement de surface et préviennent les inondations.
- **Gestion localisée des eaux usées** : les eaux usées sont gérées par quatre collecteurs (Ha, Hb, Hc, Hd) reliés à des intercepteurs (figure 2). Le débit des eaux usées de la zone ouest, qui est de 2 808 m³/h, est réparti entre Ha, Hb et des connexions directes. Le débit de la zone est, qui est de 2 160 m³/h, est réparti entre Hc et Hd.



Calendrier de planification et de mise en œuvre des politiques

2004

Le roi Mohammed VI lance un programme national comprenant des réformes majeures et des plans de développement urbain.

2008

La SAZ publie le plan d'orientation et de développement de l'Agence urbaine de Casablanca, élaboré après une large consultation des parties prenantes.

2015

L'éco-ville de Zenata obtient le label exclusif « Éco-ville » décerné par l'Agence française de certification Haute Qualité Environnementale en tant que projet modèle.

2018

La SAZ s'associe à l'ONUDI pour promouvoir le développement durable dans le parc industriel de Zenata.

2021

La quasi-totalité du parc Zenata, qui s'étend sur 800 hectares, est entièrement raccordée aux réseaux d'approvisionnement en eau et d'assainissement, achevant ainsi la première phase des systèmes de drainage et des infrastructures d'eau potable. Cela comprend les réseaux d'égouts et les infrastructures de traitement des eaux usées.



Plan directeur de l'éco-ville de Zenata.
Source : [T+T Design \(2012\)](#).

2006

Le groupe CDG se voit attribuer le projet d'écocité de Zenata grâce à un protocole d'accord signé avec le soutien du roi Mohammed VI. La Société d'Aménagement Zenata (SAZ) est créée pour superviser le projet.

2012

Lydec, fournisseur public d'eau et d'électricité pour le Grand Casablanca, lance le projet anti-pollution Casablanca Est afin d'éliminer les rejets directs d'eaux usées dans la mer.

2016

Un cadre juridique pour le développement des réseaux d'assainissement et des stations d'épuration des eaux usées, moyen de réduire la pollution de l'eau, est adopté.

2018

Lydec conclut un partenariat officiel avec la SAZ pour mettre en œuvre des solutions d'infrastructure intelligentes, notamment la distribution d'eau potable et la gestion des eaux usées.



Visualisation 3D proposée du parc de loisirs Theme Lake.
Source : [Arab Urban Development Trust \(n.d.\)](#).

Impacts climatiques et environnementaux

Atténuation :

- Le plan directeur de Zenata favorise la mobilité à faible émission de carbone grâce à des couloirs réservés aux bus et aux tramways, à un réseau routier adapté aux piétons et à des pistes cyclables.
- L'architecture bioclimatique minimise la dépendance à l'égard des systèmes de climatisation et d'éclairage énergivores grâce à une orientation stratégique, à des dispositifs d'ombrage et à une ventilation naturelle, réduisant ainsi les émissions de gaz à effet de serre (GES) liées à l'exploitation des bâtiments.
- La végétation urbaine, qui comprend 470 hectares d'espaces verts et naturels, améliore la séquestration du carbone tout en améliorant la qualité de l'air.

Adaptation et résilience :

- Les bassins de rétention des eaux pluviales et les corridors végétalisés réduisent le ruissellement de surface et les inondations urbaines, tout en fournissant une source fiable d'eau non potable pour l'irrigation et le refroidissement.
- Le tracé de la ville canalise les vents dominants de l'Atlantique, réduisant ainsi l'effet d'îlot de chaleur urbain et abaissant les températures intérieures.
- La construction bioclimatique augmente le confort thermique et réduit l'exposition à la chaleur extrême, améliorant ainsi la résilience des habitants dans un climat en réchauffement.

Autres impacts environnementaux :

- En séparant les réseaux d'eaux usées et d'eaux pluviales, avec un rejet en mer des effluents traités et une réutilisation des eaux pluviales sur place, le projet protège la qualité des eaux marines et souterraines.
- L'utilisation d'espèces végétales indigènes dans les espaces verts publics et le réseau d'infrastructures vertes améliore la biodiversité locale et réduit les besoins en irrigation.
- Les corridors écologiques urbains favorisent le déplacement des espèces et la restauration des habitats dans une zone côtière en forte urbanisation.

Financement et fonds

Structure des coûts : L'investissement total pour l'éco-ville de Zenata est estimé à 800 millions d'euros, couvrant les infrastructures, les logements, les services et les équipements publics. Le développement s'étale sur plusieurs décennies, les infrastructures de base et les interventions environnementales étant prioritaires dans les premières phases.

Sources et instruments de financement : L'éco-ville de Zenata est principalement financée par le gouvernement marocain en tant qu'investisseur principal via la filiale de la CDG, SAZ. Ce financement est complété par des fonds de développement internationaux, notamment les suivants :

- Le gouvernement marocain en tant qu'investisseur principal via la filiale de la CDG, SAZ
- L'Agence française de développement (AFD) : prêt de 150 millions d'euros
- Banque européenne d'investissement (BEI) : prêt de 150 millions d'euros
- L'Union européenne (UE) : subvention de 4 millions d'euros
- Des fonds supplémentaires sont mobilisés grâce à la valorisation foncière, à des partenariats public-privé et aux revenus provenant du développement immobilier et des services.

Analyse coûts-avantages : L'éco-ville de Zenata devrait générer une valeur socio-économique et environnementale à long terme grâce à trois axes principaux :

- **Création d'emplois :** une fois achevée, l'éco-ville devrait créer 100 000 emplois dans les domaines de la logistique, de l'éducation, de la santé, du tourisme, du commerce, de l'industrie légère et des services publics.
- **Retombées environnementales :** le projet devrait réduire les risques d'inondation et de chaleur, diminuer les émissions de GES et améliorer la qualité de l'eau de mer.
- **Génération de revenus :** la vente de terrains et les concessions de services constituent les principales sources de revenus pour le promoteur, qui réinvestit ces revenus dans les infrastructures et les services.

Engagement des parties prenantes et inclusion sociale

- **Coordination à plusieurs niveaux :** un comité de pilotage composé d'experts nationaux et internationaux, d'autorités locales, d'agences publiques et d'opérateurs urbains clés a orienté la stratégie de développement de Zenata et son intégration dans la région plus large de Casablanca.
- **Réinstallation et inclusion des communautés :** le projet a donné la priorité aux besoins des 40 000 habitants des établissements informels qui occupaient initialement le site. Pendant la phase préparatoire, les familles ont été temporairement relogées dans des logements voisins, et des terrains ont été réservés pour une reconstruction permanente dans le cadre du plan directeur.

Facteurs de réussite



Valeurs:

Zenata incarne une vision à long terme ancrée dans un urbanisme intégré et une conception sensible à l'eau. L'aménagement et les infrastructures de la ville suivent les principes bioclimatiques, tout en favorisant la durabilité, la qualité de vie et la résilience hydrique.



Connexions:

1. **Connexions physiques** : Zenata intègre les systèmes urbains et les réseaux d'infrastructure essentiels (transports, eau, déchets, énergie et espaces publics) dans un aménagement cohérent et adapté au climat, notamment grâce à des corridors écologiques et des infrastructures vertes et bleues.
2. **Connexions sociales** : une collaboration active entre les gouvernements nationaux et locaux, le groupe CDG (le fonds d'investissement public), les organisations internationales et les communautés locales a permis de définir une vision commune. Des plateformes dédiées aux parties prenantes et la planification des réinstallations ont contribué à garantir l'inclusion, la responsabilité et l'acceptation sociale.



Investissements :

Le développement par étapes de Zenata a été rendu possible grâce au soutien solide du gouvernement national et au financement d'institutions financières de développement clés, notamment l'AFD, la BEI et l'UE. Les investissements publics dans des infrastructures vertes et intelligentes ont jeté les bases pour attirer des capitaux privés, renforcer la confiance des investisseurs à long terme et améliorer l'alignement sur les normes mondiales en matière de durabilité.

Réplicabilité

Avec 19 nouveaux projets d'urbanisation en cours dans le cadre de l'initiative « Nouvelles villes », le Maroc figure parmi les pays les plus actifs au monde dans la construction de zones urbaines entièrement nouvelles. Des tendances similaires s'observent en Afrique et en Asie, où des pays comme l'Égypte investissent massivement dans de nouvelles villes pour faire face à l'urbanisation rapide. Zenata offre un modèle précieux pour les futures éco-villes dans ces contextes, en particulier celles qui cherchent à concilier croissance économique, résilience environnementale et inclusion sociale.

Les principaux enseignements tirés concernent l'importance de mettre en place des mécanismes de gouvernance public-privé solides, des cadres de planification à long terme et une conception intégrée de l'eau en milieu urbain. L'approche inclusive de Zenata en matière de réinstallation, qui consiste à fournir aux communautés touchées les moyens de reconstruire leurs maisons et d'accéder aux services, montre qu'il est possible de garantir l'équité sociale lors d'une transformation urbaine à grande échelle. Alors que le Maroc affine son concept d'éco-ville, l'expérience de Zenata en matière de développement et d'exploitation peut servir de référence et de cadre de performance pour les futurs projets urbains dans des zones géographiques similaires.



Vue aérienne d'une maquette 3D de Zenata Eco-City.
Source : [Sparknews \(n.d.\)](#).

Bibliographie

1. **Agence Française de Développement. (2013, avril 3).** *Création de la première écocité marocaine : Zenata.* <https://www.afd.fr/fr/carte-des-projets/creation-de-la-premiere-ecocite-marocaine-zenata>
2. **Anteverti. (n.d.).** *Éco-Cité Zenata: a Smart Strategy for a Future City [une stratégie intelligente pour une ville du futur].* <https://www.anteverti.com/projects/zenata-smart-strategy/>
3. **Institut arabe du développement urbain. (s.d.).** *Éco-ville de Zenata.* <https://araburban.org/en/infocenter/projects/?id=9852>
4. **Chtioui, T. (2024, September).** *New paper: Assessing coastal flood risk under extreme events and sea level rise in the Casablanca-Mohammedia coastline [Nouvel article : Évaluation des risques d'inondation côtière en cas d'événements extrêmes et d'élévation du niveau de la mer sur le littoral de Casablanca-Mohammedia (Maroc)].* Risques naturels. DOI : [10.1007/s11069-024-06624-y](https://doi.org/10.1007/s11069-024-06624-y)
5. **Devex. (s.d.).** *Zenata Development Company.* <https://www.devex.com/organizations/zenata-development-company-124949>
6. **Er-Ramy, N., Nachite, D., Anfuso, G., & Williams, A. T. (2022).** *Coastal scenic quality assessment of Moroccan Mediterranean beaches: A tool for proper management [Évaluation de la qualité paysagère des plages méditerranéennes marocaines : un outil pour une gestion appropriée].* MPDI. <https://doi.org/10.3390/w14121837>
7. **Banque européenne d'investissement. (18 mars 2013).** *Zenata Urban Development Project [Projet de développement urbain de Zenata].* <https://www.eib.org/en/projects/all/20120617>
8. **Banque européenne d'investissement. (2014).** *Environmental and Social Data Sheet – Zenata Urban Development Project [Fiche de données environnementales et sociales – Projet de développement urbain de Zenata].* <https://www.eib.org/attachments/registers/54670741.pdf>
9. **Banque européenne d'investissement. (16 avril 2016).** *Résumé non technique – Projet de développement urbain de Zenata.* Banque européenne d'investissement. <https://www.eib.org/en/registers/all/53568425>
10. **Banque européenne d'investissement. (16 avril 2016).** *Zenata urban development project - Etude d'impact et bilan environnemental [Projet de développement urbain de Zenata]* <https://www.eib.org/en/registers/all/53576577>
11. **Banque européenne d'investissement. (2017).** *Building the first eco-city in Morocco [Construire la première éco-ville du Maroc].* https://www.eib.org/files/events/gif2017_building_the_first_eco_city_in_morocco.pdf
12. **Banque européenne d'investissement. (17 mai 2024).** *Zenata Urban Development Project [Projet d'aménagement urbain Zenata] (dossier SG/E/2022/19).* EIB Complaints Mechanism [Mécanisme de plaintes de la BEI]. <https://www.eib.org/en/about/accountability/complaints/cases/zenata-urban-development-sg-e-2022-19>
13. **Franck Boutté Consultants. (s.d.).** *Zenata Eco-City [Éco-ville de Zenata].* <https://www.franck-boutte.com/en/entries/zenata>
14. **Médias24. (7 mai 2018).** *Lydec et la Société d'aménagement Zenata s'allient pour la gestion des réseaux de l'Eco-Cité Zenata.* <https://medias24.com/2018/05/07/lydec-et-la-societe-damenagement-zenata-sallient-pour-la-gestion-des-reseaux-de-leco-cite-zenata/>

15. **MedUrbanTools. (s.d.).** *Zenata, a modern city of services [Zenata, une ville moderne de services]*. https://medurbantools.com/portfolio_page/casablanca-a-modern-city-of-services/
16. **Moroccotomorrow. (2017).** *An inside look into Africa's first eco-city: Zenata, Morocco [Un aperçu de la première éco-ville d'Afrique : Zenata, au Maroc]*. <https://www.moroccotomorrow.org/an-inside-look-into-africas-first-eco-city-zenata-morocco/>
17. **New Cities Atlas. (n.d.).** *Zenata*. <https://www.newcitiesatlas.com/zenata/>
18. **Oxtoby, T. (2019, August 22).** *Water, electricity, and sanitation network in place at Zenata eco-city*. MEP Middle East [Réseau d'eau, d'électricité et d'assainissement mis en place dans l'éco-ville de Zenata]. <https://www.mepmiddleeast.com/projects/73165-water-electricity-and-sanitation-network-in-place-at-zenata-eco-city>
19. **Roby, C. (13 mars 2017).** *An inside look into Africa's first eco-city: Zenata, Morocco [Un aperçu de la première éco-ville d'Afrique : Zenata, au Maroc]*. Devex. <https://www.devex.com/news/an-inside-look-into-africa-s-first-eco-city-zenata-morocco-89741>
20. **The Nature Conservancy. (s.d.).** *Water Blueprint: Casablanca [Plan d'action pour l'eau : Casablanca]*. <https://water.nature.org/waterblueprint/city/casablanca/#/c=7:32.29642:-6.68518>
21. **Organisation des Nations Unies pour le développement industriel. (19 novembre 2018).** *Promoting inclusive and sustainable industrial production at the Zenata Eco-City [Promouvoir une production industrielle inclusive et durable dans l'éco-ville de Zenata]*. <https://www.unido.org/news/promoting-inclusive-and-sustainable-industrial-production-zenata-eco-city>
22. **World Weather Online. (s.d.).** *Casablanca weather averages [Moyennes météorologiques à Casablanca]*. <https://www.worldweatheronline.com/casablanca-weather-averages/ma.aspx>



Chapitre 3 : Systèmes d'eau circulaires centralisés et valorisation des ressources

GRAND SANTIAGO, CHILI



Recyclage et réutilisation centralisés de l'eau



Restauration des écosystèmes urbains et biodiversité



Modèles de gouvernance publique-privée et
multiniveaux



Aperçu de la ville

Population : 7 400 741 habitants (2024)

Climat : climat semi-aride frais (Köppen BSk), avec des caractéristiques méditerranéennes (Köppen Csb)

Précipitations : 221,5 mm/an (faibles)

Risques liés à l'eau :

- **Le stress hydrique prolongé**, causé par le changement climatique, l'extraction non durable et une gouvernance défaillante des bassins versants, menace la sécurité hydrique à long terme de Santiago. Le centre du Chili connaît depuis près de deux décennies une sécheresse qui a considérablement réduit les ressources en eau de surface et souterraines du bassin du fleuve Maipo. D'ici 2070, le bilan hydrique du bassin devrait diminuer de 40 %, tandis que la demande des secteurs urbain, agricole et industriel continue d'augmenter. Face à ces pressions, les aquifères s'épuisent plus rapidement qu'ils ne peuvent se reconstituer, ce qui accroît la dépendance à l'égard de réseaux fluviaux déjà soumis à des contraintes.
- **La contamination de l'eau** posait de graves risques pour la santé publique avant la construction des stations d'épuration biologiques. Avant cette initiative, les eaux usées non traitées étaient rejetées directement dans le fleuve Mapocho, contaminant l'eau d'irrigation et contribuant à l'apparition de maladies entériques.



Présentation

Nom de l'initiative : Biofactorías del Gran Santiago (Bio-usines du Grand Santiago)

Lieu : Grand Santiago, Chili

Période : 2017-maintenant

Type d'initiative : Recyclage et réutilisation centralisés de l'eau

Vente de l'initiative : spécifique au site

Principaux responsables du projet : Aguas Andinas, Degremont S.A. (aujourd'hui Suez).

Objectif du projet : Convertir les stations d'épuration des eaux usées de Santiago en bio-usines produisant de l'énergie propre, des engrais et de l'eau réutilisable à partir des eaux usées et des boues d'épuration.

Principales interventions

- **Usines de traitement des eaux usées de type bio-usine :** trois grandes bio-usines ont été construites par Aguas Andinas et Suez : La Farfana, Mapocho-Trebal et El Rutal. Ensemble, elles traitent toutes les eaux usées produites par les 8 millions d'habitants du Grand Santiago en appliquant un traitement biologique avancé pour éliminer les matières organiques et les solides, produisant ainsi une combinaison d'eau réutilisable, d'énergie, d'engrais et de

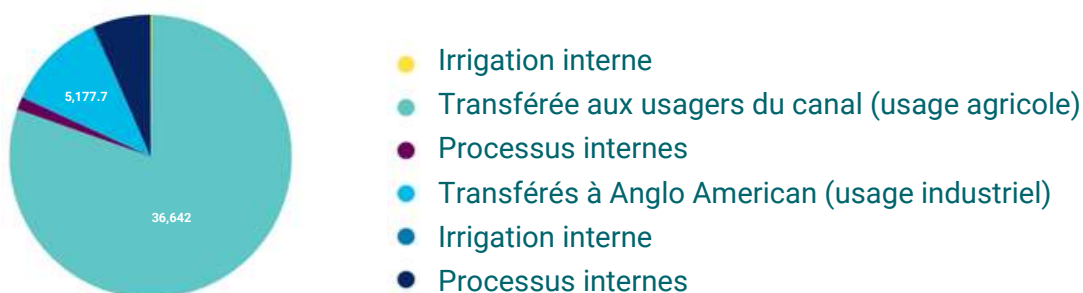
matériaux de construction.

- **Réutilisation de l'eau** : les eaux usées sont traitées selon une norme de haute qualité, non potable, afin d'être réutilisées pour l'irrigation des terres agricoles voisines, en particulier pendant les périodes de pénurie d'eau et de sécheresse.
- **Récupération d'énergie** : les boues issues des eaux usées sont digérées pour produire du biogaz, qui alimente les systèmes de cogénération de La Farfana et El Trebal. Ces usines fonctionnent entièrement hors réseau, et l'énergie excédentaire est injectée dans le réseau électrique national.
- **Récupération des boues et réutilisation des biosolides** : les boues déshydratées et assainies sont transformées en biosolides, qui sont distribués gratuitement aux agriculteurs pour être utilisés dans l'agriculture et la sylviculture, en remplacement des engrais chimiques.
- **Récupération des déchets solides et du sable** : les déchets et le sable extraits pendant le traitement sont assainis et réutilisés dans la construction et l'entretien des routes, ce qui favorise encore davantage les flux circulaires de matériaux et réduit la pression sur les décharges.

Principaux résultats

- **Réutilisation et reconstitution des ressources en eau** : grâce à cette initiative, 100 % des eaux usées produites dans la région métropolitaine de Santiago sont traitées. Au total, 516,7 millions de m³ d'eau traitée (soit 90 % de la consommation d'eau de Santiago) sont restitués chaque année aux cours d'eau naturels et aux canaux d'irrigation, ce qui favorise l'agriculture et la restauration des écosystèmes dans une région soumise à un stress hydrique. En 2023, 45 600 m³ d'eaux usées traitées ont été réutilisées, dont 36 642 m³ à des fins agricoles et 5 177,7 m³ transférés à Anglo American pour un usage industriel (figure 1).
- **Production d'énergie** : au total, les bio-usines génèrent 57 158 MWh/an d'électricité, soit suffisamment pour alimenter 20 000 foyers, assurant ainsi leur autosuffisance énergétique. De plus, les bio-usines alimentent le réseau national de gaz en 190 281 MMBTU/an de biométhane, distribué à 35 000 habitants.
- **Restauration des sols et valorisation des déchets** : dans les trois bio-usines, 233 581 tonnes de biosolides (représentant 80 % de la production totale) ont été réutilisées pour la restauration des sols agricoles, sans qu'aucune ne finisse dans des décharges.
- **Réduction de l'empreinte carbone** : grâce à l'efficacité énergétique et aux processus circulaires, l'initiative a permis de réduire les émissions de gaz à effet de serre de Santiago de plus de 5 000 tonnes d'éq. CO₂ et d'économiser plus de 43 000 GJ d'énergie par an.

Figure 1. Répartition de l'eau traitée réutilisée à Santiago en 2023 (m³).



Projet

Contexte

En 2005, Santiago ne traitait que 3,6 % de ses eaux usées, le reste étant rejeté directement dans le fleuve Mapocho, une source vitale d'eau potable et d'irrigation. Cette contamination a entraîné de fréquentes épidémies de maladies entériques, telles que la fièvre typhoïde, qui ont touché des milliers de personnes dans les années 1980, malgré les bons indicateurs de santé du Chili.

D'importants changements réglementaires et la privatisation du service des eaux de Santiago en 1999, lorsque Aguas Andina a pris en charge l'approvisionnement en eau et les services d'assainissement, ont permis d'importants investissements dans les infrastructures de traitement des eaux usées. Cela a marqué le début de la transition de Santiago d'une approche linéaire d'élimination des eaux usées vers un système circulaire et économe en ressources.

Description du projet

Afin d'atteindre un taux de traitement des eaux usées de 100 % dans la région métropolitaine du Grand Santiago, Aguas Andinas a entrepris un processus complet de transformation des infrastructures sur 12 ans. Cela a nécessité la suppression de 46 points de rejet, qui déversaient auparavant des eaux usées non traitées dans le fleuve Mapocho, et la mise en place d'un système d'interception de 102 km pour détourner les eaux usées vers trois installations de traitement modernes. Après le lancement de la station d'épuration d'El Trebal en 2000, Aguas Andinas s'est associé à Suez dans le cadre d'un accord de construction-exploitation-transfert pour construire en 2003 la station d'épuration de La Farfana, qui était à l'époque la plus grande d'Amérique latine. L'usine de Mapocho, ouverte en 2013, a complété l'ensemble des infrastructures nécessaires pour traiter 100 % des eaux usées de Santiago.

Fort de cette réussite, Aguas Andinas a commencé en 2017 à convertir les usines de La Farfana et Mapocho-Trebal en bio-usines innovantes, des installations d'économie circulaire qui transforment les sous-produits des eaux usées en ressources précieuses telles que l'électricité, le biogaz, les engrais agricoles, l'eau potable et l'air pur. Cette approche pionnière a été reconnue mondialement en 2018 comme une pratique exemplaire par les Nations unies et a valu à Aguas Andinas le prix 2023 des Nations unies pour l'action climatique mondiale pour son excellence en matière de gestion durable de l'eau. Grâce à ces efforts, Santiago est devenue un exemple de premier plan en matière de gestion durable de l'eau en milieu urbain, passant avec succès d'un système traditionnel d'évacuation des eaux usées à un modèle circulaire et économe en ressources.

Coût total

61,2 millions de dollars américains (environ 54,4 millions d'euros) par station d'épuration transformée en bio-usine.

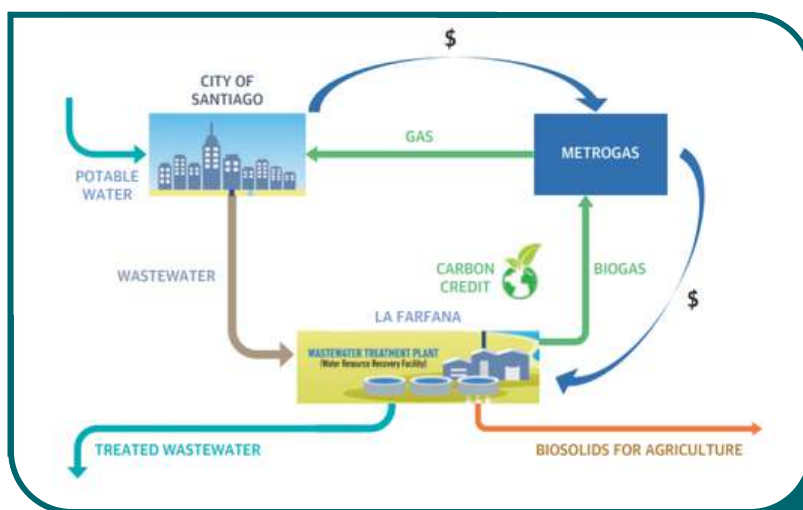


Figure 2. Schéma simplifié des flux de matières et des ressources produites par les bio-usines de Santiago. Source : [Banque mondiale \(2019\)](#).

Technologies et solutions circulaires

- **Traitement des eaux usées** : les eaux usées sont soumises à un processus de traitement en plusieurs étapes, comprenant le criblage, l'élimination des sables et des graisses, la décantation primaire, le traitement biologique, la clarification et la chloration afin de garantir un rejet sûr.
- **Réutilisation de l'eau en circuit fermé** : l'eau traitée est réutilisée pour l'irrigation, ce qui favorise l'agriculture urbaine et réduit la pression sur les réserves d'eau douce, créant ainsi un système urbain circulaire d'approvisionnement en eau.
- **Production de biogaz et d'énergie** : la digestion anaérobie des boues produit du biogaz, qui est purifié et transporté par pipeline vers Metrogas, fournissant de l'énergie à environ 30 000 foyers de Santiago.
- **Cogénération de biogaz** : en utilisant le biogaz produit par digestion anaérobie, la cogénération produit à la fois de l'électricité et de la chaleur, rendant les stations d'épuration autonomes sur le plan énergétique et réduisant leur consommation de combustibles fossiles.
- **Réutilisation des biosolides** : les biosolides sont séchés et réutilisés comme engrais agricoles certifiés, ce qui favorise l'agriculture durable tout en minimisant les déchets à éliminer.
- **Recyclage des matériaux** : le sable et les gravillons récupérés lors du traitement sont recyclés pour la construction et l'aménagement paysager.
- **Réduction des émissions** : les méthodes de traitement naturelles et l'élimination efficace de l'azote minimisent l'utilisation de réactifs chimiques et d'énergie. Ce processus est enregistré dans le cadre du Mécanisme de développement propre¹, générant des certificats d'énergie renouvelable et réduisant les émissions de gaz à effet de serre.

¹ Dans le cadre du mécanisme de développement propre, les projets de réduction des émissions dans les pays en développement peuvent donner lieu à des crédits de réduction des émissions certifiés. Ces crédits, qui peuvent être vendus, peuvent être utilisés par les pays industrialisés pour atteindre une partie de leurs objectifs de réduction des émissions prévus par le protocole de Kyoto.

Calendrier de planification et de mise en œuvre des politiques

1984

La Compagnie municipale des travaux d'assainissement (EMOS) élabore le premier plan directeur global d'assainissement de Santiago. Elle propose un nouveau réseau d'égouts de plus de 200 km de long et une station d'épuration afin d'éviter la contamination des canaux d'irrigation et de répondre aux besoins en matière d'assainissement d'une ville en pleine expansion.

1988

La loi générale sur les services d'assainissement et la loi sur la tarification redéfinissent le paysage institutionnel, créant un cadre réglementaire pour la fixation des tarifs et la garantie de la qualité des services, tout en permettant la constitution de sociétés de distribution d'eau.

1999

À la suite des réformes réglementaires de 1998, EMOS est privatisée (rachetée par Agbar & Suez) et rebaptisée Aguas Andinas. Conformément à leurs obligations réglementaires, les opérateurs privés doivent investir dans le traitement des eaux usées, ce qui marque le début d'une période de développement à grande échelle des infrastructures. À ce stade, seuls 3 % des eaux usées de Santiago sont traitées.

2007 - 2013

Aguas Andinas et la municipalité de Santiago mettent en œuvre le projet « Mapocho Urban Limpio », dont l'objectif est d'atteindre une couverture de 100 % du traitement des eaux usées dans le Grand Santiago d'ici 2013. Cela comprend un investissement de 113 millions de dollars pour éliminer 46 points de rejet d'eaux usées brutes dans la rivière Mapocho.

2021

L'usine de traitement des eaux usées d'El Rital est convertie en bio-usine pour le traitement des biosolides. Ses biosolides sont certifiés comme engrais agricoles, ce qui permet leur utilisation commerciale et réduit la dépendance aux décharges.



1986

EMOS fixe publiquement l'objectif d'une couverture à 100 % du traitement des eaux usées d'ici 2024.

1992

La première station d'épuration de Santiago, Poniente (aujourd'hui La Farfana), est achevée.

2003 - 2010

Sous l'impulsion de la planification nationale et régionale, plus de 1,3 milliard de dollars américains sont investis dans de nouvelles stations d'épuration (à savoir La Farfana et El Trebal) et dans des infrastructures, conformément à la stratégie plus large d'expansion de l'assainissement urbain de Santiago.

2017

Aguas Andinas lance la construction de bio-usines, en réaffectant les stations d'épuration de La Farfana et Mapocho-Trebal afin qu'elles fonctionnent selon les principes de l'économie circulaire : production d'énergie renouvelable, réutilisation de l'eau et valorisation des biosolides.

2023

Aguas Andinas lance Biociudad, un programme de sécurité et de résilience hydriques. Il intègre l'urbanisme et des solutions basées sur la nature pour faire face au stress hydrique à long terme. Ses principaux éléments sont les suivants :

- Construction de puits de recharge des nappes phréatiques.
- Mise en place de tranchées de collecte des eaux de pluie.
- Rediriger l'excédent d'eau traitée des bio-usines vers la recharge des aquifères.
- Campagnes de sensibilisation du public à la conservation de l'eau et au changement des comportements.

Impacts climatiques et environnementaux

Atténuation :

- Le système de gestion de l'énergie et les améliorations apportées à l'efficacité énergétique à La Farfana et Mapocho-Trebal ont permis de réduire la consommation d'énergie de 10 % (43 200 GJ), soit une réduction de plus de 5 000 tonnes d'éq. CO₂ des émissions.
- À La Farfana, environ 12 millions de m² de biométhane sont produits chaque année, soit suffisamment pour alimenter en énergie plus de 100 000 foyers.
- Les améliorations apportées à la production de biogaz à La Farfana ont été enregistrées dans le cadre du mécanisme de développement propre, ce qui a permis d'obtenir des crédits de réduction d'émissions certifiés de 26 340 tonnes d'éq. CO₂ par an.
- Le biogaz issu des boues est utilisé pour alimenter les usines et est également injecté dans le réseau de gaz de la ville, remplaçant ainsi le gaz issu de combustibles fossiles et réduisant les émissions de gaz à effet de serre.

Adaptation et résilience : La réutilisation de l'eau traitée dans l'agriculture réduit la demande en eau potable, améliore la résilience à la sécheresse et diminue la dépendance aux systèmes d'approvisionnement en eau centralisés.

Biodiversité : Des études menées par Aguas Andinas confirment le retour de la vie aquatique dans le fleuve Mapocho, comme l'indique la détection de petits poissons-chats, d'athérines chiliennes et de poissons moustiques.

Avantages agricoles : Les déchets organiques retirés de l'eau pendant la purification sont utilisés dans l'agriculture et la restauration des sols, soit directement sous forme de biosolides, soit après avoir été traités à l'usine d'El Rital, où ils sont transformés en engrais sec. Ces engrais sont appliqués sur environ 30 000 hectares de terres agricoles.

Financement et fonds

Coûts d'investissement : La modernisation des usines de La Farfana et Mapocho-Trebal (incluant la réutilisation de l'eau, la capture et la réutilisation du biogaz et la valorisation des biosolides) a nécessité un investissement de 61,2 millions de dollars américains sur la période 2018-2020.²

Coûts d'exploitation et de maintenance (O&M) : Les coûts annuels d'exploitation et de maintenance ne sont pas divulgués, mais les économies réalisées grâce à l'efficacité énergétique et à la production de biogaz contribuent de manière significative à la réduction des coûts d'exploitation.

Sources et instruments de financement :

- **Tarifs:** Les investissements sont principalement financés par Aguas Andinas grâce aux tarifs facturés aux clients, réglementés par la Superintendencia de Servicios Sanitarios (Superintendance des services sanitaires)
 - Le cadre tarifaire chilien comprend une incitation à l'innovation sur cinq ans, qui permet aux services publics de conserver leurs gains avant l'ajustement des tarifs.
 - Les dispositions légales autorisent explicitement l'inclusion des coûts d'investissement et d'exploitation et de maintenance des projets de valorisation des déchets dans le calcul

² Les chiffres relatifs à l'investissement total dans la conversion complète des trois stations d'épuration en bio-usines ne sont pas disponibles, car les mises à niveau ont été mises en œuvre progressivement sur plusieurs années.

- des tarifs.
- Cette structure encourage l'innovation et l'efficacité, incitant les services publics à adopter des solutions respectueuses du climat.
- **Obligations et titres de créance** : Le financement du projet est assuré par une combinaison des instruments suivants :
 - Obligations d'entreprise (émises chaque année).
 - Obligations vertes et sociales (une première en Amérique latine) :
 - 2018 : 68 millions de dollars US sur une durée de sept ans à un taux d'intérêt de 1,8 %.
 - 2019 : 83 millions de dollars US sur une durée de 25 ans à un taux d'intérêt de 2,0 %
 - La notation de crédit AA+ (Fitch) d'Aguas Andinas et la stabilité de l'environnement réglementaire contribuent à la confiance des investisseurs et à la bancabilité du projet.
- **Partenariats public-privé et coentreprises** : Aguas Andinas a également conclu différents partenariats avec le secteur public (figure 2), notamment dans le domaine de la valorisation du biogaz avec Metrogas en 2002 (accord signé en 2007). Le coût total du projet, d'un montant de 6 millions de dollars, a été couvert par un investissement à parts égales entre Aguas Andinas et Metrogas afin de fournir de l'énergie renouvelable aux ménages.

Analyse coûts-avantages:

- **Système de gestion de l'énergie** :
 - Coût : 338 000 dollars américains
 - Avantages : 1 million de dollars
 - Période de récupération : 1,7 an
- **Améliorations en matière d'efficacité énergétique (La Farfana et Mapocho-Trebal)** :
 - Sont permis de réduire la consommation d'électricité de 10 %.
 - Économies annuelles : plus d'un million de dollars américains
- **Sources de revenus supplémentaires** :
 - Ventes de biogaz
 - Valorisation des biosolides (les agriculteurs qui utilisent des biosolides traités déclarent une économie de 50 % sur leurs coûts d'engrais)

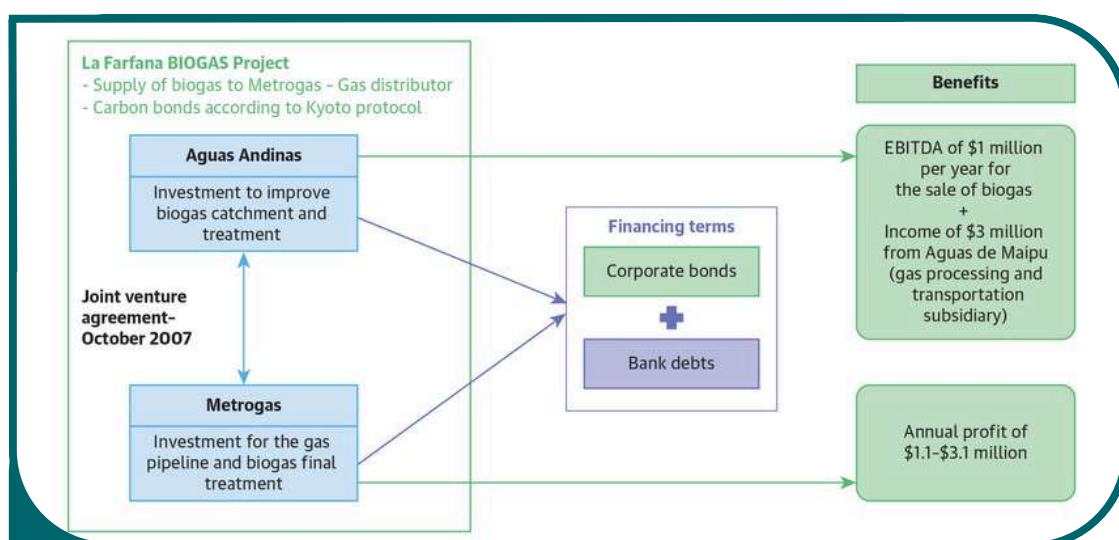


Figure 3. Conditions de l'accord de coentreprise conclu en 2007 entre Aguas Andinas et Metrogas.
Source : Banque mondiale (2019).

Engagement des parties prenantes et inclusion sociale

- **Participation communautaire** : Aguas Andinas engage les communautés locales à travers des tables rondes organisées à proximité des principales installations, auxquelles participent diverses organisations sociales afin d'identifier les priorités et de concevoir conjointement des projets. En 2024, 17 projets communautaires ont été mis en œuvre, axés sur le sport, la culture, la sécurité et les infrastructures.
- **Canaux de communication directs** : la ligne d'assistance téléphonique « Aló Vecino » permet aux résidents vivant à proximité des bio-usines de signaler leurs préoccupations, qui font alors l'objet d'une enquête et d'un traitement rapides.
- **Programmes d'investissement social** : depuis 2008, plus de 800 initiatives communautaires ont été soutenues par des programmes de financement, dont 38 projets financés en 2024. Le programme « Futuro es Femenino » a formé 60 femmes aux installations sanitaires en 2024, avec un taux de rétention supérieur à 90 %.
- **Éducation et sensibilisation** : environ 6 700 visiteurs ont visité les bio-usines en 2024. Les programmes d'éducation environnementale ont touché plus de 46 000 élèves et ont mobilisé 34 employés bénévoles. En outre, 20 conférences de sensibilisation à la sécheresse ont réuni 2 000 membres de la communauté, avec un taux de satisfaction de 94 %.

Facteurs de réussite



1. **Valeurs** : La transformation des stations d'épuration des eaux usées en bio-usines intégrées reflète une évolution vers un modèle d'économie circulaire holistique. Ces installations récupèrent l'eau, l'énergie et les nutriments, transformant les eaux usées en ressources et alignant les opérations des services publics sur la gestion environnementale. Cette approche valorise l'innovation, la résilience climatique et les multiples avantages de repenser les eaux usées comme une source d'opportunités.



Connexions:

1. **Connexions physiques** : l'extension des infrastructures d'égouts a permis d'acheminer les eaux usées du Grand Santiago vers des installations d'épuration, atteignant ainsi une couverture de 100 % du traitement des eaux usées et favorisant des flux de ressources circulaires intégrés.
2. **Connexions sociales** : les connexions entre Aguas Andinas, les autorités locales et d'autres entreprises de services publics, telles que Metrogas, ont soutenu la viabilité opérationnelle et financière des bio-usines.



1. **Investissements** : Le projet a été entièrement financé par un service public privé solvable, ce qui a permis d'accéder aux marchés des capitaux grâce à une combinaison d'obligations vertes et de prêts. Les politiques tarifaires du Chili ont encouragé l'innovation et les pratiques d'économie circulaire, tandis que les revenus provenant de la vente de ressources récupérées telles que le biogaz et les biosolides ont contribué à la viabilité financière.

Réplicabilité

L'approche des bio-usines est reproductible dans d'autres villes qui visent une gestion durable des eaux usées, en particulier celles qui sont confrontées à la fois à une pénurie d'eau, à des coûts énergétiques élevés et à des défis environnementaux. Son succès repose sur des cadres réglementaires favorables, des mécanismes de financement innovants (tels que les obligations vertes) et des marchés locaux pour les sous-produits tels que le biogaz et les biosolides. Le groupe Suez, propriétaire d'Aguas Andinas, a également mis en œuvre le modèle de bio-usine dans des stations d'épuration des eaux usées en Espagne, démontrant ainsi son adaptabilité et son applicabilité à des villes de tailles, de maturité infrastructurelle et de conditions climatiques variées, ce qui le rend adapté aux contextes développés et en développement.

Au Maroc, le traitement et la réutilisation des eaux usées sont des priorités essentielles en raison des ressources en eau limitées et de la croissance démographique urbaine. Le pays génère environ 1,4 milliard de m³ d'eaux usées par an, mais seulement 18 % environ sont actuellement traités. Avec plus de 400 stations d'épuration des eaux usées dans tout le pays et les objectifs ambitieux fixés par le ministère de l'Équipement et de l'Eau, tels que l'utilisation de 100 millions de m³ d'eaux usées traitées d'ici 2027 dans le cadre du Programme national d'approvisionnement en eau potable et en eau d'irrigation de 2020-2027, le potentiel est considérable pour la mise en œuvre de l'approche des bio-usines. Des villes comme Marrakech et Kénitra, qui exploitent déjà de grandes stations d'épuration des eaux usées avec production et réutilisation de biogaz, pourraient adopter d'autres éléments des bio-usines, notamment le recyclage de l'eau et la production de biosolides. La généralisation de ces pratiques dans les villes marocaines, la construction de bio-usines intégrées capables de transformer les eaux usées en énergie propre, en eau pour irriguer les terrains de golf et les espaces verts, et en engrais agricoles, pourrait contribuer à l'objectif plus large du pays en matière de gestion durable et résiliente des ressources en eau.



Vue aérienne de la bio-usine La Farfana.
Source : ohstgo.cl (n.d.).



Vue sur la bio-usine La Farfana.
Source : [Planetary Health Alliance \(2025\)](#).

Bibliographie

1. **Aguas Andinas. (2024).** *Reporte integrado [Rapport intégré] 2024.* <https://www.aguasandinasinversionistas.cl/~media/Files/A/Aguas-IR-v2/reporte-integrado-2024-aguas-andinas-v42-alta.pdf>
2. **Aguas Andinas. (s.d.).** *Our history [Notre histoire].* <https://www.aguasandinasinversionistas.cl/en/about-us/history/our-history>
3. **Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.[Bibliothèque du Congrès national du Chili]. (s.d.).** *Reporte comunal: Santiago [Rapport communal : Santiago].* https://www.bcn.cl/siit/reportescomunales/comunas_v.html?idcom=13101
4. **Clean Energy Ministerial. (2022).** *Global Energy Management System implementation: Aguas Andinas S.A. case study [Mise en œuvre du système mondial de gestion de l'énergie : étude de cas Aguas Andinas S.A].* <https://www.cleanenergyministerial.org/content/uploads/2022/03/cem-em-casestudy-aguas-andinas-chile.pdf>
5. **Fitch Ratings. (n.d.).** *Aguas Andinas S.A.* <https://www.fitchratings.com/entity/aguas-andinas-sa-91418498#ratings>
6. **Global Methane Initiative. (2013).** *La Farfana wastewater treatment plant biogas upgrade (Santiago, Chile) [Modernisation du système de biogaz de la station d'épuration de La Farfana (Santiago, Chili)].* https://www.globalmethane.org/expo-docs/posters/Wastewater/WW_CL_Success_La-Farfana-WWTP_FINAL.pdf
7. **JumpSeller. (2019, octobre 24).** *Captura de pantalla de la tienda online [Capture d'écran de la boutique en ligne].* https://cdn.jumpseller.com/ad-toma-aerea-banco-de-im/image/6812213/Captura_de_Pantalla_2019-10-24_a_la_s_20.48.20.jpg?1571960915
8. **Larsen, R. S. (2019, septembre 23).** *World's first wastewater biofactory [La première bio-usine au monde traitant les eaux usées].* *Global Opportunity Explorer.* <https://goexplorer.org/worlds-first-wastewater-biofactory-suez-aguas-andinas/>
9. **Moreno, J. Y. & Dolarea, P. C. (2020, juin 17).** *Un día en las Biofactorías del Gran Santiago de Chile [Une journée dans les bio-usines du Grand Santiago du Chili]* <https://cdn.franticape.network/media/aladyr/webinars/2020/06/PRESENTACIÓN%20WEBINAR%2017%20DE%20JUNIO%20-%20Un%20día%20en%20las%20Biofactorías%20del%20Gran%20Santiago%20de%20Chile.pdf>
10. **Núñez-Villaveirán, L. (2020, décembre 17).** *Biofactorías: las depuradoras del siglo XXI [Les bio-usines : les stations d'épuration du XXIe siècle].* *PLAN A, El Mundo.* <https://plana.elmundo.es/biofactorias-las-depuradoras-del-siglo-XXI.html>
11. **Pacto Global Chile. (s.d.).** *Biofactorías del Gran Santiago.* *Conecta Impulsando La Agenda 2030 [Les bio-usines du Grand Santiago. Connecter en promouvant l'Agenda 2030].* <https://conecta.pactoglobal.cl/casos-de-empresas/biofactorias-del-gran-santiago/>
12. **Planetary Health Alliance. (2025, Février).** *Going circular [Vers une économie circulaire].* <https://planetaryhealthalliance.org/wp-content/uploads/2025/02/Going-Circular.pdf>
13. **Pumps Africa. (2021, octobre 18).** *How Morocco is tackling wastewater treatment challenges [Comment le Maroc relève les défis du traitement des eaux usées].* <https://pumps-africa.com/how-morocco-is-tackling-wastewater-treatment-challenges/>

14. **Schwerter, C., & Yarur Sairafi, I. (2024).** *Water resilience for Santiago de Chile [Résilience hydrique pour Santiago du Chili]*. Alliance for Water Stewardship. <https://www.alliance4water.org/wr4er-cases/water-resilience-for-santiago-de-chile>
15. **L'Institut français du partenariat public-privé (IGD).**(2019). *The French know-how in the world in management and financing of public services and infrastructures [Le savoir-faire français dans le monde en matière de gestion et de financement des services publics et des infrastructures]*. . <https://www.fondation-igd.org/wp-content/uploads/2025/03/Infrastructurers-et-services-publics-la-savoir-faire-francaise-dans-le-monde-Edition-2019-version-EN.pdf>
16. **The Nature Conservancy. (n.d.).** *Santiago Water Fund [Fonds pour l'eau de Santiago]*. <https://www.nature.org/en-us/about-us/where-we-work/latin-america/chile/stories-in-chile/santiago-water-fund/>
17. **The Nature Conservancy. (s.d.).** *Water Blueprint: Santiago. Urban Water Blueprint [Plan d'action pour l'eau : Santiago. Plan d'action pour l'eau en milieu urbain]*. <https://water.nature.org/waterblueprint/city/santiago/#/c=8:-33.83392:-70.30426>
18. **CCNUCC. (s.d.).** *Santiago Biofactory, Chile [Bio-usine de Santiago, Chili. Changement climatique des Nations Unies]*. <https://unfccc.int/climate-action/un-global-climate-action-awards/planetary-health/santiago-biofactory-chile>
19. **Banque mondiale. (2019).** *Wastewater: From waste to resource – The case of Santiago, Chile [Eaux usées : des déchets à la ressource – Le cas de Santiago, Chili.]* <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/f5d29e3b-e0c0-5340-9da1-60cc26dcd8af/content>



Bio-usine de Santiago
Source : felicidadpublica.cl



Chapitre 3 : Systèmes d'eau circulaires centralisés et valorisation des ressources

SURAT, GUJARAT, INDE



Recyclage et réutilisation centralisés de l'eau



Restauration des écosystèmes urbains et biodiversité



Modèles de gouvernance publique-privée et multiniveaux



Aperçu de la ville

Population : 8 602 322 habitants (estimation pour 2025)

Climat : climat tropical de savane (Köppen Aw), avec des étés chauds et humides, une saison de mousson et des hivers secs.

Précipitations : 1 240 mm/an (élevées)

Risques liés à l'eau :

- **Grande vulnérabilité aux inondations** causées par le fleuve Tapi, aggravées par les pluies de mousson et les lâchers d'eau des barrages, avec des événements majeurs enregistrés en 1968, 1994, 1998 et 2006. En 2006, 95 % de la ville a été submergée, faisant environ 120 victimes.
- **Perturbations fréquentes de l'approvisionnement en eau** en raison de la dépendance au barrage d'Ukai, avec des niveaux d'eau saisonniers bas et une contamination par les eaux usées industrielles et domestiques non traitées qui affectent la purification.



Présentation

Nom de l'initiative : Initiative d'approvisionnement en eau industrielle de Surat

Lieu : Surat, Gujarat, Inde

Période : 2014-maintenant

Type d'initiative : Recyclage et réutilisation centralisés de l'eau

Ampleur de l'initiative : A l'échelle de la ville

Principal responsable du projet : Surat Municipal Corporation (SMC)

Objectif du projet : Recycler les eaux usées grâce à un traitement tertiaire avancé afin de les réutiliser dans les pôles industriels, réduire la pression sur les sources d'eau douce et permettre un développement industriel durable à Surat.

Principales interventions

- **Stations de traitement tertiaire (STT)** : technologies avancées de recyclage des eaux usées (filtration sur sable, ultrafiltration, osmose inverse et charbon actif) intégrées aux stations d'épuration existantes (STEP), fournissant de l'eau traitée pour réutilisation industrielle.
- **Réseau dédié à la réutilisation industrielle** : réseau d'eau non potable en circuit fermé, totalement séparé du réseau d'eau potable de la ville, fournissant des eaux usées traitées aux pôles industriels de Pandesara et Sachin.
- **Infrastructure de gestion de l'eau** : des réservoirs d'eau, des pompes et des réservoirs de mélange dédiés garantissent une pression et un approvisionnement constants, indépendamment de la demande et de la production.
- **Gestion des eaux usées de lavage à contre-courant** : Mise en place de cuves de récupération (puisards) pour collecter et recycler l'eau de lavage des filtres provenant des processus de traitement, améliorant ainsi l'efficacité et la circularité des ressources.

Principaux résultats

- **Eaux usées recyclées distribuées pour réutilisation industrielle** : en 2024, un total de 330 millions de litres par jour (MLJ) d'eaux usées traitées (20 % du total des eaux usées traitées à Surat) sont recyclés et réutilisés, dont 115 MLJ d'eau traitée tertiaire spécifiquement fournie aux industries textiles des zones industrielles de Pandesara et Sachin. En janvier 2024, 173 milliards de litres d'eaux usées avaient été recyclés et fournis aux industries.
- **Génération de revenus** : en janvier 2024, le projet avait généré plus de 4,96 milliards de roupies indiennes (49,5 millions d'euros) de revenus provenant de la vente d'eau de qualité industrielle, démontrant ainsi la viabilité financière du modèle de réutilisation des eaux usées.
- **Réduction de la consommation industrielle d'eau douce** : l'approvisionnement en eau recyclée à un prix abordable a considérablement réduit la consommation d'eau douce par les industries textiles et de teinture, contribuant ainsi à la conservation de l'eau et à la réduction de la pression écologique sur la rivière Tapi.
- **Colocalisation des infrastructures et des industries** : la colocalisation stratégique des nouvelles stations de traitement tertiaire et des pôles industriels permet une distribution efficace de l'eau recyclée pour la réutilisation industrielle.
- **Expansion et évolutivité** : l'expansion continue des capacités de traitement et de recyclage de l'eau reflète la capacité du projet à répondre à la demande croissante en eau industrielle.

Coût total

- 3,14 milliards de roupies indiennes (31,3 millions d'euros) (à partir de 2024)
-

Projet

Contexte

Surat, une ville industrielle en pleine expansion dans l'État du Gujarat, est confrontée à d'importants défis liés à l'eau, exacerbés par l'urbanisation rapide, à l'expansion industrielle et les risques d'inondation aggravés par le changement climatique mondial. L'économie de la ville dépend fortement de secteurs à forte consommation d'eau, tels que la fabrication textile et le polissage des diamants, qui exercent une pression considérable sur les ressources en eau douce. La dépendance de Surat à la rivière Tapi et au barrage d'Ukai est devenue de plus en plus insoutenable, tandis que le rejet d'eaux usées non traitées ou partiellement traitées a encore dégradé les plans d'eau locaux. Pour relever ces défis, la Surat Municipal Corporation (SMC) a lancé l'Initiative pour l'approvisionnement en eau industrielle afin d'intensifier la réutilisation des eaux usées traitées, de réduire la pression sur l'environnement et de préserver les ressources limitées en eau douce.

Description du projet

Lancée en 2014 par la SMC, l'initiative d'approvisionnement en eau industrielle répond à la demande croissante en eau industrielle de la ville grâce à la réutilisation des eaux usées traitées. La première station de traitement tertiaire (STT), Bamroli Phase I, a été mise en service dans la

station d'épuration existante de Bamroli (STEP) en 2014, suivie par Bamroli Phase II et Dindoli en 2020. Mises en œuvre dans le cadre de partenariats public-privé (PPP), les STT ont été développées dans le cadre d'un contrat d'ingénierie, d'approvisionnement et de construction (IAC) comprenant un accord d'exploitation et de maintenance (E&M) de 10 ans entre la SMC et Enviro Control Associates, avec la société Hyflux, basée à Singapour, comme partenaire technologique.

Utilisant l'ultrafiltration et l'osmose inverse pour traiter les eaux usées (figure 1), ces trois STT produisent 115 millions de litres par jour (MLJ) d'eau recyclée de haute qualité et de qualité industrielle, qui est distribuée par des canalisations vers des zones industrielles telles que Pandesara et Sachin, principalement pour être utilisée dans des secteurs à forte consommation d'eau comme l'industrie textile (tableau 1). Les STT sont complétées par des installations de traitement secondaire (figure 2) qui fournissent de l'eau recyclée pour un plus large éventail d'utilisations non potables, notamment l'agriculture, la construction, le jardinage et l'aménagement paysager, la régénération des lacs et la restauration écologique (tableau 2). Les revenus générés par la vente d'eau recyclée pour ces utilisations non potables garantissent la viabilité financière du projet.

En intégrant un recyclage avancé de l'eau à une réutilisation non potable plus large, Surat offre un modèle évolutif de système de gestion de l'eau circulaire et résilient qui réduit la pression sur les sources d'eau douce telles que la rivière Tapi et le barrage d'Ukai, tout en générant des revenus, en améliorant la qualité de l'environnement et en soutenant l'adaptation au changement climatique. Il offre une stratégie reproductible pour d'autres villes en rapide urbanisation confrontées au double défi de la pénurie d'eau et de la croissance industrielle.

Solutions de circularité et de résilience

STT et réutilisation de l'eau : Surat exploite trois STT équipés de systèmes d'ultrafiltration, de filtres à charbon actif et d'osmose inverse pour traiter les eaux usées et produire 115 MLJ d'eau recyclée de haute qualité à usage industriel, ce qui permet à la ville de progresser vers son objectif de zéro rejet liquide.

Réutilisation sur site : l'eau traitée est réutilisée pour le nettoyage et le fonctionnement des installations de traitement des eaux usées, ce qui réduit la demande globale en eau.

Résilience à la sécheresse : l'approvisionnement continu en eau recyclée soutient les opérations industrielles pendant les périodes de sécheresse, renforçant ainsi la résilience et la stabilité économiques.

Extension de la réutilisation des eaux usées à l'échelle de la ville : Surat vise à atteindre 100 % de réutilisation des eaux usées traitées d'ici 2035, en développant les infrastructures et les applications de réutilisation dans tous les secteurs (tableau 3).

Tableau 1. STEP et STT intégrés existants à Surat (2024).

STEP	Capacité (MLJ)	Capacité de la STT (MLJ)	Année de création	Technologie	Industries bénéficiaires
Anjana	122,0				
Bhesan	200,0				
Bhatar	277,0				
Karanj	211,0				
Singapore	255,0				
Bamroli-Vadod	215,0	Phase I Entrée : 57,0 Production nette : 40,0	2014	Ultrafiltration et osmose inverse	Zone industrielle de Pandesara
		Phase II Entrée : 50,0 Production nette : 35,0	2020	Ultrafiltration et osmose inverse	Sachin textile industries
Asarma	37,5				
Khajod	55,0				
Variav-Kosad	134,0				
Dindoli	167,0	Entrée : 57,0 Production nette : 40,0	2020	Ultrafiltration + osmose inverse	Zone industrielle de Pandesara
Gavier	53,0				
Total	1 726,5	Entrées : 164,0 Production nette : 115,0			
GHB Gem & Jewellery Park*	5.0	5.0	2014	Sequencing Batch Reactor + Ultra Filtration	Gujarat Hira Bourse

*GHB Gem & Jewellery Park est une installation privée dotée de sa propre station d'épuration tertiaire, qui n'est pas affiliée à SMC.

Tableau 2. Industries bénéficiaires des eaux usées recyclées provenant des installations de traitement tertiaire et secondaire à Surat (2024).

Secteur bénéficiaire	Eaux usées traitées réutilisées (MLJ)
Traitement tertiaire	
Pôles industriels textiles	115
Traitement secondaire	
Autres réutilisations industrielles	112,0
Réutilisation dans le processus de traitement dans les stations d'épuration	49
Agriculture	28,0
Construction (dont un projet ferroviaire métropolitain et un parc dédié à la biodiversité)	20
Jardinage et aménagement paysager	17
Fermeture de décharge et parc écologique	5
Régénération du lac	2.0
Installation de compostage des déchets	1,0
Parc dédié à la biodiversité	0,5
Projet Dream City	0,5
Total	330,0

Tableau 3. STT prévues à Surat (2024).

STEP	Capacité supplémentaire (MLJ)	Capacité de production des STT (MLJ)	Industries bénéficiaires
Varachha	150	100,0	Palsana Enviro Protection Pvt. Ltd.
Dindoli	100,0	75	Gujarat Eco-Textile Park & New Palsana Industrial Coop. Soc. Ltd.
Total	250,0	175,0	

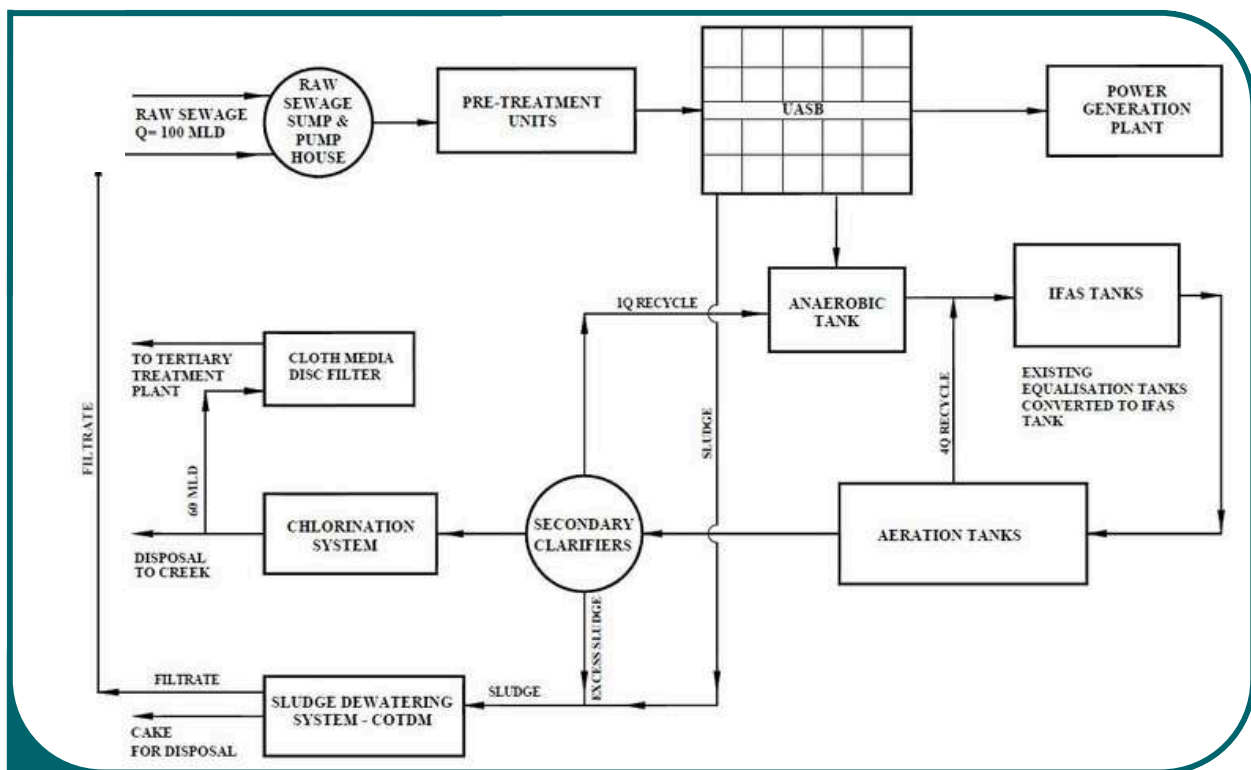


Figure 1 : Schéma du processus de traitement à la station d'épuration de Bamroli Phase II.
Source : Vashi et al. (2019).

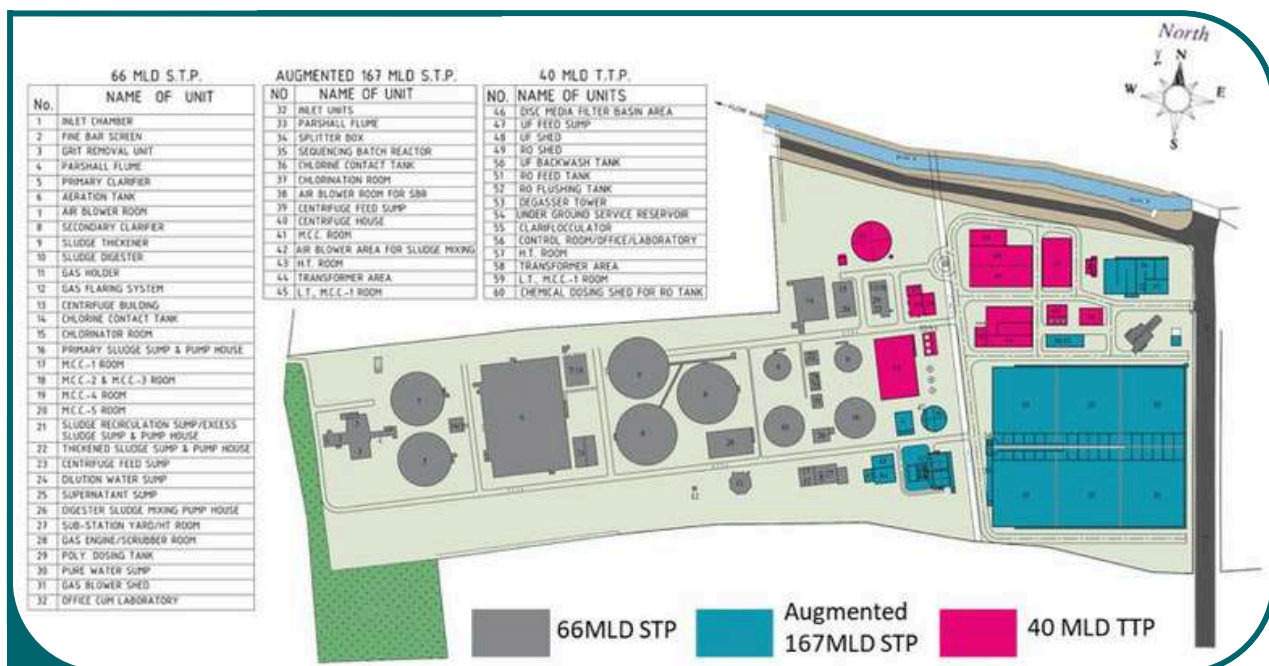


Figure 2. Schéma d'une STT intégrée à une station d'épuration (STEP) existante.
Source : Smart Cities and Academia towards Action and Research (2023).

Calendrier de planification et de mise en œuvre des politiques

2011

Les premiers plans pour la phase I de la STT de Bamroli sont élaborés avec le soutien de la Banque asiatique de développement et de la zone industrielle de Pandesara.

2015

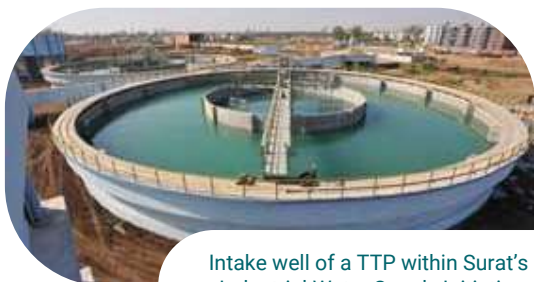
Le gouvernement indien lance la Smart City Mission afin de promouvoir le développement urbain durable grâce à l'efficacité des ressources, aux pratiques d'économie circulaire et à l'amélioration des infrastructures. À Surat, la Smart City Mission soutient et cofinance la construction de la STT de Dindoli.

2018

Le gouvernement du Gujarat adopte la politique de réutilisation des eaux usées traitées, qui fournit un cadre réglementaire aux municipalités pour développer la réutilisation de l'eau. Cette politique fixe des objectifs de réutilisation de 70 % d'ici 2030 et de 100 % d'ici 2035, et impose l'utilisation d'eau recyclée par les zones industrielles situées dans les zones urbaines.

2020

Les STT de Bamroli Phase II et Dindoli deviennent opérationnelles, ajoutant 75 MLJ à la capacité de recyclage de l'eau.



Intake well of a TTP within Surat's Industrial Water Supply Initiative.
Source: Surat Municipal Corporation

2014

La phase I de la STT de Bamroli est mise en service, fournissant 40 MLJ d'eau recyclée à la zone industrielle de Pandesara.

2017

SMC adopte la stratégie de résilience de Surat, qui met l'accent sur la réutilisation de l'eau comme réponse prioritaire à la pénurie d'eau et à la pression sur les nappes phréatiques.

2019

SMC adopte le plan d'action pour la réutilisation des eaux usées traitées, en accord avec la politique de l'État du Gujarat. Ce plan identifie les utilisateurs industriels (Sachin et Pandesara) et comprend une structure tarifaire, des plans d'infrastructure et une feuille de route pour la mise en œuvre.



Station de traitement des eaux usées à Varachha
Source : Municipalité de Surat (2024)

2024

SMC signe des protocoles d'accord avec trois autres zones industrielles pour fournir de l'eau recyclée provenant des futures STT de Dindoli et Varachha.

Impacts climatiques et environnementaux

Atténuation :

- Les eaux usées domestiques et industrielles représentent 2,34 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) de l'Inde, principalement en raison du méthane et de l'oxyde nitreux libérés par la décomposition des matières organiques.
- Le traitement et la réutilisation centralisés des eaux usées peuvent réduire considérablement ces émissions de GES. Une étude menée dans le Shaanxi, en Chine ([Liu et al., 2024](#)), a révélé que le recyclage des eaux usées industrielles réduisait les émissions de GES de 10,46 % par tonne d'eau traitée par rapport à l'approvisionnement conventionnel.

Adaptation et résilience :

- L'Initiative d'approvisionnement en eau industrielle de Surat fournit une source d'eau stable et résistante à la sécheresse aux utilisateurs industriels, garantissant la continuité des opérations pendant les périodes de pénurie d'eau municipale.
- Des canalisations de réutilisation dédiées reliant le STT et les pôles industriels allègent la pression sur les réseaux d'eau potable, renforçant ainsi la capacité de la ville à gérer le stress hydrique lié au climat.
- La conservation à long terme des sources d'eau douce, en particulier des eaux souterraines, est essentielle tant pour le bien-être humain que pour les écosystèmes.

Biodiversité :

- Les trois STT détournent les eaux usées traitées des plans d'eau locaux, tels que les ruisseaux et la rivière Tapi, réduisant ainsi la charge polluante qui pénètre dans les écosystèmes naturels.
- Des normes de traitement élevées (demande biologique en oxygène < 5 mg/L et total des solides dissous < 500 mg/L) minimisent les charges en nutriments et en produits chimiques, favorisant ainsi des environnements aquatiques plus sains.
- Les STT remplacent les sources d'eau industrielles informelles ou mal traitées, réduisant ainsi les risques de contamination des sols et de l'eau.

Financement et fonds

Structure des coûts :

- **Investissement** : en 2025, le coût total d'investissement pour la construction des trois STT opérationnelles s'élevait à 3,14 milliards de roupies indiennes (environ 31,3 millions d'euros ; tableau 4).
- **Exploitation et maintenance** : Les coûts annuels d'exploitation et de maintenance sont estimés à 403,3 millions de roupies indiennes (4,2 millions d'euros). Ils sont entièrement couverts par les recettes provenant des redevances versées par les consommateurs industriels d'eau (tableau 4).

Tableau 4. Coûts d'investissement et d'exploitation et de maintenance des trois STT mises en place par l'Initiative d'approvisionnement en eau industrielle de Surat vers 2022.

STT	Capacité (MLJ)	Année de création	Coût d'investissement	Coût d'E&M par an	Revenus totaux (vers octobre 2022)
Bamroli - Phase I	35,0	2014	851 millions INR (8,5 millions d'euros)	186,4 millions INR (1,9 million d'euros)	2,5 milliards INR (24,8 millions d'euros)
Bamroli - Phase II	40,0	2020	1,04 milliard INR (10,4 millions d'euros)	126,6 millions INR (1,3 million d'euros)	658,1 millions INR (6,6 millions EUR)
Dindoli	40,0	2020	1,25 milliard INR (12,5 millions d'euros)	90,3 millions INR (0,9 million d'euros)	564,5 millions INR (5,6 millions EUR)

Sources et instruments de financement : Bien que les STT soient exploitées dans le cadre de PPP, les partenaires privés assurant les volets IAC et E&M, leurs coûts d'investissement ont été principalement financés par des ressources publiques, selon des structures de financement variables :

- **Bamroli Phase I** : entièrement financé par le gouvernement du Gujarat dans le cadre du programme Swarnim Jayanti Mukhya Mantri Shaheri Vikas Yojana.
- **Dindoli** : financé par le gouvernement indien via la Smart Cities Mission (59,3 %) et la Surat Municipal Corporation (40,7 %).
- **Bamroli Phase II** : financé principalement par une subvention du gouvernement du Gujarat (93 %) et en partie par le secteur privé (7 %).

Modèle PPP : deux contrats distincts ont été attribués au partenaire privé, Enviro Control Associates : l'un pour l'IAC et l'autre pour l'E&M.

- Les recettes provenant de la vente d'eau recyclée sont collectées par la SMC et utilisées pour payer le contractant chargé de l'exploitation et de la maintenance.
- L'appel d'offres initial pour Bamroli Phase I, élaboré avec la Banque asiatique de développement, était structuré selon un modèle PPP de conception-construction-financement-exploitation-maintenance. Cependant, il a ensuite été abandonné lorsque la SMC a pris conscience du potentiel de génération de revenus directs provenant de la vente d'eau.

Modèle de paiement à l'utilisation : les coûts d'investissement et d'exploitation et de maintenance sont récupérés grâce aux redevances versées par les utilisateurs pour l'eau recyclée de qualité industrielle. Cette redevance a été initialement fixée à 18,20 INR (0,18 EUR) pour 1 000 litres en 2014, puis est passée à 36,22 INR (0,36 EUR) en 2024, ce qui reste environ 30 % moins cher que l'eau douce. En janvier 2024, les trois STT ont généré un chiffre d'affaires total de 4,96 milliards de roupies indiennes (49,5 millions d'euros).

Analyse coûts-avantages

- **Avantages économiques** :
 - Les STT présentent une période moyenne d'amortissement de six ans, les revenus générés couvrant les coûts d'E&M tout en permettant de futures extensions.
 - Les utilisateurs industriels bénéficient de coûts d'eau réduits et d'un approvisionnement fiable, ce qui favorise une croissance économique durable à long terme.
- **Avantages environnementaux** : La réduction de la pression sur les sources d'eau douce et les nappes phréatiques permet de préserver l'intégrité écologique et d'assurer la durabilité environnementale à long terme.

- **Avantages sociaux et opérationnels** : Un approvisionnement en eau fiable et de haute qualité pour les industries améliore la résilience face aux perturbations liées à la sécheresse.

Engagement des parties prenantes et inclusion sociale

Partenariat avec le secteur industriel : La SMC a développé le projet de réutilisation des eaux usées en étroite coordination avec les industries locales, en sécurisant des accords de réutilisation à long terme pour des volumes importants. En offrant une source d'eau fiable, abordable et de haute qualité pour un usage industriel, ce partenariat a assuré la stabilité financière du projet et favorisé l'adhésion du secteur privé à une utilisation durable de l'eau.

Capacité institutionnelle et supervision professionnelle : un consultant spécialisé en gestion de projet a été nommé pour superviser la préparation, la conception et la mise en œuvre du projet. Cela a permis de professionnaliser la réalisation du projet tout en renforçant les capacités internes grâce à une collaboration structurée avec le personnel municipal.

Échange de connaissances et reconnaissance : le modèle de réutilisation de l'eau de Surat a servi de référence aux niveaux national et international. Il a motivé des visites de diverses parties prenantes, notamment d'un comité consultatif parlementaire, et a été présenté lors de forums sur les villes intelligentes et de la Semaine mondiale de l'eau à Stockholm (2021). Ces plateformes ont permis de partager les enseignements tirés du projet et de renforcer la confiance du public dans son caractère innovant et sûr.

Sensibilisation et communication avec la communauté : grâce aux efforts d'information, d'éducation et de communication de la SMC, tels que des visites dans les écoles, des ateliers et des séminaires publics, les citoyens ont été sensibilisés à la conservation et à la réutilisation de l'eau. Ces efforts contribuent à une plus large acceptation sociale de l'utilisation d'eaux usées recyclées de haute qualité pour l'industrie.

Facteurs de réussite



Valeurs : Le projet a mis l'accent sur la gestion circulaire et durable de l'eau comme élément clé de la croissance économique à long terme et de la résilience des ressources. Cela reflète un engagement à trouver un équilibre entre le développement industriel et la protection de l'environnement grâce à des pratiques de réutilisation innovantes.



Connexions:

1. Connexions physiques : des canalisations de réutilisation dédiées reliant les STT aux utilisateurs industriels créent un réseau d'approvisionnement en eau efficace et fiable.
2. Connexions sociales : une collaboration étroite entre les autorités municipales, régionales et nationales, ainsi qu'entre les industries, les consultants et les plateformes de partage des connaissances, a favorisé la confiance, le partage des connaissances et la confiance du public.



Investissements : Le système circulaire de réutilisation des eaux usées génère des revenus réguliers grâce à des accords de réutilisation en vrac avec les utilisateurs industriels, formant ainsi un modèle économique financièrement durable et reproductible. Les investissements dans la gestion professionnelle des projets et le renforcement des capacités garantissent la qualité et réduisent les risques.

Répliquabilité

Depuis son lancement, l'Initiative d'approvisionnement en eau industrielle de Surat est devenue une référence en matière de gestion circulaire et résiliente de l'eau en milieu urbain. En fournissant environ 115 MLJ d'eaux usées traitées à des fins industrielles, Surat réduit sa dépendance aux sources d'eau douce et atténue la pollution environnementale. Son succès repose sur des technologies de traitement avancées, des réseaux de réutilisation dédiés et non potables, un modèle PPP bien structuré, une gouvernance solide et une viabilité financière grâce aux redevances des utilisateurs. Le modèle PPP génère d'importants revenus pour la municipalité tout en maintenant les prix de l'eau recyclée nettement inférieurs à ceux de l'eau douce, ce qui le rend à la fois rentable et attractif pour l'industrie. Ensemble, ces éléments font de Surat un modèle pour les villes cherchant à concilier croissance économique, durabilité écologique et résilience climatique.

Au Maroc, les villes qui abritent de grandes industries textiles et chimiques fortement consommatrices d'eau, telles que Casablanca et ses voisines Mohammedia et Settat, sont confrontées à un stress hydrique croissant et à une pollution causée par les effluents industriels. L'approche de Surat offre un modèle éprouvé pour transformer les eaux usées traitées en une ressource fiable et économiquement viable pour l'industrie. Des éléments clés tels que les STT, les réseaux de distribution d'eau non potable, les cadres de gouvernance intégrés et le modèle de tarification par l'utilisateur peuvent être adaptés au contexte marocain. En outre, l'accent mis par Surat sur le renforcement des capacités, le recouvrement des coûts et la collaboration intersectorielle offre également des enseignements précieux pour favoriser l'expertise locale et renforcer l'acceptation sociale. L'adoption d'une telle approche pourrait accélérer la transition du Maroc vers un système d'approvisionnement en eau circulaire et résilient au changement climatique dans ses pôles industriels.



Modèle de réutilisation des eaux usées de Surat.
Source : Surat Municipal Corporation (2024).

Bibliographie

1. **Central Pollution Control Board. (2017).** *Success Story: Treated sewage from Surat STP-reuse in Pandesara Industrial Estate, Surat* [Réussite : eaux usées traitées provenant de la station d'épuration de Surat - réutilisation dans la zone industrielle de Pandesara, Surat]. <https://cpcb.nic.in/success-stories/upload/1502104691.pdf>
2. **Enviro Control Private Limited. (n.d.).** *Wastewater reuse & tertiary treatment* [Réutilisation des eaux usées et traitement tertiaire]. *Envirowater*. <https://envirowater.in/wastewater-reuse-tertiary-treatment/>
3. **Hespress. (2 août 2022).** *Catastrophe environnementale à Mohammedia : l'oued N'fifikh se meurt*. <https://fr.hespress.com/274756-catastrophe-environnementale-a-mohammedia-loued-nfifikh-se-meurt.html>
4. **Mehta, Y. B. (27 août 2021).** *Surat sewage reuse model goes global. The Times of India* [Le modèle de réutilisation des eaux usées de Surat s'internationalise. The Times of India]. <https://timesofindia.indiatimes.com/city/surat/surat-water-reuse-model-goes-global/articleshow/85668103.cms>
5. **Shroff, S., Caleb, P., Kolsepatil, N., Mishra, P., & Subramaniyam, A. (2022).** *Opportunities for reduction of GHG emissions from domestic wastewater treatment in urban areas: A brief orientation for decision-makers* [Opportunités de réduction des émissions de GES issues du traitement des eaux usées domestiques dans les zones urbaines : brève présentation à l'intention des décideurs] (document d'information GHGPI Phase IV). GHG Platform India. <https://www.ghgplatform-india.org/wp-content/uploads/2022/09/GHGPI-PhaseIV-Briefing-Paper-on-Wastewater-Treatment-and-Mitigation-Potential-ICLEI-SA-Sep22.pdf>
6. **Smart Cities and Academia towards Action and Research (SAAR). (2023).** *Case Studies of Innovative Projects of Smart Cities Mission* [Plus de 75 études de cas de projets innovants de la Smart Cities Mission]. <https://niua.in/intranet/sites/default/files/2779.pdf>
7. **Surat Municipal Corporation. (2017).** *Surat City Resilience Strategy* [Stratégie de résilience de la ville de Surat] [PDF]. Réseau des villes résilientes. https://resilientcitiesnetwork.org/downloadable_resources/Network/Surat-Resilience-Strategy-English.pdf
8. **Surat Municipal Corporation. (2018).** *Performance Evaluation Report for 40 MLD Capacity Tertiary Treatment Plant at Bamroli for Surat Municipal Corporation* [Rapport d'évaluation des performances de la station d'épuration tertiaire d'une capacité de 40 MLJ à Bamroli pour la Surat Municipal Corporation]. Prix des Nations Unies pour la fonction publique. https://publicadministration.un.org/unpsa/Portals/0/UNPSA_Submitted_Docs/2019/19B7BB60-B0D5-49AC-A24C-7FF2A977A005/evaluation%20report%20Bamroli%20TTP.pdf
9. **Surat Municipal Corporation. (2019).** *Reuse and recharge treated wastewater action plan* [Plan d'action pour la réutilisation et la recharge des eaux usées traitées]. https://www.suratmunicipal.gov.in/Content/Documents/Departments/DRAINAGE/RR_TWW_ActionPlan_2019.pdf
10. **Surat Municipal Corporation. (2023).** *Reuse of treated used water: A successful model* [Réutilisation des eaux usées traitées : un modèle réussi] Surat Municipal Corporation. CSE. https://cdn.cseindia.org/attachments/0.84371800_1709877539_surat-municipal-corporation.pdf
11. **Surat Municipal Corporation. (10 janvier 2024).** *Industrial units outside Surat to get treated wastewater* [Les unités industrielles situées en dehors de Surat vont bénéficier d'eaux usées traitées]. The Times of India. <https://timesofindia.indiatimes.com/city/surat/supply-of-treated-wastewater-to-industrial-units-outside-surat/articleshow/106682273.cms>

12. **Surat Municipal Corporation. (s.d.).** *Hydraulic water conservation practices [Pratiques de conservation hydraulique de l'eau]*. Surat Municipal Corporation.
<https://www.suratmunicipal.gov.in/Departments/HydraulicWaterConservationPractices>
13. **Surat Municipal Corporation. (n.d.).** *Mid-Year Population Estimates [Estimations démographiques semestrielles]*. <https://www.suratmunicipal.gov.in/TheCity/City/Stml13>
14. **Banque mondiale (2019).** Industrial Water Supply: Surat Municipal Corporation, India [Approvisionnement en eau industrielle : Surat Municipal Corporation, Inde]. Dans Banque mondiale, *Cadre de partenariat public-privé municipal : résumés de projets, partie 1*. Washington DC : Groupe de la Banque mondiale. 38-39. https://ppp.worldbank.org/sites/default/files/2020-02/World%20Bank_Municipal%20PPP_Project%20Summaries%20Part%201%285Sept%29_Content.pdf
15. **Vashi, N. V., Shah, N. C., & Desai, K. R. (2019).** Recent technologies adopted for upgradation of existing sewage treatment plants and for sewage reuse and recycle in Surat, India [Technologies récentes adoptées pour la modernisation des stations d'épuration existantes et pour la réutilisation et le recyclage des eaux usées à Surat, en Inde]. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 6(11), 204–211. https://ijiset.com/vol6/v6s11/IJISSET_V6_I11_21.pdf
16. **Banque mondiale. (s.d.).** *Industrial water supply: Surat Municipal Corporation, India [Approvisionnement en eau industrielle : Surat Municipal Corporation, Inde]*. Centre de ressources sur les partenariats public-privé. <https://ppp.worldbank.org/public-private-partnership/water-and-sanitation/industrial-water-supply-surat-municipal-corporation-india>



Chapitre 3 : Systèmes d'eau circulaires centralisés et valorisation des ressources

SAFI, MAROC



Recyclage et réutilisation centralisés de l'eau



Dessalement et approvisionnement non conventionnel



Aperçu de la ville

Population : 346 100 habitants (2025)

Climat : Climat semi-aride chaud (Köppen BSh)

Précipitations : 325,12 mm/an (faibles)

Risques liés à l'eau :

- **Stress hydrique :** Le Maroc est confronté à un stress hydrique sévère. La région de Safi est située dans l'un des bassins versants les plus touchés, où la demande en eau dépasse 80 % des ressources en eau douce disponibles.
- **Contamination de l'eau :** La baie de Safi est de plus en plus exposée à la pollution en raison de l'expansion des activités industrielles le long de la zone côtière.
- **Sécheresse :** Le changement climatique a intensifié la fréquence et la gravité des sécheresses dans la région, exerçant une pression supplémentaire sur les ressources en eau et menaçant la productivité agricole.



Présentation

Nom du projet : Modèle d'économie circulaire de l'eau à Safi

Lieu : Safi, Maroc

Période : 2022-aujourd'hui

Type d'initiative : Dessalement d'eau de mer et réutilisation des eaux usées à des fins industrielles

Échelle du projet : A l'échelle de la ville

Principal responsable du projet : OCP Green Water (filiale de l'Office Chérifien des Phosphates ; OCP)

Objectif du projet : Répondre à la demande croissante en eau non potable, à usage industriel et en eau potable pour les besoins de la ville de Safi, et ainsi remédier aux pénuries d'eau persistantes exacerbées par les sécheresses prolongées dans le bassin de l'Oum Er Rbia.

Principales interventions

- **Traitement des eaux usées urbaines :** le traitement avancé des eaux usées comprend le criblage, les processus biologiques et tertiaires et la digestion des boues à des fins industrielles.
- **Système de cogénération :** l'énergie thermique générée par la production d'acide sulfurique lors du traitement des eaux usées est récupérée et convertie en électricité grâce à des technologies de cogénération, ce qui améliore l'efficacité énergétique de la station d'épuration.

- **Usine de dessalement** : Un processus en plusieurs étapes, comprenant un prétraitement, une filtration et l'osmose inverse, est utilisé pour produire de l'eau douce de haute qualité à partir de l'eau de mer.
- **Gestion des effluents liquides** : La saumure et les effluents de nettoyage sont dilués avec de l'eau de mer de refroidissement avant d'être rejetés en toute sécurité dans la mer.
- **Utilisation de ressources en eau non conventionnelles** : Conformément à sa stratégie de neutralité en eau, OCP Green Water s'engage à n'utiliser que des sources d'eau non conventionnelles pour ses activités industrielles.

Principaux résultats

- **Augmentation de l'approvisionnement en eau** : A pleine capacité, la première usine de dessalement fournira 23 millions de m³/an aux activités industrielles d'OCP, tandis que la seconde fournira 20 millions de m³/an d'eau potable aux habitants de la région de Safi.
- **Conservation de l'eau douce** : L'utilisation de l'eau de mer pour le dessalement réduit l'usage de l'eau douce souterraine ou de surface.
- **Efficacité énergétique** : Un système de cogénération fournit 40 % de l'électricité nécessaire au fonctionnement de l'usine de dessalement, ce qui améliore l'efficacité énergétique.
- **Impact minimal sur le milieu marin** : L'usine de dessalement génère 3 600 m³/h de déchets liquides, qui sont traités et dilués à seulement 2 % du volume total rejeté. Ce processus de traitement des déchets garantit un impact minimal sur le milieu marin.
- **Gestion des eaux usées urbaines** : La STEP Safi a une capacité de traitement de 11,7 Mm³/an.
- **Normes de qualité élevées pour les effluents** : Conformité aux normes de qualité des effluents à BOD5 ≤ 10 mg/l, COD ≤ 50 mg/l, TSS ≤ 10 mg/l.
- **Création d'emplois** : Le projet génère 250 emplois directs et 500 emplois indirects pendant la construction, et 50 emplois directs et 200 emplois indirects pendant l'exploitation.

Coût total

600 millions de dirhams (environ 60 millions d'euros)

Projet

Contexte

Le Maroc souffre d'un stress hydrique grave et croissant, avec une disponibilité annuelle en eau d'environ 600 m³ par habitant. La ville de Safi (figure 1), plaque tournante majeure pour la pêche à la sardine et les exportations de phosphate, se trouve dans un bassin versant particulièrement touché par le stress hydrique le long de la côte atlantique, où la demande dépasse 80 % de l'approvisionnement en eau douce disponible.

En tant qu'acteur économique régional clé, OCP Green Water (une filiale de l'Office Chérifien des Phosphates ; OCP) s'est engagé à fournir des ressources en eau non conventionnelles pour soutenir à la fois ses activités industrielles et les communautés voisines grâce au modèle d'économie circulaire de l'eau de Safi. Au-delà de l'approvisionnement industriel et municipal, le projet vise également à contribuer à atténuer les effets plus larges de la pénurie d'eau, qui

menace la santé publique, la sécurité alimentaire et l'essor économique, et peut contribuer à des tensions sociales et à des migrations internes.



Figure 1. Carte de Safi.
Source : www.safi-ville.com

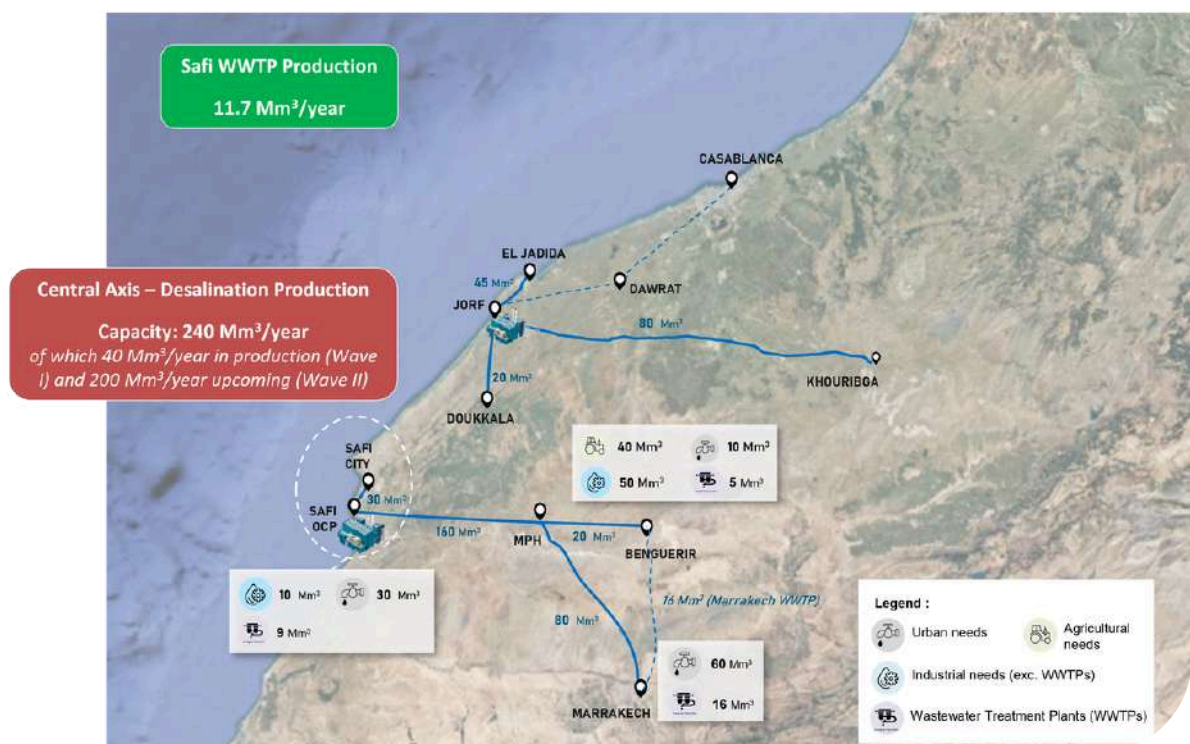


Figure 2. Infrastructures de dessalement et de traitement des eaux usées à Safi (axe central OCP)
Source: OCP Green Water (août 2025) Modèle de Circularité d'Eau: Semaine Mondiale de l'Eau

Description du projet

Le modèle d'économie circulaire de l'eau de Safi prévoit la construction de deux usines de dessalement d'eau de mer, ainsi que des infrastructures associées telles qu'une station de prétraitement, des réservoirs et des canalisations, afin d'approvisionner la ville de Safi en eau à usage industriel et en eau potable (figure 3). Cette approche réduit considérablement la dépendance d'OCP à l'égard de l'eau douce pour ses processus industriels à forte consommation d'eau. Compte tenu de la vulnérabilité croissante de la région à la sécheresse, cette transition favorise une gestion plus durable de l'eau et une plus grande sécurité hydrique pour les habitants de la ville.

La première usine de dessalement, située sur un site de 2 hectares, est conçue pour fournir de l'eau aux activités industrielles d'OCP, notamment à la production d'acide phosphorique utilisé dans la fabrication d'engrais. Elle comprend 14 modules d'osmose inverse d'une capacité de production annuelle de 22 millions de m³. La deuxième usine, située sur un site de 2,5 hectares, est dédiée à l'approvisionnement en eau potable de la ville de Safi. Afin de faciliter l'acheminement de l'eau, un réseau de distribution souterrain de canalisations transportera l'eau potable depuis les installations de dessalement jusqu'aux réservoirs de stockage. Cela comprend une canalisation de 92 km qui relie l'usine de dessalement de la ville au réservoir d'Azib Draï pour une distribution efficace de l'eau. Les eaux usées produites pendant le fonctionnement sont traitées et réutilisées à des fins industrielles.

En outre, les eaux usées provenant du réseau d'égouts municipal de la ville de Safi sont collectées puis acheminées vers une station de prétraitement et une infrastructure de pompage gérées par la Régie autonome intercommunale de distribution d'eau et d'électricité de Safi (RADEES), avant d'être transférées vers la station d'épuration STEP pour un usage industriel.

Solutions de circularité et de résilience

- **Traitement des eaux usées urbaines** : Les processus avancés comprennent le criblage, le traitement primaire, les boues activées (biologiques), le traitement tertiaire (filtration sur sable et chloration) et la valorisation des boues (digestion anaérobie, hydrolyse thermique et cogénération).
- **Usines de dessalement** : Les deux usines utilisent une technologie avancée, principalement l'osmose inverse, pour transformer l'eau de mer en eau potable sûre. Ce processus comprend plusieurs étapes de filtration, qui se terminent par des membranes spécialisées qui éliminent efficacement les sels et les minéraux. Dans la deuxième usine, l'eau purifiée est ensuite reminéralisée afin de répondre aux normes internationales en matière d'eau potable avant d'être fournie aux communautés locales.
- **Système de cogénération** : la vapeur générée par les unités d'acide sulfurique dans le cadre d'un processus industriel exothermique est utilisée pour produire de l'électricité.
- **Gestion des effluents liquides** : pendant son fonctionnement, le processus de dessalement produit des eaux usées, principalement de la saumure, qui sont ensuite diluées en les mélangeant à l'eau de mer utilisée pour refroidir diverses unités du complexe industriel de Safi. En conséquence, seuls 2 % du volume total des eaux usées sont rejetés dans la mer par les canalisations d'évacuation existantes. De plus, les effluents industriels provenant du nettoyage des filtres et des membranes d'osmose inverse sont neutralisés avant d'être mélangés à l'eau de mer de refroidissement.

Calendrier de planification et de mise en œuvre des politiques

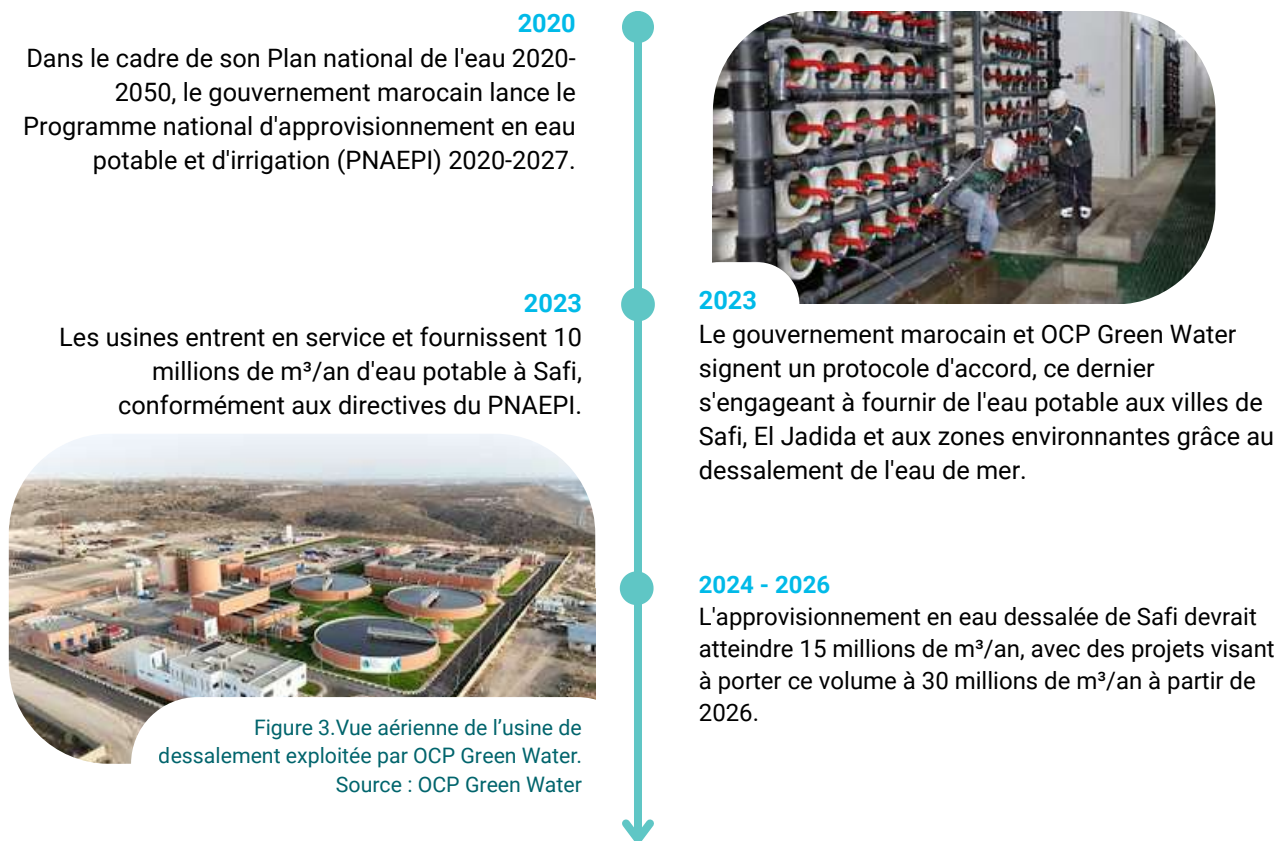
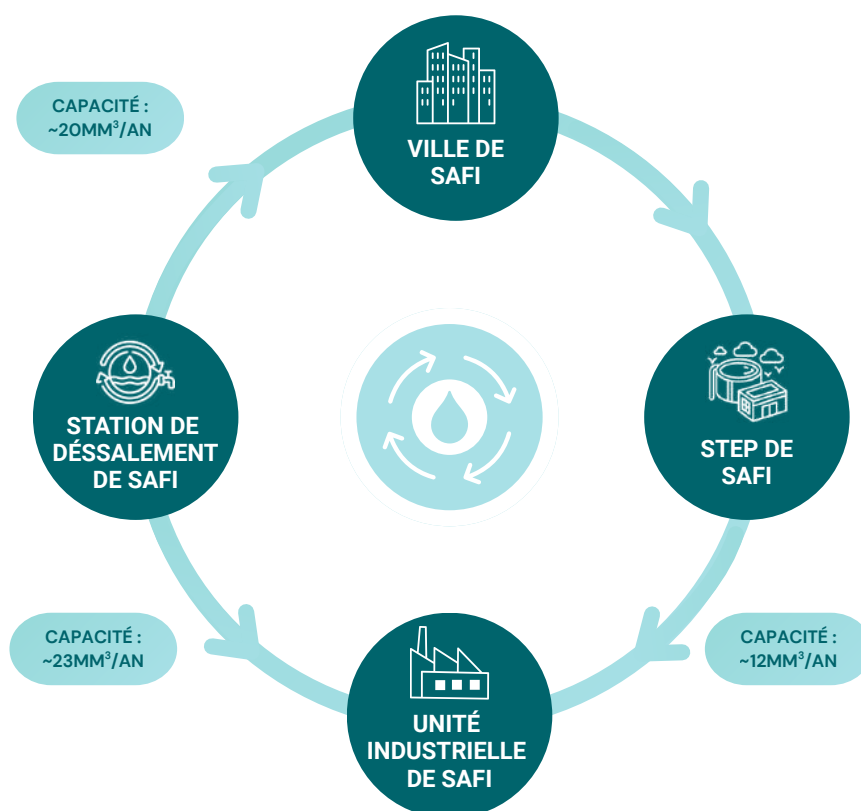


Figure 4 : Modèle de circularité de l'eau dans la ville de Safi

Source: OCP Green Water



Impacts climatiques et environnementaux

Atténuation : Environ 40 % des besoins en électricité de l'usine de dessalement sont couverts par un système de cogénération, ce qui contribue à réduire l'empreinte carbone et les émissions de gaz à effet de serre du projet.

Résilience : En utilisant des sources d'eau non conventionnelles grâce au dessalement pour alimenter les activités industrielles et fournir de l'eau potable, le projet contribue à préserver les ressources en eau douce de Safi et à améliorer sa résilience face aux scénarios futurs de changement climatique et de sécheresse.

Financement et fonds

Structure des coûts :

- **CAPEX** : > 40 milliards de MAD (environ 3 791 184 000 EUR) pour quatre usines. Si l'on ne considère que Safi, cela représente environ 1 milliard de MAD (947 796 000 EUR).

Sources et instruments de financement : La Banque européenne pour la reconstruction et le développement (BERD) a accordé au gouvernement marocain un prêt de 200 millions d'euros pour quatre usines, dont deux à Safi.

Analyse coûts-avantages : Le projet a eu un impact socio-économique positif en stimulant les services d'ingénierie, le commerce et l'industrie dans la région. Il soutient les entreprises locales et crée de nouveaux emplois, avec 250 emplois directs et 500 emplois indirects pendant la construction, et 50 emplois directs et 200 emplois indirects pendant l'exploitation. En outre, il réduit les coûts liés à l'achat et au traitement de l'eau douce, créant ainsi de la valeur grâce à l'économie circulaire.

Engagement des parties prenantes et inclusion sociale

Engagement des parties prenantes : Le projet a créé un réseau d'acteurs nationaux et locaux et de parties prenantes externes impliqués dans le développement et la mise en œuvre du projet, dans lequel OCP GreenWater gère les installations d'approvisionnement en eau en amont de la Société régionale multiservices Marrakech-Safi (SRM-MS). La SRM-MS supervise quant à elle les installations en aval, notamment la distribution d'eau et les relations avec la clientèle. OCP a également conclu un contrat avec JESA, une coentreprise entre Woley Parsons et OCP, en tant que contractant chargé de l'ingénierie, de l'approvisionnement, de la construction et de la maintenance du projet de dessalement de l'eau de mer.

Inclusion sociale : OCP Green Water a organisé des réunions d'information publiques, des ateliers, des groupes de discussion, des visites à domicile, fourni du matériel et mis en place des programmes éducatifs pour les groupes vulnérables de la région, notamment les femmes, les personnes âgées, les enfants, les personnes handicapées et les communautés ethniques. Cela a permis de garantir leur participation aux processus de consultation, de veiller à ce que leurs préoccupations soient prises en compte dans la planification et la mise en œuvre du projet, et de leur fournir une assistance lorsque cela était nécessaire.

Facteurs de réussite



Valeurs:

Le projet reconnaît la valeur des ressources en eau douce de Safi dans un contexte de changement climatique et s'engage à utiliser des sources d'eau non conventionnelles, à savoir l'eau de mer dessalée, comme alternative viable pour réduire la demande sur cette précieuse ressource. Ce faisant, le projet répond à 100 % à la demande en eau industrielle d'OCP, tout en fournissant de l'eau potable et de l'eau d'irrigation à environ 1,5 million de personnes dans la région, contribuant ainsi à prévenir les problèmes de santé liés à la consommation d'eau insalubre.



Connexions:

1. Connexions physiques :

- Le projet comprend deux usines produisant 50 millions de m³ d'eau douce par an. Cette eau est transportée via des canalisations, des stations de pompage et des réservoirs de stockage vers des zones industrielles et des villes telles que Marrakech, améliorant ainsi la disponibilité de l'eau dans les régions arides.
- En réduisant au minimum la dépendance à l'égard des ressources en eau douce fortement sollicitées, le projet contribue à maintenir l'intégrité des systèmes hydrologiques interconnectés de la région.
- Le projet suit régulièrement les tendances démographiques et la santé de la flore et de la faune marines, afin de s'assurer que ses activités ne nuisent pas à la résilience écologique.

2. Liens sociaux :

- **Réseaux de parties prenantes** : Grâce à des liens solides avec les autorités locales, le gouvernement national et divers groupes de la société civile pendant la phase de planification et de mise en œuvre, le projet a pu répondre aux besoins de la communauté et s'adapter aux objectifs nationaux et aux exigences politiques.
- **Intégrité environnementale** : En appliquant diverses méthodes telles que l'évaluation de la biodiversité, la mise en œuvre d'un programme de surveillance de l'écologie marine, la surveillance bimestrielle de la qualité de l'eau de mer et un mécanisme de plainte, le projet a permis d'éviter les impacts néfastes de la construction et de l'exploitation de la centrale sur l'environnement, la biodiversité, les ressources en eau et les habitants.
- **Emploi et opportunités commerciales** : La construction et l'exploitation du projet ont généré des opportunités d'emploi dans les services d'ingénierie et les laboratoires spécialisés, stimulant le commerce local, l'industrie et les petites entreprises.



Investissements : Les investissements substantiels dans le projet, financés par OCP Green Water et soutenus par des partenaires nationaux et multilatéraux, ont été essentiels à sa réussite. Au niveau national, le Maroc s'est engagé à investir 383 milliards de dirhams (37,6 milliards d'euros) sur 30 ans pour moderniser ses infrastructures hydrauliques à des fins domestiques et agricoles, dans le cadre d'un plan global couvrant la période 2020-2050, afin d'assurer le fonctionnement et l'entretien continu de l'usine.

Répliquabilité

Les usines de dessalement de Safi représentent une avancée importante dans la lutte contre la pénurie d'eau au Maroc. Grâce à une technologie de pointe et à des méthodes durables, le projet répond non seulement aux besoins actuels en eau, mais jette également les bases d'un avenir plus sûr en matière d'approvisionnement en eau. Alors que le changement climatique menace de plus en plus les sources d'eau conventionnelles, des initiatives comme celle-ci joueront un rôle clé dans le soutien à la résilience et à la durabilité à long terme des régions confrontées à des défis environnementaux similaires.

Le projet de dessalement est un élément clé du PNAEPI 2020-2027 du Maroc, un effort stratégique visant à garantir la sécurité hydrique à l'échelle nationale. Entre 2020 et 2027, le programme investira 115 milliards de dirhams (environ 11 milliards d'euros) pour construire neuf nouvelles usines de dessalement, d'une capacité annuelle combinée de 202 millions de m³ d'eau pour les villes du sud telles qu'Agadir, Safi et Laâyoune. Au-delà de ces projets, le Maroc prévoit de développer huit autres usines de dessalement d'une capacité totale supérieure à 1,1 milliard de m³ par an. Le projet de Safi peut servir d'exemple pour d'autres projets futurs présentant des conditions initiales similaires.

Bibliographie

1. **Banque africaine de développement. (2024).** *Maroc – Projet de digitalisation, de renforcement de la production et d'amélioration de la performance de l'eau potable (PDRAP) – Rapport d'évaluation du projet.* https://www.afdb.org/sites/default/files/documents/projects-and-operations/morocco_-_drinking_water_digitisation_pdrap_par_final_-_eng1.pdf
2. **Akhannouch, A. (2023).** *Le chef du gouvernement préside la cérémonie de signature d'un protocole d'accord et d'un contrat de concession entre le gouvernement et OCP sur la production d'eau potable par dessalement de l'eau de mer à Safi et El Jadida.* Chef du gouvernement - Royaume du Maroc. <https://www.cg.gov.ma/en/node/11313>
3. **Atalayar. (28 août 2023).** *La station de dessalement de Safi entre en service.* <https://www.atalayar.com/en/articulo/society/the-safi-desalination-plant-comes-into-operation/20230828132658190036.html>
4. **Climates to Travel. (s.d.).** *Safi, Morocco climate.* Climates to Travel. <https://www.climatestotravel.com/climate/morocco/safi>
5. **Elair, C., Chaham, K. R., & Hadri, A. (2023).** *Évaluation de la variabilité de la sécheresse dans la région de Marrakech-Safi (Maroc) à différentes échelles de temps à l'aide de SIG et de la télédétection.* Science et technologie de l'eau : approvisionnement en eau. IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/ws.2023.283>
6. **Banque européenne pour la reconstruction et le développement (BERD) (mai 2024).** *Plan d'engagement des parties prenantes. Projet de la station modulaire de dessalement des eaux de mer à Safi par l'Office Chérifien des Phosphates.* <https://www.ebrd.com/home/work-with-us/projects/psd/54662.html#customtab-36e33dcedc-item-8fc3cc699f-tab>
7. **GMT MAROC. (21 décembre 2023).** *The start of production for the desalination plant in the city of Safi [Début de la production de l'usine de dessalement de la ville de Safi].* <https://gmtmaroc.com/en/the-start-of-production-for-the-desalination-plant-in-the-city-of-safi/>
8. **Minoubi, A., Mejjad, N., El Khalidi, K., Bouchkara, M., Fadili, A., Chaibi, M., & Zourarah, B. (2023).** *Répartition spatiale et évaluation du niveau de contamination des sédiments marins de la baie de Safi (côte atlantique marocaine).* Oceans, 4(4), 347–361. <https://www.mdpi.com/2673-1924/4/4/23>
9. **Novo, C. (26 mars 2024).** *Le dessalement au Maroc : répondre aux besoins en eau dans une région où l'eau est rare.* Smart Water Magazine. <https://smartwatermagazine.com/news/smart-water-magazine/desalination-morocco-meeting-water-demands-a-water-scarce-region>
10. **Pumps Africa. (17 décembre 2021).** *Début de la construction de la station d'épuration des eaux usées de Safi au Maroc.* <https://pumps-africa.com/construction-of-safi-wastewater-treatment-in-morocco-begins/>
11. **Rahhou, J. (26 août 2024).** *Safi, au Maroc, tire 100 % de son eau potable d'une usine de dessalement.* Barlamant Today. <https://barlamantoday.com/2024/08/26/safi-in-morocco-sources-100-of-drinking-water-from-desalination-plant/>
12. **Société d'Aménagement de Zenata (2014).** *Étude d'impact sur l'environnement naturel, humain et socio-économique. Projet d'aménagement de la ville nouvelle de ZENATA. Résumé non technique.* <https://www.ebrd.com/home/work-with-us/projects/psd/54662.html#customtab-36e33dcedc-item-8fc3cc699f-tab>

13. Walaw. (27 août 2024). La solution de Safi pour l'eau de mer : une usine de dessalement innovante pour lutter contre la pénurie d'eau. 13. GMT MAROC. (2023, December 21). **The start of production for the desalination plant in the city of Safi.** <https://gmtmaroc.com/en/the-start-of-production-for-the-desalination-plant-in-the-city-of-safi/>
14. **Contributeurs Wikipédia. (s.d.).** Safi, Maroc. Dans Wikipédia, l'encyclopédie libre. https://en.wikipedia.org/wiki/Safi,_Morocco
15. **World Population Review. (s.d.).** Population de Safi, Maroc. World Population Review. <https://worldpopulationreview.com/cities/morocco/safi>
16. **Zgheib, N. (18 novembre 2024).** La BERD stimule le dessalement de l'eau à des fins industrielles au Maroc. Banque européenne pour la reconstruction et le développement. <https://www.ebrd.com/home/news-and-events/news/2024/ebd-boosts-water-desalination-for-industrial-use-in-morocco.html>

