

Comment Singapour et Windhoek adaptent les cycles urbains de l'eau pour surmonter leur dépendance hydrique

■ M. LAFFORGUE¹, V. LENOUEV²

Mots-clés : eau potable, empreinte énergétique, réutilisation des eaux usées, Singapour, stress hydrique, Windhoek

Keywords: potable water, Singapore, wastewater reuse, water stress, Windhoek, energy footprint

Introduction

Les enjeux environnementaux (dont la rareté croissante des ressources), la hausse de la démographie et l'urbanisation sont autant de phénomènes démontrant la nécessité de penser la ville autrement : recherche de sobriété, autonomie à différentes échelles urbaines et évolution de l'organisation des services urbains.

La question est d'autant plus cruciale dans des contextes de stress hydrique qui émergent et cette problématique est vouée à devenir centrale dans les décennies à venir avec les effets du réchauffement climatique. Ainsi, une partie importante de l'Inde, de la Chine, du Moyen-Orient, du pourtour méditerranéen, de l'Afrique, du Sud-Est américain ou de l'ouest de la cordillère des Andes est entre autres concernée par cette problématique [2030 WATER RESOURCES GROUP, 2009].

L'une des façons de réduire la dépendance envers les ressources en eau est l'utilisation de boucles courtes [RYGAARD *et al.*, 2011]. Mais la viabilité de ces cycles courts n'est pas garantie et dépend du contexte dans lequel ils sont mis en œuvre [LAFFORGUE *et al.*, 2014].

Deux des exemples les plus connus de gestion intégrée du cycle urbain de l'eau sont ceux de Windhoek et de Singapour. L'intérêt d'étudier Windhoek et

Singapour est que, dans des contextes différents, ces deux villes ont développé des moyens propres pour régler leur dépendance en eau. Les contraintes auxquelles elles ont affaire et les solutions apportées sont très instructives, car elles permettent d'entrevoir des pistes d'actions à déployer dans d'autres contextes et les limitations associées, et cette expérience sera particulièrement utile pour gérer l'alimentation en eau potable d'autres villes confrontées à la rareté de la ressource.

Le présent article fait donc un focus sur la gestion de l'eau par Singapour et par Windhoek et illustre quels en sont les effets induits sur la consommation d'énergie pour la production d'eau. Les deux villes sont tour à tour présentées dans leurs contextes spécifiques, et sont ensuite comparées afin d'en tirer des enseignements.

1. Singapour

Singapour est une cité État de 716 km² localisée sur une île du détroit de Malacca entre la Malaisie et Sumatra en Indonésie. Cette ville État est densément peuplée avec 5,4 millions d'habitants en 2013 [SINGSTAT, 2014]. La petite taille de Singapour et sa densité de population la mettent naturellement dans un contexte de stress hydrique. La ville est alimentée de longue date en eau potable depuis l'État de Johor qui appartient à la Malaisie voisine (située à 1 km de distance). À son indépendance en 1965, la ville disposait d'un accord politique garantissant un approvisionnement à hauteur de 141 Mm³/an (jusqu'en 2011) auquel a succédé un second accord à hauteur de 415 Mm³/an

¹ Safège – Le Bruyère 2000 – Bâtiment 1 – Zone du Millénaire – 650, rue Henri-Becquerel – CS79542 – 34961 Montpellier cedex.
Courriel : michel.lafforgue@safège.fr

² Safège – Parc de l'Île – 15-27, rue du Port – 92022 Nanterre cedex.

(jusqu'en 2061). Par ailleurs, la ville est en plein développement économique depuis son indépendance, en misant notamment sur ses infrastructures portuaires. Celles-ci servent de pivot à son approvisionnement en énergie (essentiellement sous forme de gaz naturel), puisque la majorité de l'énergie consommée par la ville est importée. De fait, Singapour subit une double dépendance vis-à-vis de l'eau et de l'énergie, et cette dépendance est un enjeu critique pour les autorités politiques de la ville [LAFFORGUE *et al.* ; 2013, LENOUVEL *et al.*, 2014]. L'approvisionnement en eau est apparu dès l'indépendance comme l'un des principaux enjeux nationaux, car cette dépendance était exclusive envers la Malaisie, alors que l'approvisionnement en énergie est sécurisé par la présence d'une industrie pétrolière adossée au second port de commerce du monde. Dès lors, Singapour s'est employée à développer ses propres ressources en eau, et cette politique a été portée au cours des 50 dernières années tant par l'État que par le Public Utilities Board (PUB) [SEGAL, 2004 ; LEE, 2005 ; TORTAJADA, 2006 ; TORTAJADA *et al.*, 2013]. Cette politique s'est heurtée à des contraintes fortes. La croissance démographique continue depuis l'indépendance (figure 1), la hausse progressive du niveau de vie (qui a eu pour effet d'induire une hausse concomitante de la demande en eau par habitant) et le développement industriel de la ville ont eu de façon notable un impact sur les besoins en eau. La demande en eau s'est accrue à un rythme important, passant de 100 Mm³ en 1962 à 455 Mm³ en 2000 et presque 600 Mm³ en 2010 (figure 1).

Afin d'accroître la proportion de ressources locales en eau, malgré cette hausse importante des besoins, la ville et l'État se sont employés à rechercher des

ressources complémentaires, tout en optimisant et en minimisant les besoins. Nous voyons ici poindre deux axes majeurs de la politique de l'eau de Singapour.

Côté optimisation de la demande en eau, les principaux axes de gestion ont été :

- de limiter le gaspillage, notamment *via* des campagnes d'information des usagers, une politique tarifaire comportant des hausses adaptées, et l'implantation d'équipements domestiques moins consommateurs d'eau [TORTAJADA *et al.*, 2013]. Ces mesures ont permis de contrebalancer la hausse des consommations unitaires, qui est passée par un maximum en 1994 avec 175 litres/jour/hab. pour redescendre progressivement jusqu'à 152 litres/jour/hab. en 2012 (figure 2). L'objectif actuel est de poursuivre cette tendance pour atteindre 140 litres/jour/hab. en 2030 [PUAH, 2011 ; TORTAJADA *et al.*, 2013] ;
- de réduire autant que possible les pertes. Le rendement technique du réseau de distribution est ainsi de l'ordre de 95 %, ce qui est excellent comparativement à d'autres grandes villes du monde.

Côté ressources en eau, la ville s'est appuyée sur ce qu'elle appelle la « 4-tap policy » et qui consiste en quatre piliers complémentaires pour l'alimentation en eau de la ville. Ces quatre ressources sont les suivantes :

- la première est la ressource historique, qui est une alimentation en eau de rivière traitée, provenant de Johor en Malaisie. Cette ressource approvisionne environ 40 % des besoins de Singapour, soit environ 250 Mm³/an. L'objectif de Singapour est à terme de réduire au maximum cet approvisionnement à horizon 2061 ;

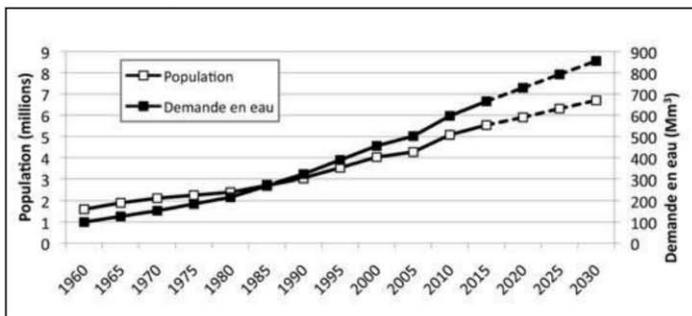


Figure 1. Évolution de la population et de la demande en eau à Singapour

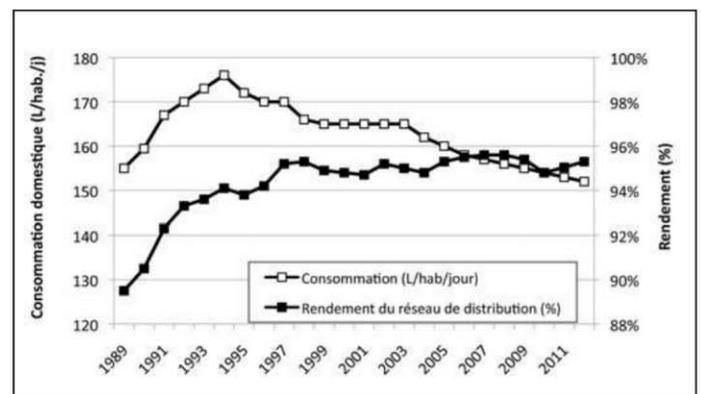


Figure 2. Évolution de la consommation domestique par habitant et du rendement du réseau de distribution de Singapour

– la seconde ressource est la réutilisation des 2 400 mm d’eaux de pluie tombant en moyenne annuellement sur le pays. Il s’est posé d’entrée un problème de salubrité, car les eaux des petits cours d’eau traversant la ville étaient polluées. Par ailleurs, se posait également un problème de stockage, car les temps de transit dans les cours d’eau étaient très courts du fait de la proximité avec la mer. Ainsi, mettre en place une telle ressource à l’échelle d’une ville constituait un effort considérable. Il a fallu que la ville de Singapour refonde des quartiers entiers de la ville (notamment d’habitats bas standing) déplace et concentre les activités économiques (élevages, industries...), de sorte à protéger les cours d’eau qui traversent la ville, qu’elle adopte et mette en œuvre une législation très restrictive sur l’assainissement et les eaux pluviales (avec les moyens de contrôle appropriés), qu’elle construise les infrastructures de collecte, de transport et de traitement des effluents et des eaux de pluie, et qu’elle construise des réservoirs de stockage (il y en a 17 aujourd’hui pour une capacité totale excédant 150 Mm³) [CHIA *et al.*, 1988 ; LEE, 2005 ; HARLEY, 2012 ; TORTAJADA *et al.*, 2013]. Avec la construction récente du Marina barrage, de Punggol et de Serangoon, les aires drainées couvrent désormais environ les deux tiers du territoire national. Cette proportion va continuer à s’accroître, avec en ligne de mire d’approcher 90 % de la surface de la ville comme zone de collecte ;

– la troisième ressource est la réutilisation des eaux usées épurées. Cette ressource est appelée NEWater. C’est ici que concentrer spatialement les activités industrielles prend tout son sens, ce qui permet de réutiliser majoritairement les eaux usées épurées

pour répondre à la demande industrielle. Depuis 2003, le traitement des effluents se fait par combinaison de microfiltration, d’osmose inverse, d’un traitement UV. Cette eau répond à des normes strictes [MONG-HOO et SEAH, 2013]. La production a atteint les 110 Mm³/an en 2012, et correspond à environ 18 % de la demande globale en eau, et 32 % de la demande industrielle et commerciale [SINGSAT, 2014]. Environ 2 % de cette eau épurée est renvoyée dans les stockages d’eau pluviale où elle participe indirectement à l’alimentation en eau potable des consommateurs domestiques, une fois cette eau traitée. Il existe également une ressource utilisée à hauteur de 25 Mm³/an pour alimenter les industries pétrochimiques de Jurong Island, qui consiste en une boucle de réutilisation d’effluents urbains épurés ;

– la quatrième ressource est le dessalement d’eau de mer. Deux stations de traitement ont été construites (2005 et 2013) sur la base de process incluant microfiltration et osmose inverse, avec une capacité de production respective de 50 Mm³/an et 115 Mm³/an.

La répartition de l’approvisionnement en eau de la ville de Singapour a été calculée pour 2012 comme suit : 40 % à partir de la Malaisie, 30 % à partir d’eau de pluie, 22 % à partir de réutilisation d’eau usée épurée, et 8 % à partir d’eau de mer dessalée.

La logique de production croissante d’eau à partir des ressources locales aura pour effet d’accroître la consommation d’énergie de traitement par mètre cube produit. Entre 2012 et 2030, le besoin en énergie requise pour produire 1 m³ d’eau traitée pourrait doubler, passant de 0,66 à 1,31 kWh/m³. Cette forte hausse résulterait de l’accroissement de la proportion

Ressource	Capacité (Mm ³)	Production (Mm ³)	Proportion de la ressource dans le bilan global	Énergie consommée pour la production (kWh/m ³)	Tendance
Malaisie	415	250	40 %	0,25	Décroissance
Eaux de pluie	Non analysée	200	30 %	0,25	–
Eau de mer	165	50	8 %	4,1	Croissance
NEWater	195	110	18 %	0,95	Croissance
Eaux industrielles	45	25	4 %	Non quantifiée	Non quantifiée

Tableau I. Répartition pour 2013 des différentes ressources en eau dans le bilan de la production d’eau à Singapour (d’après [LENOUVEL *et al.*, 2014])



Mettre **l'innovation** au service de **l'environnement**

Optimiser le tri d'aujourd'hui . Inventer le tri de demain

 **DRIMM**
Séché global solutions
3525, route de Lavilledieu
82700 MONTECH
www.groupe-seche.com



MAC, le service d'Eau de Paris spécialisé dans le diagnostic des conduits enterrés, visitables ou non.



Le service Mécanique d'Auscultation des Conduits (MAC) réalise :

- des inspections, des diagnostics, des expertises,
- des contrôles qualité des travaux de réhabilitation,
- des notes de calcul,
- des missions de maîtrise d'œuvre,
- des missions d'assistance à maîtrise d'ouvrage.



Service Mac
9-11, rue Berthollet
91100 CORBEIL-ESSONNES - France
Tél : + 33(0)1 69 22 19 19
Fax : + 33(0)1 64 96 99 99
E-mail : mac@eaudeparis.fr
www.eaudeparis.fr

L'ingénierie environnementale depuis 1953

Acteur majeur dans les domaines
de l'eau, l'air, les déchets et l'énergie,
IRH Ingénieur Conseil vous accompagne
dans vos projets d'aménagement
dans un souci de préservation de
l'environnement et de la qualité de vie
et d'optimisation des coûts.



Tél. +33 (0)1 46 88 99 00 - www.groupeirhenvironnement.com

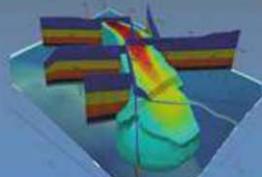
Groupe IRH Environnement

Sols - Sédiments - Déchets - Eaux souterraines & superficielles - Air

La fiabilité de vos diagnostics environnementaux dépend de vos outils !



Enregistreurs Diver



Visual Modflow Flex
Modélisation eaux souterraines



Appareils et Stations
Multiparamètres



Stations météo GPRS



Capteurs Humidité
sols & matériaux



Tarières
& Carottiers



Solutions technologiques pour l'environnement

SDEC France - ZI. de la Gare - BP 27 Tauxigny - 37310 Reignac sur Indre - France
Tél: 02 47 94 10 00 - Fax: 02 47 94 17 13 - e-mail: info@sdec-france.com

Découvrez nos équipements sur:
www.sdec-france.com

d'eau produite par dessalement et par la NEWater [LENOUVEL *et al.*, 2014].

Afin de contrer partiellement cette dérive, Singapour s'est attachée à rechercher des moyens visant à limiter la consommation d'énergie (en engageant d'ambitieux projets de recherche), et à l'optimisation énergétique des installations (coproduction d'eau et d'énergie, récupération d'énergie sur les filières d'épuration...) afin d'atteindre une consommation d'énergie par m³ produit de 0,9 kWh/m³ [LENOUVEL *et al.*, 2014].

2. Windhoek

Windhoek est la capitale de la Namibie, pays de 825 000 km² localisé au nord-ouest de l'Afrique du Sud. Cette ville est implantée sur un plateau semi-désertique à plus de 1 500 m d'altitude. Elle a une population en forte croissance, qui est passée d'environ 100 000 habitants au début des années 1980 à environ 300 000 habitants en 2012. Avec une surface presque aussi grande que celle de Singapour, cette ville a donc une faible densité d'habitats. En outre, la structuration de la ville a été très influencée par l'apartheid, avec des quartiers présentant des standings d'habitat extrêmement différenciés. Les quartiers nord et ouest sont pauvres et concentrent l'habitat informel où viennent s'installer les populations poussées en ville par l'exode rural. *A contrario*, les quartiers sud et est sont occupés par de l'habitat haut et moyen standing. Néanmoins, l'ensemble de ces quartiers présente comme point commun un modèle urbain à faible densité reposant sur l'habitat individuel.

Du fait de la hausse rapide de la population, la demande en eau s'est accrue de façon significative,

passant de 6 Mm³ par an en 1968 à environ 27 Mm³ par an en 2012. Dans un tel contexte, l'axe central de la politique de la ville est de subvenir aux besoins en eau de sa population dans un environnement hydrique hostile. En effet, la pluviométrie moyenne n'est à Windhoek que de 360 mm/an. Par ailleurs, il n'y a pas de rivières pérennes à proximité de la ville, et même si elle peut s'appuyer sur la présence locale d'aquifères, ceux-ci ont une faible recharge, évaluée à 1,7 Mm³ par an. De fait, le risque de pénurie d'eau s'est fait sentir très tôt, et a poussé depuis la fin des années 1960 la ville de Windhoek à rechercher des ressources complémentaires.

Aujourd'hui, la ville est approvisionnée comme suit :

- la principale ressource est constituée d'un ensemble de trois barrages (Omatako, Swakoppoort dam, et Von Bach) pour un total de 155 Mm³ [VAN DER MERWE, 2009]. Ils sont tous les trois situés au nord de la ville (entre 60 km pour Von Bach et 200 km pour Omatako). L'eau de ces trois barrages est regroupée sur le site de Von Bach où elle est traitée et refoulée vers la ville. La capacité de ces ressources est de l'ordre de 20 Mm³/an (dont 17 Mm³/an disponibles pour Windhoek), mais elle est éminemment variable du fait de sa dépendance envers les conditions météorologiques. La gestion conjointe des trois barrages permet de limiter l'évaporation qui représente malgré tout une part importante des apports [VAN DER MERWE, 1999] ;

- les nappes souterraines situées sous la ville de Windhoek sont exploitées de façon très variable entre 0 et 5 Mm³/an (figure 4). Elles bénéficient depuis peu d'une recharge artificielle par des puits de réinfiltration, qui complètent les apports naturels. La nappe est exploitée sur la partie sud de la ville, l'écoulement

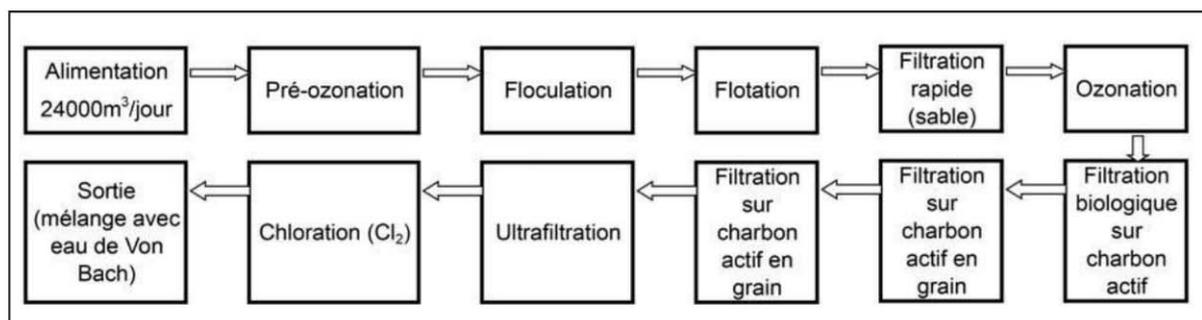


Figure 3. Schéma filaire de la station de traitement de New Goreangab (d'après [VAN DER MERVE, 2009])

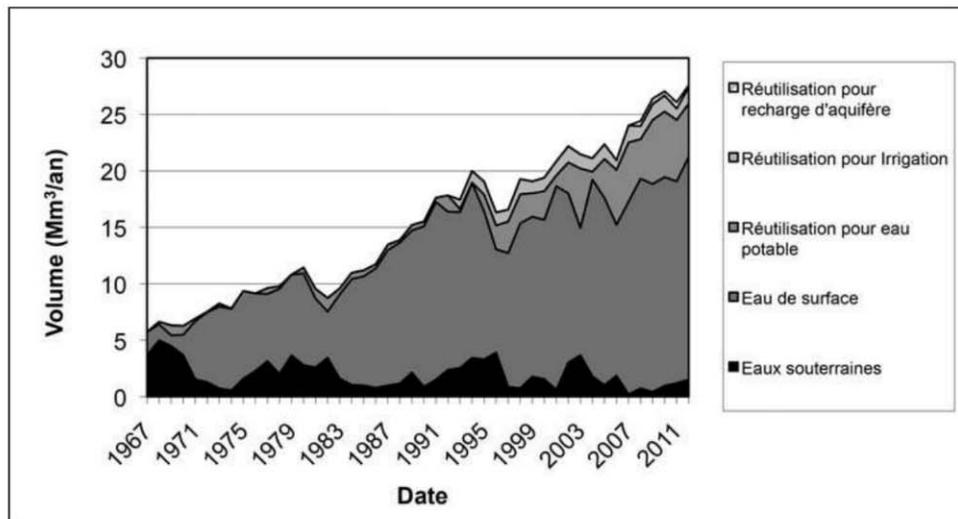


Figure 4. Historique de la production d'eau de Windhoek par ressource/usage

naturel se faisant du sud vers le nord. C'est ce qui explique que la ville contrôle de façon stricte les activités humaines potentiellement polluantes sur cette zone géographique afin de limiter les risques de contamination ;

– la réutilisation des eaux usées épurées. Les effluents domestiques de la ville sont traités dans des filières à boues activées et lits bactériens, avant de parvenir à deux stations de traitement, Old Goreangab (old GWRP) et New Goreangab (NWGRP). La première construite en 1968 (d'une capacité initiale de 3 300 m³/jour étendue à 7 500 m³/jour en 1997) produit une eau initialement utilisée pour alimenter la population, mais désormais dédiée à l'irrigation et à l'arrosage des espaces verts (jusqu'à 8 % du bilan total de la desserte en eau de la ville, mais actuellement environ 1,3 Mm³/an [VAN DER MERWE *et al.*, 2013]). La seconde achevée en 2002 a une capacité de production d'eau potable de 21 000 m³/jour [LAHNSTEINER *et al.*, 2013]. Ses eaux sont mélangées aux eaux provenant de la station de traitement de Von Bach avant d'être réinjectées dans le réseau de distribution (voir figure 3 le schéma des process utilisés). La règle de mélange consiste à ne jamais dépasser 35 % d'eau réutilisée dans le mélange avec les eaux de surface et souterraine pour des raisons de qualité [VAN DER MERWE *et al.*, 2006]. À ce jour, la part maximale des eaux réutilisées provenant de NWGRP dans le bilan global de la ville a été de 26 % en 2003 [VAN DER MERWE, 2009] ;

– le surplus de production est réinjecté dans des puits gravitaires situés au sud de la ville, après avoir subi un traitement d'affinage par filtration au moyen de charbon actif en grain (CAG) et une désinfection, visant à éviter le colmatage des puits et la recroissance bactérienne.

La population continuant à croître, la question qui s'est posée à la fin des années 1990 était de savoir comment améliorer la desserte en eau des populations. La ville a étudié les alternatives, qui comportent :

- le pompage des eaux souterraines du Tsumeb jusqu'à Windhoek distante de 490 km ;
- le pompage de l'eau de la rivière Okavongo distante de Windhoek de 750 km ;
- la réinjection dans la/les nappe(s) située(s) au sud de Windhoek de tout le surplus des eaux produites par les trois barrages existants. L'idée est ici de profiter des années pluvieuses pour constituer des stocks souterrains facilement remobilisables pendant les années sèches. L'objectif est de pouvoir réinjecter jusqu'à 11 Mm³/an ;
- la mise en œuvre d'un traitement des eaux usées épurées plus poussé permettant d'augmenter la proportion des eaux réutilisées dans le bilan des ressources alimentant la ville.

Ces quatre solutions potentielles sont comparées dans le tableau II, par leur coût unitaire de production et leur consommation d'énergie par m³ produit. On voit bien que les deux solutions s'appuyant sur des ressources classiques distantes (eau souterraine

Option envisagée	Distance (km)	Consommation d'énergie (kWh/m ³)	Coût de production (euros/m ³)
Actuellement (suivant ressources)	0 à 200	0,8 à 1,5	0,35 à 0,95
Rivière - Okavongo	750	4,94	3,33
Eaux souterraines - Tsumeb	490	Non disponible	2,22
Traitement plus poussé sur réutilisation eau usée	0	1,8	1,26
Recharge de l'aquifère de Windhoek	Quelques km	1,78	1,2
NB : la consommation d'énergie comprend le traitement et le transport jusqu'au réseau de distribution			

Tableau II. Comparaison des options envisagées pour subvenir aux besoins complémentaires futurs de Windhoek (source des données : [VAN DER MERWE *et al.*, 2013 ; LAHNSTEINER *et al.*, 2013])

et eau de surface) sont d'un coût nettement plus élevé que les deux solutions alternatives locales (réinjection dans la nappe et complément de traitement des eaux usées épurées). Ainsi, la solution retenue a été fort logiquement de réinjecter dans la nappe les surplus des années humides.

Cette politique permettra de gagner quelques années, puisque l'on peut potentiellement stocker 33 Mm³, portable à 60 Mm³ avec des injections dans la nappe profonde [VAN DER MERWE *et al.*, 2013 ; MURRAY *et al.*, 2013 ; PETERS, 2013].

Mais pour aller au-delà et accroître la recirculation des eaux, il faudra envisager de compléter les traitements, car certains problèmes de qualité d'eau (salinité, nitrates, carbone organique dissous...) ont déjà été identifiés [VAN DER MERWE *et al.*, 2006 ; VAN DER MERWE, 2009]. Ces compléments pourraient notamment porter sur des ajustements au sein des stations d'épuration (bioréacteurs à membranes...), et des compléments au stade du traitement de potabilisation (NWGRP), à l'instar de ce que fait Singapour dans le cadre de la NEWater. Cela permettra, sans trop augmenter le coût de la production d'eau, de franchir un nouveau palier et desservir une population toujours plus nombreuse.

3. Comparaison de Singapour et Windhoek et enseignements

L'annexe donne les informations de base comparatives des deux villes. Le *tableau III* résume les principaux enseignements que l'on peut tirer.

Windhoek est à la fois similaire et différente de la situation de Singapour. Parmi les points communs, on peut dire que la ville est une capitale, avec une population en forte croissance, et qu'elle fait face à un stress hydrique. Les points communs contextuels s'arrêtent là.

Windhoek est une ville isolée au milieu d'un plateau semi-désertique, alors que Singapour est une plaque tournante commerciale au carrefour d'un axe majeur de communication maritime. Par ailleurs, la ville de Windhoek a presque 20 fois moins d'habitants que Singapour, et la ville est étendue spatialement et avec une faible densité d'habitat, ce qui a son importance quand il s'agit d'amortir les investissements et frais d'exploitation de la gestion du cycle urbain de l'eau.

Autre point de divergence, la ville de Windhoek a certes une grande autonomie de gestion, mais elle doit composer avec un État qui a une logique plus globale dans un pays relativement grand. Singapour bénéficie de l'uniformité d'approche politique puisque la ville et l'État sont liés. Au demeurant, Singapour dispose d'un flux migratoire maîtrisé pour répondre aux besoins de son activité économique, là où Windhoek reçoit un flux continu de populations pauvres venant dans la capitale pour y trouver un travail, ce qui induit un déséquilibre dans la gestion urbaine, car les populations pauvres n'ont pas une capacité forte à payer pour les services urbains (eau, électricité, déchets...).

	Singapour	Windhoek
Quel objectif	Indépendance envers l'étranger	Subvenir aux besoins de la population
Organisation du service de l'eau	Public Utilities Board (PUB) gérant l'ensemble du cycle urbain de l'eau Présence d'un hydro-hub (secteur privé et académique) de haut niveau	CoW gérant le cycle urbain de l'eau (hors ressources éloignées) et forte compétence des équipes techniques
Contraintes économiques	Richesse croissante du pays donc capacité d'investir croissante	Une certaine stabilité des moyens alors que les coûts d'investissement et d'exploitation augmentent
Coût des solutions	Croissante avec le temps, car les nouveaux m ³ produits sont plus coûteux en investissement et en exploitation	Croissante avec le temps, car les nouveaux m ³ produits sont plus coûteux en investissement et en exploitation
Impact sur la consommation d'énergie	Croissant à cause du dessalement et du traitement lié à la réutilisation des eaux usées	Croissant du fait de la nécessité d'aller chercher l'eau plus loin, ou de complexifier son traitement et d'augmenter les hauteurs de refoulements
Solution mise en œuvre pour résoudre le problème	Augmenter l'efficacité énergétique des technologies utilisées	Développer les ressources alternatives locales
Niches d'améliorations	Avoir une meilleure synergie entre les cycles de l'eau et de l'énergie	Réduire les pertes dans les quartiers informels Optimiser la récupération d'énergie sur les stations d'épuration
Limitations	Dépendance énergétique Capacité à faire progresser les technologies en parallèle avec la progression des besoins en eau	Évolution de la qualité de l'eau dans les boucles de réutilisation imposant d'intégrer des filtrations membranaires plus poussées pour accroître les capacités de réutilisation Nécessité à terme de compléter avec des ressources éloignées si la population continue de croître Capacité de financement à long terme du service d'eau par les populations

Tableau III. Synthèse comparative de la gestion du cycle de l'eau à Singapour et Windhoek et perspectives d'évolution

Si Singapour et Windhoek sont toutes deux dans un contexte de rareté des ressources en eau, la situation de Windhoek apparaît plus critique que celle de Singapour, pour les raisons suivantes :

- Windhoek est dans un stress hydrique lié à des contraintes environnementales et elle est éloignée de plusieurs centaines de kilomètres d'une ressource pérenne susceptible de compléter les ressources locales insuffisantes. Singapour dispose de ressources locales du fait de la forte pluviométrie, de la proxi-

mité de la mer, et ses dirigeants savent que l'approvisionnement depuis la Malaisie est une ressource techniquement stable, même si elle crée une dépendance politique posant problème ;

- Singapour est une ville en forte croissance économique et est un pays riche. Elle est au centre d'un axe majeur de communication économique et sa situation stratégique est donc forte. *A contrario*, comme indiqué ci-avant, Windhoek est isolée au centre d'un plateau semi-désertique, et loin des axes principaux



**MY NETWORK
DETECTION SERVICES**
UNE ÉQUIPE DE SPÉCIALISTES
TOUJOURS JOIGNABLES



**UNE OFFRE
COMPLÈTE D'OUTILS
POUR DÉTECTER
TOUS LES RÉSEAUX**



**VENEZ NOUS RETROUVER
EN RÉGION PARISIENNE
DU 2 AU 4 JUIN
STAND C31**



**VENEZ NOUS RETROUVER
À LYON EUREXPO
LE 24 ET 25 JUIN
STAND A1**

QUANTUM



RADAR Tri-Fréquences

Grâce à ses trois fréquences, le RADAR QUANTUM est le seul capable de voir aussi bien les petits réseaux de surface que les réseaux de diamètres importants jusqu'à 8 m de profondeur.



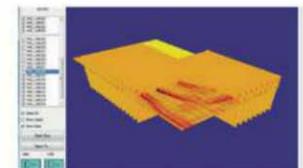
**UN RADAR TAILLÉ
POUR LE TERRAIN
AVEC DES ROUES DE
GRANDS DIAMÈTRES**



**FACILEMENT
TRANSPORTABLE
AVEC SON CHARIOT
ROBUSTE ET PLIABLE**



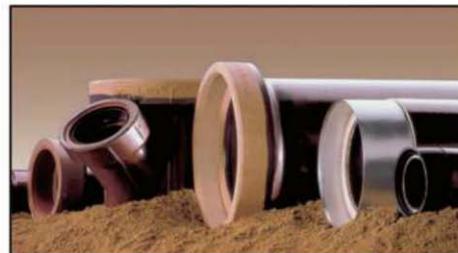
**UNE INTERFACE
CONVIVIALE
CLAIRE ET EN
FRANÇAIS**



**DE NOMBREUSES
FONCTIONS AVANCÉES
POUR DISCERNER AU
MIEUX LES RÉSEAUX**

STEINZEUG KERAMO

SYSTEMES COMPLETS (tuyaux, raccords, accessoires et regards)
DE CANALISATIONS EN GRES VITRIFIE, VERNISSE, POUR
ASSAINISSEMENT GRAVITAIRE COLLECTIF ET INDUSTRIEL,
FONCAGE ET MICROTUNNELIER.



LE GRES : LA SOLUTION ECOLOGIQUE ET ECONOMIQUE ACTUELLE A VOS INTERETS D'AVENIR

'Espace St Christophe' - 3 Avenue des Béguines - BP 98239 - 95801 CERGY ST CHRISTOPHE CEDEX
Tél : 01 34 25 91 68 - Fax : 01 34 25 91 39 - steinzeug.keramo@laposte.net - www.steinzeug-keramo.com

Préleveurs d'échantillons, mesures physico-chimiques, niveaux et débits

Enregistrement local et transfert des données sans fil, en zone sûre ou zone ATEX 1 et 2
Applications pour réseaux d'assainissement, sites industriels, CSDU, nappes phréatiques



28, rue Louison Bobet
35290 Saint-Méen-le-Grand
mobile 06 40 51 82 13
Tél. 02 99 09 41 70 / Fax 09 70 60 47 12
contact@ilservice.fr - www.ilservice.fr

Organisme de
contrôle depuis 2001



Contrôle de compactage
Inspection visuelle et télévisuelle
Contrôle d'étanchéité
Essai à la plaque
Test de fumigation



axis 3d | 360 av. Jean-Baptiste Tron - ZA La Chaffine | 13160 Châteaurenard
Tél. +33 (0)4 90 94 05 14 | Fax +33 (0)4 90 38 03 91 | contact@axis3d.fr



LA SOLUTION À VOS PROBLÈMES DE RÉSEAUX : Les travaux sans tranchée

CANALISATIONS VISITABLES

ÉTANCHEMENT DE REGARD DE VISITE
RENFORCEMENT D'OUVRAGES
PAR PROJECTION DE BÉTON INJECTION
COQUES PRÉFABRIQUÉES

CANALISATIONS NON VISITABLES

INSPECTION PAR CAMÉRA VIDÉO
ROBOT DE FRAISAGE
ROBOT MULTIFONCTION
CHEMISAGE PONCTUEL, CONTINU
ÉCLATEMENT DE CONDUITE, TUBAGE

Z.A. de Marignac • Route de Lavaur • B.P. 18 • 31850 MONTRABÉ
E-mail : contact@dpsm.eu • www.dpsm-rehabilitation.fr

Tél. : 05 61 80 11 87
Fax : 05 61 80 11 31

de transit économique. De fait, son économie se développe moins vite que celle de Singapour. Par ailleurs, Windhoek est la capitale d'un pays relativement grand, et celle-ci draine un flux migratoire de populations pauvres qui s'installent dans les quartiers informels, et la condition de ces populations pauvres est à prendre en compte dans l'équation de l'alimentation en eau de la ville ;

– ces éléments ont des impacts importants sur le champ des possibles. Singapour a la possibilité d'investir dans des infrastructures lourdes nécessaires à l'indépendance de son approvisionnement en eau. Il s'agit, par exemple, des nouveaux systèmes de collecte et de transit des eaux usées et des eaux de pluie, des extensions de stockages (comme la création de barrages sur estuaires), de station de traitement par dessalement ou des usines de la NEWater. Ces investissements sont portables dans une ville dont le niveau de vie augmente.

A contrario, la ville de Windhoek doit régler une équation difficile avec soit la recherche toujours plus éloignée de ressources pérennes, soit le traitement toujours plus poussé des eaux épurées pour augmenter la proportion de la boucle de réutilisation dans le cycle de l'eau. Or ces investissements sont-ils portables par les ménages, sachant que l'on approche du seuil de capacité des ménages pauvres à payer. Pour éviter cet écueil, la ville de Windhoek a recherché les moyens d'optimiser au mieux ce dont elle dispose :

– partant de l'hypothèse que ce sont avant tout les années sèches qui posent problème, et que l'on perd par évaporation environ 50 % des eaux stockées dans les barrages alimentant la ville en eau potable, il apparaît judicieux de stocker les surplus produits les bonnes années dans les aquifères sous la ville, ce qui permettra de déstocker cette eau lors des années sèches. Cette option permet d'optimiser les ressources, de limiter les pertes par évaporation, et ce faisant de repousser de 5 à 10 ans le besoin de rechercher des compléments pour subvenir aux besoins de la ville, et ce avec l'investissement le plus faible possible ;

– le second axe envisagé pour améliorer le bilan « besoin ressource » tient à un accroissement des recherches de fuites et donc à une amélioration du rendement du réseau. Celui-ci est de 89 à 90 % environ, et la ville considère possible de viser le gain de 4 % supplémentaires, sachant qu'une partie notable des

pertes serait localisée dans les quartiers pauvres ;

– le troisième axe de développement est lié à la mise en œuvre de traitements (notamment membranaires) plus poussés, qui permettraient sans doute d'accroître la proportion d'eau réutilisée. Cette étape semble à terme nécessaire, et les services techniques de la ville font à raison référence aux technologies mises en œuvre dans le cadre de la NEWater à Singapour.

Windhoek a néanmoins un avantage sur Singapour. Windhoek a déjà mis en œuvre une réutilisation massive de ses eaux pour l'alimentation en eau potable des populations là où Singapour destine ses eaux usées traitées à l'industrie. Celle-ci fonctionne depuis plusieurs décennies sans opposition de la population, alors que la réutilisation des eaux usées pour l'eau potable achoppe souvent du fait du manque d'acceptabilité des populations [PO *et al.*, 2003]. Singapour entre progressivement dans ce schéma et communique fortement auprès de sa population afin de créer l'adhésion sur sa politique hydrique. Cela donne à Singapour une perspective solide de développement de la NEWater qui confortera sa politique d'autonomie dans le domaine de l'eau. Au total, on voit bien se dessiner des lignes de convergence avec des axes communs entre les deux villes sur plusieurs thématiques importantes présentées ci-après.

• **Une autorité de l'eau en charge de l'eau potable et de l'assainissement** : ce qui facilite les interfaçages et l'intégration de boucles de réutilisation des eaux usées.

• **Le développement de techniques efficaces de réutilisation des eaux usées**. Dans le cas de Singapour, cette réutilisation vise avant tout à fournir de l'eau aux industries (qui représente une moitié environ des besoins). Dans le cas de Windhoek, c'est essentiellement la population qui est desservie, car c'est la consommation domestique qui représente la majeure partie des besoins. Dans les deux villes, on s'oriente vers les techniques membranaires (notamment avec l'utilisation de bioréacteurs à membrane sur les stations d'épuration pour réduire la charge en matière organique, et vers des filtrations membranaires plus poussées en affinage de potabilisation). Dans les deux villes on met en œuvre le concept de systèmes multibarrière pour garantir la qualité potable de l'eau. Ici, la principale crainte est liée aux pathogènes,

notamment aux parasites qui sont réputés résistants à la chloration. Mais on voit poindre d'autres problématiques, comme les toxiques émergents ou la salinisation progressive de l'eau, qui poussent à promouvoir l'usage de techniques membranaires allant jusqu'à la nanofiltration, voire l'osmose inverse. Sur ce sujet, Singapour est en avance sur Windhoek, mais on peut supposer que Windhoek ira également progressivement dans cette direction.

- **La mise en œuvre de doubles réseaux dédiés à des qualités d'eau différentes.** Dans le cas de la ville de Windhoek, il y a depuis 1992 un réseau spécifique d'eau usée épurée desservi par Old Goreangab et servant à l'arrosage des espaces verts de la ville, à l'irrigation, et aux cimenteries. Dans le cas de Singapour il y a un réseau d'eau épurée desservant les industriels depuis la NEWater, et un réseau de recirculation d'eau industriel spécifique à Jurong Island. Ces réseaux ne sont pas aussi étendus que le réseau d'eau potable, pour des raisons d'optimisation économique, et c'est à dessein que Singapour a concentré ses industries dans certains quartiers de la ville, ce qui facilite la collecte, le traitement et la création de boucles de recirculation des eaux usées épurées.

- **La poursuite d'une politique de lutte contre les fuites.** Singapour a déjà atteint le seuil d'équilibre avec environ 95 % de rendement, et il sera difficile de faire mieux sans que les dépenses investies en recherche de fuite ne dépassent les gains escomptés. En revanche, Windhoek dispose d'une marge de progression, d'autant qu'une partie importante des pertes existantes serait obtenue dans les quartiers informels. Cela permettra de concentrer les efforts sur ces quartiers.

- **La poursuite d'une politique visant à limiter les consommations domestiques.** Celle-ci s'appuie tant à Singapour qu'à Windhoek sur plusieurs volets essentiels.

Même si ce n'est pas systématiquement mis en avant, la maîtrise des besoins domestiques passe par une quantification des consommations par logement et la mise en œuvre de compteurs d'eau. Ce point a un impact sur l'efficacité de la politique tarifaire ainsi que sur l'accompagnement des ménages dans la lutte contre les fuites et la réduction de leur consommation d'eau. Le second volet est la mise en place de campagne de sensibilisation de la population. Ces campagnes sont

généralement déclenchées en période de pénurie d'eau, et ont une certaine efficacité. Par contre, il y a un relâchement de la population en dehors de ces périodes, et donc les effets n'en sont pas durables. C'est particulièrement visible lorsque l'on regarde l'historique de l'évolution de la dotation en eau par habitant à Windhoek (*figure 5*). La chute brutale de la dotation en eau du début des années 1980 liée à un épisode de sécheresse et à des mesures restrictives s'est délitée progressivement avec un retour au niveau d'avant la baisse une fois sortie de la période sèche. C'est pour éviter cet effet de relâchement que Singapour s'est engagée dans des campagnes régulières d'information et de sensibilisation, et a été source d'innovation dans ces programmes (allant, par exemple, jusqu'à provoquer en 1995 un exercice de rationnement sur 30 000 logements avec l'interruption de l'alimentation en eau pendant 14 heures [TORTAJADA *et al.*, 2013]).

Le troisième volet de la lutte pour contenir les consommations domestiques tient à la politique tarifaire. C'est un vecteur efficace à Windhoek, mais qui a aussi été porté à Singapour au cours des années 1990. La ville de Windhoek dispose d'une tarification par paliers croissants destinée à inciter les usagers à réduire leur consommation de manière structurelle. Par ailleurs, sur le volet conjoncturel, la ville de Windhoek peut abaisser le seuil de transition de la tranche tarifaire supérieure selon le degré de pénurie d'eau, et pratique une tarification au mois, ce qui lui donne une plasticité tarifaire rapidement ajustable par simple décret.

Dans le cas de Singapour, la politique tarifaire est restée dans un premier temps principalement liée à l'équilibre de l'assiette des dépenses investies dans le cycle de l'eau, même si elle a comporté dès 1973 une tarification progressive. La vraie révolution tarifaire est apparue par paliers successifs entre 1991 et 1997, avec la mise en œuvre de la *water conservation tax* (WCT), puis l'intégration de la notion de coût marginal de l'eau [TORTAJADA *et al.*, 2013]. Le rôle de la tarification dans la diminution de la demande doit cependant être modéré, le prix de l'eau n'ayant pas été modifié depuis 2000, alors même que le niveau de vie moyen a sensiblement augmenté et que les consommations par habitant ont diminué de 0,7 % par an depuis cette période. La ville de

Singapour dispose en conséquence de marge de manœuvre importante en matière de fixation du prix de l'eau, contrairement à Windhoek dont une part importante de la population peine à payer une eau au prix croissant.

Le quatrième volet concerne l'utilisation de normes et réglementations afin de réduire les consommations, afin notamment de modifier les usages et les équipements des usagers. Ainsi, par exemple, la mise en œuvre de chasse d'eau à double compartiment et d'une restriction du volume de chasse d'eau a participé à la baisse des consommations d'eau des ménages à Singapour constatée à partir de 1994 [TORTAJADA *et al.*, 2013]. Singapour a également fortement investi dans l'implantation de réducteurs de débit sur les robinets domestiques et a mis en place en 2009 un système d'information sur l'efficacité hydrique des équipements (robinets, toilettes, douches) à destination des ménages afin d'orienter leurs achats. À Windhoek, la réglementation des usages externes est un facteur important de la diminution des consommations [VAN DER MERWE, 1999] avec notamment des restrictions sur l'arrosage des jardins, de gestion des piscines et le lavage des véhicules.

Au total, il apparaît que c'est l'association de ces mesures (tarifaires, réglementaires et techniques) qui permet de réduire progressivement la dotation en eau par habitant. Celle-ci est aujourd'hui assez proche à Singapour et à Windhoek, une fois gommée la part liée aux autres activités (industries, commerces, administration). La figure 5 inclut la consommation en eau de la ville ramenée par habitant, donc y compris les industriels, commerces et administrations, ce qui augmente artificiellement le chiffre et ne corres-

pond pas à la seule consommation domestique. Celle-ci est actuellement de 152 litres/jour à Singapour et serait de l'ordre de 170 litres/jour à Windhoek.

Un dernier point mérite d'être abordé : la consommation d'énergie par mètre cube d'eau produit. On voit bien, tant à Singapour qu'à Windhoek, que la recherche de ressources complémentaires conduit à accroître la consommation d'énergie. Dans les deux villes, l'un des axes majeurs a été de rechercher un optimum économique. À Singapour, la maîtrise des consommations d'énergie passe par une recherche très active visant à la fois un accroissement des récupérations d'énergie dans le cycle de l'eau (méthanisation sur les stations d'épuration...) et l'amélioration de l'efficacité énergétique des dispositifs techniques (dessalement, traitement des eaux usées, *reuse*). Ainsi l'objectif très ambitieux de Singapour est de baisser progressivement la consommation d'énergie des techniques de dessalement pour les faire passer d'environ 4 kWh/m³ produit à seulement 1,5 kWh/m³ à l'horizon des 20 prochaines années et d'aller bien au-delà à long terme [PUAH, 2011].

Dans le cas de Windhoek, la ville a recherché la solution la moins coûteuse et par conséquent la plus économe en énergie. C'est la raison pour laquelle les options de transfert d'eau à longue distance n'ont pas été retenues. Les consommations d'énergie des solutions mises en œuvre sont voisines de 1,8 kWh/m³ produit. Windhoek pourra sans doute profiter à terme des avancées technologiques sur les procédés membranaires. Singapour est en pointe sur ces sujets, et bénéficie d'un avantage sur Windhoek du fait d'une taille d'installations plus importante ce qui permet un amortissement de certains équipements et ouvrages (notamment de pompage, de transfert et de stockage), d'autant plus que la ville est spatialement peu étendue et plate et les transferts sont donc moins énergivores.

Conclusions

Les deux villes de Singapour et Windhoek sont confrontées depuis presque 50 ans à un problème de rareté de la ressource en eau dans des contextes différents. Dans les deux cas, ces villes sont confrontées à la croissance des besoins en eau, et maintenir une desserte correcte de la population est non seulement un défi, mais aussi une nécessité. Les mesures qu'elles ont prises pour répondre à ce problème sont

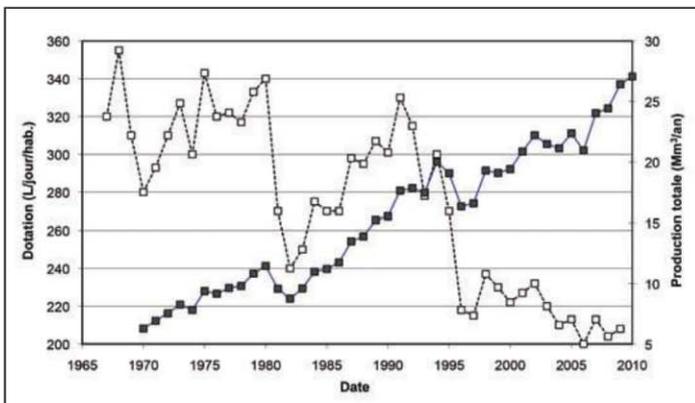


Figure 5. Évolution de la dotation en eau par habitant à Windhoek (carrés blancs) en lien avec l'évolution de la production d'eau (carrés noirs)

d'un grand intérêt, car ces deux villes apparaissent comme des précurseurs dans un monde où la demande en eau croît alors que les ressources baissent sous l'effet du réchauffement climatique et/ou de l'exploitation des nappes souterraines.

Les facteurs de réussite communs consistent en la combinaison des actions sur l'offre et la demande. Il y a plusieurs axes à considérer :

- limiter les besoins (lutte contre les pertes et fuites, lutte contre le gaspillage...);
- inclure des boucles de réutilisation (soit d'eau de pluie, soit d'eau usée traitée). Celles-ci permettent de réduire la pression sur les ressources conventionnelles;
- optimiser l'usage des ressources (conventionnelles ou alternatives), par exemple en stockant les eaux (barrages à Singapour, stockages souterrains à Windhoek) pour répondre aux besoins en période de sécheresse;
- disposer d'une législation appropriée (tarification, ressources alternatives et notamment réutilisation des eaux usées...), ce qui est possible dans ces deux cas par la latitude totale (Singapour) ou relative (Windhoek) dont disposent les autorités locales pour adapter la législation à leurs besoins. De nombreuses villes ne pourraient mettre en place les mêmes approches du fait de contraintes réglementaires (sur la réutilisation d'eau usée traitée pour l'alimentation des populations notamment). Si les autorités locales doivent aujourd'hui penser leur politique hydrique en fonction des leviers à leur disposition, celles-ci doivent également anticiper l'évolution probable des législations nationales ou supranationales;
- disposer d'une organisation optimisée des services de l'eau (permettant des gestions combinées entre l'eau potable et l'assainissement).

Bibliographie

2030 WATER RESOURCES GROUP (2009) : *Charting our water future. Economic frameworks to inform decision-making*. 198 pages.

CHIA L.S, HABIBULLAH K., CHOU L.M. (1988) : *The coastal environment profile of Singapore*. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Technical Report 21, 92 pages.

HARLEY B. (2012) : « Singapore's marina barrage and reservoir – changing mindsets in urban solutions ». In :

Bien que présentant des similitudes, Singapour et Windhoek tracent deux voies distinctes pour garantir une desserte en eau de qualité tout en assurant la pérennité de leurs ressources.

Le cas de Windhoek illustre le fait que même dans un contexte hydrique et financier restreint, des solutions existent afin de fournir un service d'eau de qualité au plus grand nombre. L'accent est mis sur le pragmatisme, l'adaptabilité et la flexibilité des approches adoptées, permettant de modifier par touches successives le secteur de l'eau au gré des opportunités et des capacités de financement.

À Singapour, l'effort est concentré sur la recherche et l'innovation associées aux dispositifs techniques (dessalement, réutilisation, captage d'eau de pluie, détection des fuites), sur une planification urbaine et hydrique forte et dirigée et sur un investissement massif dans de grandes infrastructures afin de transformer radicalement le paysage hydrique local.

L'étude de ces deux cas d'école souligne le besoin d'adaptation des solutions prises aux contraintes hydriques, techniques, sociopolitiques et financières locales.

Remerciements

Nous tenons plus particulièrement à remercier les responsables du PUB à Singapour, de City of Windhoek et de Namwater pour leur aide lors d'échanges fructueux. Nous remercions aussi l'ensemble des partenaires du projet Syracuse (LATTIS, Sciences Po, Cirsee, Explicit, EPA Plaine de France et Safege) et plus particulièrement Morgan Mouton pour ses apports sur Windhoek, ainsi que le comité d'organisation de l'Astee qui nous a donné l'opportunité de présenter les résultats obtenus.

Howe C., Mitchell C., eds. *Cities of the future - Water Sensitive Cities*. IWA publishing, ch. 11 : 147-154.

LAFFORGUE M., LENOUEVEL V., CHEVAUCHE C., RETHORE P. (2013) : « Towards water energy symbiosis in urban networks: the case of Singapore ». *Proceedings of the 7th IWA international conference on Efficient Use and Management of Water*, Paris, 22 october 2013, 11 pages.

LAFFORGUE M., LENOUEVEL V., CHEVAUCHE C. (2014) : « Les systèmes décentralisés et la durabilité des cycles de l'eau en ville ». *TSM* ; 11 : 73-82.



Nutriox
Service complet pour le contrôle des odeurs

Un procédé biologique contrôlé pour traiter l'H₂S



Vous êtes :

- une collectivité,
- un exploitant d'ouvrages d'assainissement,
- un industriel

Vous rencontrez une problématique d'odeurs et d'H₂S

La solution Nutriox®

Pour protéger votre réseau d'assainissement, sécuriser les réseaux pour vos agents, réduire les effets de la corrosion, éviter les désagréments pour les riverains...

Découvrez une solution facile à mettre en œuvre en nous contactant.

Yara France

Tél. 01 55 69 96 00

www.yara.fr | industrie@yara.com



Rejoignez le premier portail sur le savoir-faire Eau made in France



Un outil collectif pour :

- Accroître la visibilité de l'offre française à l'international
- Proposer des solutions innovantes à vos partenaires étrangers
- Promouvoir le savoir-faire et les innovations françaises de l'ensemble de la filière eau

Pour plus d'information et inscription : www.water-expertise-france.fr

94^{ème} congrès de l'ASTEE

2 au 5 juin 2015 - MONTAUBAN

DES VILLES ET DES TERRITOIRES SOBRES ET SÛRS

Les services publics locaux de l'eau
et de l'environnement
relèvent le défi



www.astee.org

- LAHNSTEINER J., DU PISANI P., MENGE J., ESTERHUIZEN J. (2013) : « More than 40 years of direct potable reuse experience in Windhoek ». In : Lazarova V., Asano T., Bahri A., Anderson J., eds. *Milestones in water reuse, the best success stories*. IWA publishing, ch. 29 : 351-364.
- LEE P.O. (2005) : « Water Management Issues in Singapore ». *Proc. of the conf. Water in Mainland Southeast Asia*, 29 November - 2 December 2005, Siem Reap, Cambodia.
- LENOUVEL V., LAFFORGUE M., CHEVAUCHÉ C., RHÉTORÉ P., (2014) : « The energy cost of water independence: the case of Singapore ». *Water Science and Technology*; 70, n° 5 : 787-794.
- MONG-HOO L., SEAH H. (2013) : « NEWater: A key element of Singapore's water sustainability ». In : Lazarova V., Asano T., Bahri A., Anderson J., eds. *Milestones in water reuse, the best success stories*. IWA publishing, ch. 3 : 53-62.
- MURRAY R., VAN DER MERWE B., LOUW D., MENGE J. (2013) : « The Windhoek Managed Aquifer Recharge Scheme: Conception, implementation, operation and expansion ». *9th IWA water reuse conference Windhoek*, 27-31 october 2013.
- PETERS I. (2013) : « Windhoek managed aquifer recharge ». *9th IWA water reuse conference Windhoek*, 27-31 october 2013.
- PO M., Kaercher J.D., Nancarrow B.E. (2003). Literature review of factors influencing public perceptions of water reuse, *CSIRO Land and Water Technical Report 54*.
- PUAH A.K. (2011) : « Smart water – Singapore case study, smart water cluster workshop ». *IWA-ASPIRE conference*, Tokyo, 2 October 2011.
- RYGAARD M., BINNING P.J., ALBRECHTSEN H.J. (2011) : « Increasing urban water self-sufficiency: New era, new challenges ». *Journal of Environmental Management* ; 92 : 185-194.
- SEGAL D. (2004) : *Singapore's Water Trade with Malaysia and Alternatives*. Masters Thesis submitted to John F. Kennedy, School of Government, Harvard University Press.
- SINGSTAT (2014) : *Key Indicators*. Consultable sur : <http://www.singstat.gov.sg> (dernier accès avril 2015)
- TORTAJADA C. (2006) : *Singapore: an Exemplary Case For Urban Water Management*, Case Study for the 2006 HDR.
- TORTAJADA C., JOSHI Y., BISWAS A.K. (2013). *The Singapore water story. Sustainable development in an urban city state*. Routledge, Taylor and Francis group, 286 pages.
- VAN DER MERWE B., (1999) : « Implementation of integrated water resource management in Windhoek, Namibia ». *Proceedings of the 4th Conference of the IAHR*, Namibia, 9 pages.
- VAN DER MERWE B., HAARHOFF J., MENGE J. (2006) : « Wastewater treatment and reuse: a potential source for potable water supply augmentation ». *Proceedings of the National Water Forum/Conference on Water Resources Management*, Gaborone, Botswana, 24 -25 July 2006, 17 pages.
- VAN DER MERWE B. (2009) : « Closing the urban water cycle integrated approach towards water reuse in Windhoek, Namibia ». In : Blanca Jimenez, Joan Rose, eds. *Urban Water security: managing risks*, Urban water series. UNESCO-IHP, Taylor and Francis, pp. 221-236.
- VAN DER MERWE B., DREWS H., PETERS I., (2013) : « Securing water supply to Windhoek through unconventional resources ». *9th IWA water reuse conference Windhoek*, 27-31 october 2013.

Résumé

M. LAFFORGUE, V. LENOUVEL

Comment Singapour et Windhoek adaptent les cycles urbains de l'eau pour surmonter leur dépendance hydrique

Les villes de Singapour et de Windhoek sont emblématiques d'une recherche d'efficacité dans la gestion de l'alimentation en eau, car elles sont toutes deux confrontées à une insuffisance de leurs ressources hydriques propres. Ces deux villes subissent des contraintes environnementales, politiques, sociales et économiques différentes, et leur politique hydrique

est aujourd'hui citée en exemple par de nombreux observateurs. On peut dès lors engager un parallèle entre ces deux approches à la fois similaires et différentes, analyser l'impact des actions mises en œuvre pour résoudre la dépendance hydrique et identifier certains des effets directs et indirects sur la durabilité du service d'eau.

Abstract

M. LAFFORGUE, V. LENOUVEL

How Singapore and Windhoek adapt the urban water cycles to manage their water dependency

Singapore and Windhoek cities are symbolic of water supply efficiency, because they have both to deal with insufficient local water sources. These two cities are confronted with various environmental, political, social and economical constraints and their water policies are often viewed as an

example. Indeed their ability to supply their growing populations is very interesting. This paper compares the two cases that have similarities and differences, and identifies some of the direct and indirect effects associated with their respective policy.

Annexe

Données comparatives des villes de Singapour et Windhoek

	Singapour	Windhoek
Population	5 400 000 habitants	300 000 habitants
Habitat	Forte densité Forte proportion d'habitat collectif	Faible densité Forte proportion d'habitat individuel Forte disparité des standings selon les quartiers
Besoins en eau/habitant hors industries et commerces (2012)	152 litres/jour/habitant	165 litres/jour/habitant
Niveau de vie	Élevé et croissant	Hétérogène, plutôt en moyenne à la baisse du fait de l'arrivée de populations défavorisées
Activités économiques	Fort impact de l'industrie (industries, commerces et services représentent environ 55 % des besoins en eau)	Quelques gros industriels, mais industries limitées par l'isolement géographique (industries et commerces représentent environ 20 % des besoins en eau)
Quel objectif	Indépendance envers l'étranger	Subvenir aux besoins de la population
Ressources locales existantes	Pluie forte (2 400 mm/an), mais petits bassins versants, donc faible rémanence dans les cours d'eau	Pluie faible (360 mm/an) et hétérogène. Rivières locales présentant des assecs. Rivière pérenne à 750 km. Forte évaporation
	Peu de nappes souterraines	Nappe souterraine sous la ville mais faible recharge
	Pas de lacs naturels	Pas de lacs naturels
	Mer à proximité	Mer éloignée à 300 km et 1 500 m de dénivelé
Cadre paysager	Espaces verts important en espaces publics, très en lien avec les ressources en eau (réservoirs, cours d'eau aménagés...) Participe à l'attractivité sociale et économique du pays	Espaces verts importants en espaces publics et privés dans les quartiers riches, dans un environnement semi-désertique. Tendance au choix d'espèces moins gourmandes en eau
Contraintes socioculturelles et lien avec les décisions engagées	Confinement des activités industrielles dans différents clusters, notamment à l'ouest de la ville	Confinement partiel des activités industrielles dans un cluster au nord de la ville
	La ville et l'État ne font qu'un, ce qui renforce la politique publique. Les décisions prises sont peu contestées	La ville est autonome dans sa gestion, qu'elle conduit plutôt de manière concertée et souple. Mais il y a quelques contraintes, notamment de par la nécessité d'acheter les eaux superficielles traitées à une autre entité (Namwater)
	La desserte en eau potable est pensée et gérée de façon homogène et centrique sans gradation forte de la desserte par quartier	La desserte en eau potable est adaptée à la typologie des habitats et à la capacité de paiement des ménages, avec des niveaux de service différenciés selon les quartiers
	Protection centrée sur les bassins versants des réservoirs et cours d'eau les alimentant avec 2 niveaux de protection différenciés	Protection centrée sur la moitié sud de la ville qui est la zone de recharge des captages souterrains

Trouver de nouvelles ressources	Eau souterraine : non, faible capacité	Eau souterraine : pas extensible, mais on peut améliorer l'utilisation des aquifères existants
	Rivières et lacs : oui, mais nécessite de maîtriser complètement le cycle hydrologique urbain de sorte à maîtriser la qualité et à stocker les flux dans de nouveaux réservoirs artificiels	Rivières et lacs : non, car cela nécessiterait d'aller chercher l'eau nettement plus loin. Actuellement trois barrages alimentent une station de traitement (Von Bach) située à 60 km de Windhoek. Presque la moitié de l'eau est perdue par évaporation et les coûts de transport augmentent avec la distance
	Mer : oui, mise en place de station de dessalement	Mer : non
	Réutilisation des eaux usées traitées : oui, avec une bonne maîtrise du traitement, et en adaptant les usages de cette eau et son traitement	Réutilisation des eaux usées traitées : oui, c'est apparu très tôt comme une nécessité. Windhoek est la première capitale au monde à avoir réutilisé de l'eau usée traitée pour faire de la réinjection directe dans son réseau d'alimentation en eau potable
Bilan actuel	Malaisie : 40 %	Nappe souterraine : 5 %
	Eau de pluie : 30 %	Eaux de surface : 72 %
	Eau de mer : 8 %	Eau de mer : 0 %
	NEWater (réutilisation eau usée traitée) : 18 %	Réutilisation eau usée traitée : 18 %
	Autre boucle de réutilisation d'eau usée traitée pour usage industriel : 4 %	Réutilisation eau usée traitée pour irrigation : 5 %
Réduction des besoins en eau	Rendement d'environ 95 %	Rendement d'environ 89-90 %
	Campagne de sensibilisation et promotion d'équipements économes	Campagne de sensibilisation et promotion d'équipements économes Réglementation de l'usage de l'eau pour les jardins en période de sécheresse
	Tarification par paliers croissants	Tarification par paliers croissants Mise en place d'une tarification de crise
Gestion différenciée des usages	Low grade reuse : alimentation du cluster industriel de Jurong avec de l'eau usée traitée (<i>industrial water</i>)	Low grade reuse : irrigation des espaces verts en partie avec eau usée traitée (Old Goreangab)
	High grade reuse : eau usée traitée (NEWater) utilisée par industriels	High grade reuse : eau usée traitée (New Goreangab) réinjectée dans le réseau d'eau potable après un mélange avec l'eau traitée de Von Bach (proportion maximale 1/3 d'eau réutilisée)
	High grade reuse : 2,5 % de l'eau épurée par la NEWater repart dans les réservoirs stockant les eaux de pluie qui servent de réservoirs d'eau brute à potabiliser	High grade reuse : réinfiltration vers la nappe des eaux potables non utilisées pour constituer une réserve pour passer les années sèches (objectif de monter jusqu'à 11 Mm ³ /an réinjectés)