

Ecole Normale Supérieure de Paris
45 Rue d'Ulm
75005 PARIS

Le Problème de l'Eau à Singapour

Clara DUVERGER
Océane RICHEL
Aurore TUAL

Année de Master 1

Rapport dans le cadre du CERES
Eau : Qualité VS Quantité

28 Janvier 2013

Encadrants :

Marie-Dominique LOYE
Claude KERGOMARD
Rémi BEAU

Sommaire

| | |
|---|----|
| Table des illustrations..... | 3 |
| Introduction | 4 |
| I. Etat des lieux autour de Singapour | 5 |
| 1. Des ressources actuelles en eau insuffisantes..... | 5 |
| a. Des contraintes importantes à l'origine du manque d'eau | 5 |
| b. Une demande en eau en forte croissance | 6 |
| 2. Historique de l'approvisionnement en eau..... | 6 |
| a. Les débuts de Singapour (des années 1800 à 1950) | 6 |
| b. Le manque d'eau, facteur de la défaite lors de la bataille de Singapour de 1942 | 7 |
| c. Pollution et pénuries en eau des années 1960..... | 7 |
| II. La gestion de l'eau par le gouvernement | 9 |
| 1. La nationalisation des organismes de l'eau..... | 9 |
| a. Le PUB (Public Utilities Board)..... | 9 |
| b. Un service entièrement centralisé..... | 9 |
| 2. Les politiques d'assainissement | 10 |
| a. Mise en place des politiques et de gestion de l'eau dans les années 70..... | 10 |
| b. Mise en œuvre de ces politiques et résultats dans les années 80..... | 10 |
| 3. Les relations géopolitiques entre la Malaisie et Singapour autour du problème de l'eau | 12 |
| a. Les principaux accords entre la Malaisie et Singapour régissant la gestion de l'eau | |
| (d'après [8] et [9]) | 12 |
| b. La situation géopolitique actuelle..... | 12 |
| 4. Aménagement du territoire..... | 13 |
| III. Des solutions vers une indépendance en eau..... | 15 |
| 1. Le dessalement de l'eau de mer | 16 |
| 2. Le recyclage des eaux usées : la NEWater..... | 18 |
| a. Traitement intégré par aérobie et anaérobie des eaux usées..... | 19 |
| b. Traitement de l'odeur des eaux usées | 19 |
| c. La destruction des déchets d'épuration par ultrasons | 19 |
| d. Le traitement des eaux vers des eaux potables : l'irradiation par les ultra-violets..... | 19 |
| 3. La capture des eaux de pluies..... | 19 |
| 4. Des technologies innovantes qui s'insèrent dans le marché de l'eau mondial | 20 |
| Conclusion..... | 21 |

| | |
|-----------------------|----|
| BIBLIOGRAPHIE : | 22 |
|-----------------------|----|

Table des illustrations

| | |
|--|----|
| Figure 1: Croissance de la population, du GDP (Gross Domestic Product = PIB : Produit Intérieur Brut) et de la consommation en eau entre 1965 et 2007 [1]..... | 5 |
| Figure 2: Prévission de la demande en eau de Public Utilities Board (PUB) [4] et ressources utilisées pour assurer cette demande | 6 |
| Figure 3: Photographie de la rivière de Singapour montrant la pollution dans les années 60 [5] | 8 |
| Figure 4: Photographie de la rivière de Singapour dans les années 60 montrant l'utilisation excessive des berges et l'état sanitaire préoccupant de la ville [5] | 8 |
| Figure 5: Photographie de Singapour prise en 1961 lors du rationnement en eau [5] | 8 |
| Figure 6: Construction de nouvelles industries moins polluantes [5] | 11 |
| Figure 7: Construction de la digue sur la rivière de Singapour [5] | 11 |
| Figure 8: Construction de nouvelles habitations publiques [5] | 11 |
| Figure 9: Photographie de Singapour dans les années 80 (d'après [5]) | 11 |
| Figure 10: Estuaires endigués de Singapour et réseaux de drains, canaux et rivières [4]..... | 14 |
| Figure 11: Expansion du territoire [16] | 14 |
| Figure 12: Zones inondables en 1970 (en vert à gauche) et aujourd'hui (en rouge à droite) [4] | 15 |
| Figure 13: Les quatre robinets de Singapour [4] | 15 |
| Figure 14: Principe de l'osmose et de l'osmose inverse [13] | 16 |
| Figure 15: Différentes étapes pour le dessalement de l'eau de mer [14] | 17 |
| Figure 16: Usine de traitement des eaux usées..... | 18 |
| Figure 17: Marina barrage..... | 20 |

Introduction

Aujourd'hui, les ressources en eau renouvelables sur la Terre devraient être suffisantes pour subvenir aux besoins en eau potable de toute la population. Pourtant, selon l'ONU, 783 millions de personnes n'y ont pas accès et 2,5 milliards n'ont pas accès à des services d'assainissement. L'Organisation des Nations Unies considère qu'un objectif a été atteint en ce qui concerne l'accès à l'eau potable, mais il reste de grandes disparités liées à la répartition des populations sur la planète, à différentes échelles : selon les régions du monde, les différents pays et même à l'intérieur des états. Ces inégalités s'expliquent par une inégale répartition géographique de l'eau douce disponible mais aussi par une mauvaise gestion de la ressource en eau. La croissance démographique, l'industrialisation, l'urbanisation augmentent à la fois les besoins en eau, les inégalités et la compétition pour la demande en eau.

La gestion de l'eau est en particulier nécessaire en Asie. Si ce continent possède un volume d'eau parmi les plus importants du monde (11 594 km³/année), la quantité disponible par habitant est faible par rapport au reste du monde (3000 m³/habitants). L'essor économique de cette région a en effet provoqué une hausse de la demande en eau d'environ 50 % entre 1955 et 1990.

Singapour est un exemple de cité-état qui résout efficacement ses problèmes en eau. Elle possède des ressources naturelles en eau douce très faibles par rapport à la demande de la population. Nous allons donc étudier le problème de l'eau à travers l'exemple de Singapour : comment cette cité-état gère son manque de ressources naturelles en eau ? Quels sont les enjeux géopolitiques, économiques, techniques de sa dépendance en eau et de sa volonté d'autosuffisance ?

Dans un premier temps, nous allons étudier les causes de l'insuffisance de l'approvisionnement en eau. Puis nous nous intéresserons aux politiques mises en place par le gouvernement de Singapour pour accéder à l'autosuffisance. Enfin, nous verrons concrètement les quatre ressources en eau utilisées par Singapour pour répondre à la demande en eau.

I. Etat des lieux autour de Singapour

Singapour est une cité-état située dans l'Asie de l'Est, frontalière de la Malaisie au Sud. Le pays regroupe 64 îles, pour une superficie totale d'environ 700 km² et une longueur de côte de 190 km. On dénombre 5,3 millions d'habitants en 2012 [1], ce qui correspond à une densité de population d'environ 7300 habitants par km².

1. Des ressources actuelles en eau insuffisantes

a. Des contraintes importantes à l'origine du manque d'eau

Singapour est soumise à des contraintes naturelles, démographiques et économiques qui sont à l'origine de l'insuffisance de l'approvisionnement en eau [2].

La pluviométrie est élevée avec une valeur moyenne de 2360 mm/an et s'explique par la position équatoriale de Singapour. Cependant, l'eau ruisselle rapidement vers la mer et est difficile à récupérer. De plus, aucune nappe phréatique n'a été trouvée dans le sous-sol de Singapour. Les ressources naturelles en eau sont donc très faibles.

Singapour, qui souffre d'une limitation sévère de ses ressources, doit pourtant fournir de l'eau pour plus de 5 millions de personnes, avec un son taux d'accroissement démographique naturel positif (0,43 % en 2012). La croissance économique élevée a atteint 14,8 % en 2010 et 4,9 % en 2011 [1][2]. Les contraintes démographiques sont donc très importantes et vont s'accroître dans les prochaines années.

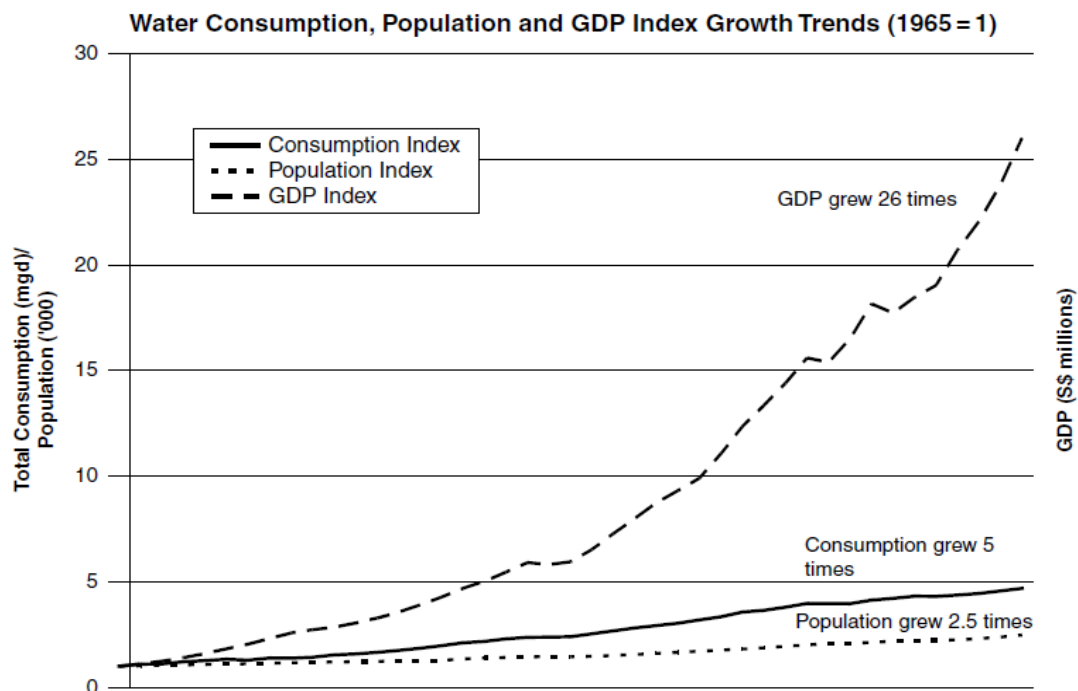


Figure 1: Croissance de la population, du GDP (Gross Domestic Product = PIB : Produit Intérieur Brut) et de la consommation en eau entre 1965 et 2007 [1]

b. Une demande en eau en forte croissance

Comme le montre la Figure 1, la demande en eau a été multipliée par 5 entre 1965 et 2007. Cela peut s'expliquer par la croissance démographique puisque la population a été multipliée par 2,5 en 42 ans. Cela peut également s'expliquer par la croissance économique spectaculaire, représentée ici par le PIB. Le développement économique fait de Singapour un pôle industriel et commercial. L'eau est ainsi nécessaire pour la consommation domestique, le transport, la transformation manufacturière, la production énergétique mais aussi la climatisation. Il y a donc une grande compétition pour les ressources en eau [3].

La demande en eau atteint aujourd'hui environ 380 millions de gallons par jour, soit 1,67 million de m³ par jour. Elle devrait doubler durant les 50 prochaines années, dont 30 % pour la consommation domestique, selon la prévision du Public Utilities Board (Figure 2).

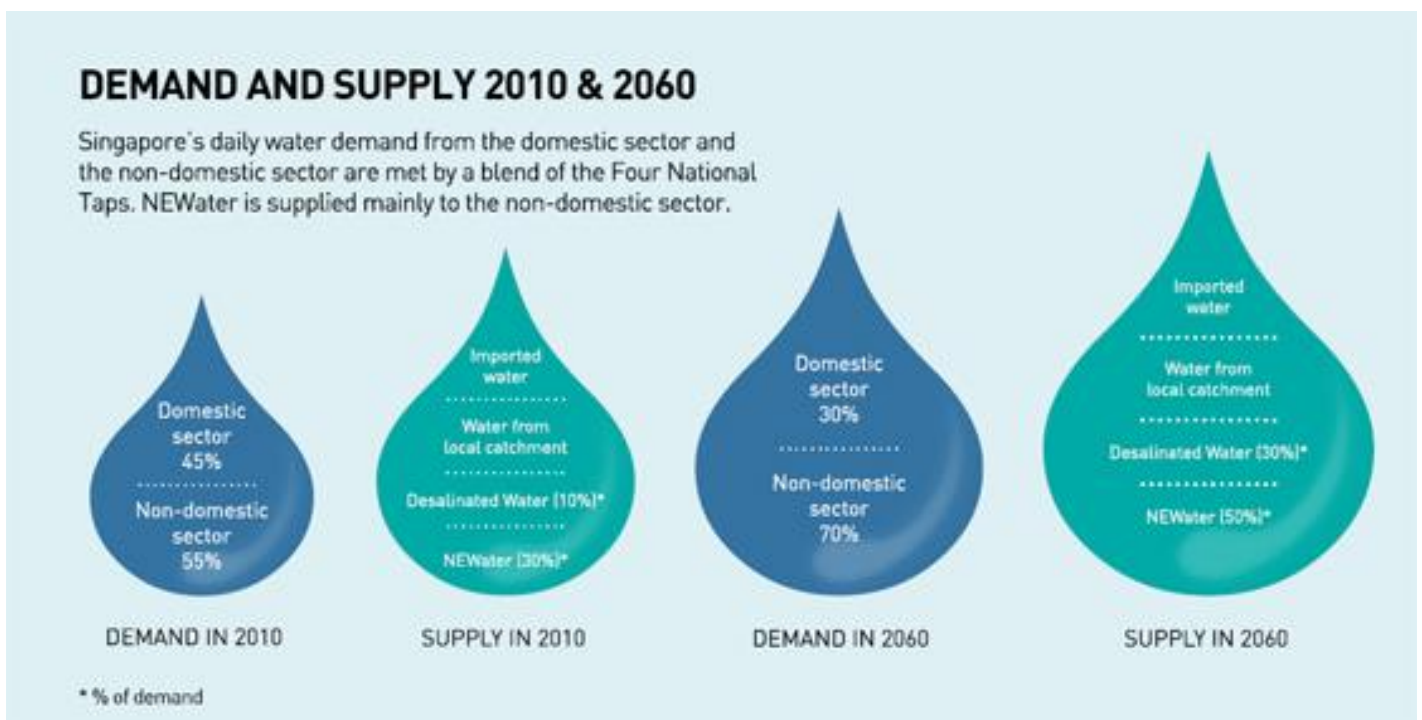


Figure 2: Prévision de la demande en eau de Public Utilities Board (PUB) [4] et ressources utilisées pour assurer cette demande

Singapour doit donc faire face à une demande en eau qui ne cesse de s'accroître. Jusque dans les années 2000, l'île importait quasiment toute son eau de l'état le plus proche, la Malaisie.

2. Historique de l'approvisionnement en eau

a. Les débuts de Singapour (des années 1800 à 1950)

Les premières ressources en eau de l'île étaient les rivières intérieures ainsi que les quelques puits de pompage mis en place. Les faibles ressources suffisaient amplement au peu

d'habitants vivant sur l'île au tout début du XIX^{ème} siècle. Mais après sa fondation en 1819 en tant qu'état, Singapour a fortement développé son activité portuaire. Sa croissance démographique a alors été rapide et ce sans tenir compte des ressources en eau nécessaires pour l'ensemble de la population. Juste avant le milieu du XIX^{ème} siècle, le nombre d'habitants avait atteint les 50 000, et la problématique de l'eau est alors devenue essentielle. C'est en 1857 qu'a été construite la première canalisation d'eau, suivie une dizaine d'années plus tard par le premier réservoir, nommé MacRitchie. Au début du XX^{ème} siècle, deux autres réservoirs furent construits, appelés Pierce et Seletar, du nom de Robert Pierce, ingénieur responsable de sa construction et en référence aux habitants côtiers malais appelés Orang Seletar [4].

b. Le manque d'eau, facteur de la défaite lors de la bataille de Singapour de 1942

Cette bataille a eu lieu lors de la Seconde Guerre Mondiale, entre le 31 janvier et le 15 février 1942. Les Japonais souhaitent conquérir l'ensemble de l'Asie du Sud et de l'Est. Les troupes britanniques vaincues en Malaisie se replient à Singapour le 31 janvier et détruisent le pont reliant Johor et Singapour afin de ralentir l'ennemi. Singapour est alors bombardée pendant les 5 jours suivants, permettant finalement aux troupes japonaises de débarquer sur la cité-Etat et assiéger la ville le 14 février. Un million de personnes sont alors bloquées dans la ville dans un rayon de 5 km. Le réseau de distribution d'eau est coupé dans la journée, impliquant un manque d'eau, qui associé au manque de munitions rendent impossible toute poursuite de la bataille. A l'aube du 15 février 1942, le général Persival à la tête des troupes britanniques se rend avec ses 130 000 soldats à 50 000 soldats japonais.

La population de Singapour a ainsi été fortement marquée par le rôle décisif du manque d'eau dans cette défaite.

c. Pollution et pénuries en eau des années 1960

La rivière de Singapour et ses affluents étaient pollués et les installations sanitaires étaient quasiment inexistantes, comme le montrent les photographies (Figure 3 et Figure 4). Malgré le taux relativement faible de consommation en eau, les infrastructures inadaptées et la gestion de l'approvisionnement de l'eau ont ainsi provoqué un rationnement en eau à Singapour en 1961 et en 1963 (Figure 5).



Figure 3: Photographie de la rivière de Singapour montrant la pollution dans les années 60 [5]

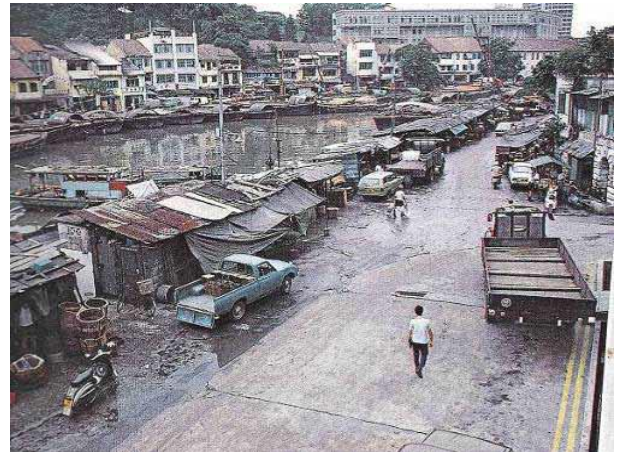


Figure 4: Photographie de la rivière de Singapour dans les années 60 montrant l'utilisation excessive des berges et l'état sanitaire préoccupant de la ville [5]



Figure 5: Photographie de Singapour prise en 1961 lors du rationnement en eau [5]

Une nouvelle méthode d'approvisionnement en eau fut organisée : il s'agit de l'importation d'eau depuis la Malaisie et Johor, un Etat du sud de la Malaisie, qui a commencé au début des années 1960 avec la signature de deux traités en 1961 et 1962 (détaillée dans la partie II.3.).

Au moment de l'indépendance en 1965, le PIB de Singapour était de 8,8 milliards de dollars contre 229 milliards aujourd'hui. Sa population était de 1,9 million d'habitants et la consommation en eau était donc beaucoup plus faible avec $350\,000\text{ m}^3/\text{jour}$ contre $1\,730\,000\text{ m}^3/\text{jour}$ aujourd'hui.

II. La gestion de l'eau par le gouvernement

Le manque de ressources naturelles en eau, couplé à la pollution des eaux de rivières ont placé Singapour dans une situation très instable vis-à-vis de son approvisionnement en eau potable. De plus, la population du pays augmentant d'année en année, le gouvernement a dû réagir rapidement et a choisi de mettre en place des stratégies rigoureuses pour pallier au manque d'eau potable en assurant sa production et sa distribution à l'ensemble de la population.

L'eau et l'environnement aquatique en général, constituent d'importants objectifs à la fois d'un point de vue politique mais également du point de vue des habitants qui y sont très sensibles et en comprennent les enjeux. Poussé par la vision du développement durable, Singapour a énormément investi dans la recherche et la technologie pour l'eau. Le PUB, Public Utilities Board, l'agence de l'eau nationale, joue un rôle très important au sein de la société en ce qui concerne la problématique de l'eau. Elle gère l'approvisionnement et la distribution de l'électricité, de l'eau et du gaz.

1. La nationalisation des organismes de l'eau

a. Le PUB (Public Utilities Board)

Le PUB, l'agence de l'eau de Singapour, a été créée en 1963 par le gouvernement. Elle est responsable à la fois de l'approvisionnement, de la production, de la distribution et de la gestion de la demande en eau, son rôle étant de subvenir aux besoins en eau potable de la population et des industriels.

Elle a pour mission d'assurer un approvisionnement efficace, adéquat et durable de l'eau. Cet organisme n'a aucun équivalent français, car il regroupe tous les niveaux de la gestion de l'eau et est autofinancé par la production d'eau potable et l'épuration des eaux usées domestiques et industrielles [6].

b. Un service entièrement centralisé

Le PUB s'occupe à la fois :

- de la définition de sa politique de gestion des ressources,
- du contrôle de la qualité des ressources,
- de la définition des schémas d'assainissement,
- de la collecte et du traitement des eaux usées domestiques et industrielles,
- de la production d'eau potable et d'eau industrielle ultra pure,
- de la formation des ingénieurs et techniciens de l'eau et de l'environnement,
- de soutenir financièrement les équipes de recherche et développement,
- de l'organisation de conférences scientifiques,
- de la sensibilisation de la population au cycle de l'eau [6].

Ce dernier point se traduit également par des actions pour « diminuer les rejets d'ordures ménagères ou d'emballages sur la voirie, dans les canaux ou les réservoirs d'eau de ruissellement pluvial » [6].

Le fait de gérer toutes ces activités au sein du même organisme et donc de centraliser les aspects intellectuels, scientifiques et techniques ainsi que les financements, permet d'obtenir une grande efficacité dans la gestion de l'eau à Singapour. Il faut savoir que le PUB finance à près de 80 % les activités de recherche et développement. Il soutient les équipes de recherche universitaires et les entreprises en leur confiant des études finalisées. Il a également une influence au niveau international car il vend son savoir-faire à la Chine, l'Inde et au Moyen-Orient sous forme de formations.

2. Les politiques d'assainissement

a. Mise en place des politiques et de gestion de l'eau dans les années 70

Le PUB a développé des plans d'approvisionnement grâce à deux accords entre la Malaisie, plus particulièrement la région malaisienne de Johor et Singapour. Grâce à cette politique, il n'y a plus eu de rationnement et l'approvisionnement en eau est devenu moins dépendant de la météorologie. Un système d'approvisionnement en eau propre et sûr a ainsi été mis en place. Dans le même temps, des stratégies et mesures de contrôle de la pollution ont été adoptées et renforcées.

Une importante mesure dans le respect de la ressource en eau et de l'environnement a été le nettoyage de la rivière de Singapour. Jusque dans les années 70, la rivière de Singapour et les terres environnantes étaient fortement polluées par la présence d'activités commerciales le long de la rivière. Des banques, des industries et des fermes situées le long de la rivière et de ces affluents étaient à l'origine de la pollution, notamment à cause de l'absence de système sanitaire et d'égouts. Le nettoyage de la rivière était une tâche colossale pour laquelle le gouvernement a lancé un programme sur 10 ans en engageant plusieurs agences gouvernementales [7].

b. Mise en œuvre de ces politiques et résultats dans les années 80

A travers la coordination étroite des agences responsables de la gestion du territoire, de l'habitat, de l'environnement, du commerce, de l'industrie et des transports, l'opération de nettoyage a été conduite avec succès. Les activités polluantes ont été délocalisées dans des nouveaux locaux sur d'autres zones de l'île, éloignées des réserves d'eau (Figure 6). Les anciens commerces et industries ont été transformés en plages de sable. Un large programme a été lancé pour reloger les gens sans abri et plus de 26 000 familles ont été relogées dans des habitations publiques propres équipées de sanitaires, que l'on peut observer sur la Figure 8. Le lit de la rivière a été dragué, ses berges ont été aménagées et une digue a été construite (Figure 7).

Ces tâches n'étaient pas des minces affaires mais leur succès a été assuré par une forte volonté politique, une surveillance constante par les dirigeants et une volonté sur le long terme d'amélioration de la qualité de vie.



Figure 6: Construction de nouvelles industries moins polluantes [5]



Figure 8: Construction de nouvelles habitations publiques [5]



Figure 7: Construction de la digue sur la rivière de Singapour [5]

Dix ans plus tard, en 1987, avec l'intégration de la planification de l'utilisation des terres et de l'eau, la rivière de Singapour a été transformée en un cours d'eau propre, non pollué, comme nous pouvons le voir sur la Figure 9. La vie aquatique est également revenue. De plus, du point de vue des ressources en eau, le réaménagement et le nettoyage ont permis de séparer complètement les systèmes de drainage et d'égout, ce qui a ensuite été indispensable pour le développement des futures ressources en eau.



Figure 9: Photographie de Singapour dans les années 80 (d'après [5])

Malgré l'efficacité de la dépollution et des aménagements pour l'approvisionnement en eau, Singapour possédait toujours des ressources en eau insuffisantes en 2000.

3. Les relations géopolitiques entre la Malaisie et Singapour autour du problème de l'eau

a. Les principaux accords entre la Malaisie et Singapour régissant la gestion de l'eau (d'après [8] et [9])

L'accord de 1961, appelé le « Tebrau and Scudai Rivers Water Agreement », a été signé entre l'Etat de Singapour et le gouvernement de l'Etat malaisien de Johor. A cette époque, Singapour n'était pas encore indépendant car sous le contrôle de l'empire britannique. Cet accord attribuait à Singapour les droits exclusifs pour récupérer l'eau sur 2912 hectares à Johor (Gunong Pulai, Sungei Tebrau et Sungei Scudai). L'état de Johor facturait l'eau à Singapour 1 centime pour 1000 litres d'eau et lui faisait payer 5 dollars par hectare et par an. En échange, Singapour s'engageait à fournir une provision quotidienne en eau traitée en vendant 12 % de l'eau obtenue après filtration à un prix de 12 centimes pour 1000 litres. Cet accord était valable jusqu'en 2011.

Par l'accord de 1962 appelé « Johor Water River Agreement », Singapour a obtenu le droit de puiser 250 millions de gallons par jour dans la rivière Johor, soit 946 000 m³ par jour. En échange, Johor avait le droit de prélever 2% de l'eau après traitement. Les prix restaient les mêmes que ceux des accords de 1961. Le contrat est valable jusqu'en 2061.

Le 9 août 1965, l'accord d'indépendance de Singapour (Separation Agreement) est signé par les gouvernements de Singapour et de la Malaisie et garantit les accords de 1961 et 1962.

En 1988, les deux premiers ministres, Lee Kuan Yew pour Singapour et Mahathir Mohamed pour la Malaisie, ont signé le MOU « Memorandum Of Understanding » qui est l'aboutissement de 6 années de négociations sur la gestion de l'eau. Cet acte a une valeur de reconnaissance des accords signés et a permis d'apaiser les relations entre les deux pays.

En 1990, un nouvel accord est signé entre PUB et l'Etat de Johor. Singapour a été autorisé à construire une digue sur la rivière Johor pour faciliter l'extraction de l'eau. Cette digue délimite un territoire de 21 000 hectares de terre. Singapour a payé 100 millions de dollars en compensation de la perte de ces terres et de leurs revenus potentiels, auxquels s'ajoutent 6 millions par hectare. L'Etat de Singapour paye également une rente annuelle de 10 dollars pour chaque 92,9 m². Le coût de construction et d'entretien de la digue est payé par Singapour. En échange, cet accord donne à Johor le droit d'acheter l'eau traitée produite par cette nouvelle digue. La quantité est toujours fixée par l'accord de 1962. L'état de Johor avait le droit à une provision journalière d'eau traitée de Singapour. Cet accord est valable jusqu'en 2061.

b. La situation géopolitique actuelle

La fin en 2011 de l'accord de 1961 relance le débat sur la politique de l'eau en Malaisie et à Singapour. L'ancien Premier Ministre malais, Dr Mahathir Mohamad, a demandé depuis 2009 si le gouvernement actuel pensait à négocier l'accord pour qu'il soit plus favorable à la Malaisie [10]. Il voudrait développer les systèmes de traitements de l'eau malaisienne afin de

vendre seulement de l'eau traitée à Singapour et de ne plus devoir acheter d'eau filtrée. Il lui paraîtrait alors légitime d'augmenter le prix de l'eau vendue à Singapour.

L'accord sur l'exploitation des eaux de Johor reste cependant en vigueur. Mais le prix de l'eau fixé par ces accords et n'a jamais été réévalué. Il devrait prendre en compte l'inflation et la tendance actuelle du marché. Les tensions au sujet de l'eau ont été importantes entre les deux pays notamment car Singapour reprochait à Kuala Lumpur ses menaces d'arrêt d'approvisionnement et Kuala Lumpur reprochait à la cité-état de profiter de tarifs excessivement bas [11].

Singapour et la Malaisie ont tous deux choisi de ne pas prolonger l'accord de 1961. Singapour cherche donc maintenant à devenir auto-suffisant en eau. Il leur reste cependant Johor comme source d'eau, grâce aux accords de 1962 et 1990.

Il semble que derrière ce différend sur l'eau et son prix, il s'agit surtout de la reconnaissance de Singapour en tant qu'Etat souverain. L'indépendance de Singapour date de 1965 et l'autosuffisance en eau peut apparaître comme une justification de son indépendance.

La dépendance de Singapour en eau importée l'a forcé à accélérer la mise en place de nouvelles technologies pour produire ses propres ressources en eau. La cité-état a développé le projet NEWater pour la récupération des eaux usées et a construit récemment la plus grande usine de dessalement d'eau de mer en Asie ainsi que de nombreux barrages et réservoirs. Elle vise à être totalement indépendante à l'horizon 2060.

4. Aménagement du territoire

Dans un même temps, l'aménagement du territoire de Singapour est primordial pour sauvegarder le maximum de ses propres ressources en eaux de surface et diminuer sa dépendance en approvisionnement via les pays voisins. La cité-état n'étant qu'un regroupement d'îles à petite superficie, elle ne possède pas d'aquifères et lacs naturels et a donc besoin d'utiliser les moindres surfaces disponibles pour récupérer les eaux de surface. Les eaux pluviales sont recueillies au moyen d'un vaste réseau de drains, canaux, rivières et étangs de collecte avant d'être acheminées vers l'un des 17 réservoirs de stockage actuels. C'est l'un des rares pays au monde à récolter les eaux pluviales urbaines à grande échelle. De plus, puisque la faible superficie du territoire limite le développement du pays, le gouvernement n'hésite pas à mettre en place des projets d'expansion, en créant des espaces artificiels. La majorité des estuaires sont déjà endigués pour créer des réservoirs (Figure 10).



Figure 10: Estuaires endigués de Singapour et réseaux de drains, canaux et rivières [4]

Le comblement des marais, ainsi le remplissage et le prolongement des littoraux permet d'accroître la superficie utilisable (Figure 11).



Figure 11: Expansion du territoire [16]

Le climat autour de Singapour étant tropical, nous avons vu que l'île principale reçoit des précipitations abondantes surtout pendant la saison des moussons. Cependant, ces précipitations extrêmement abondantes peuvent parfois dépasser la capacité des drains, provoquant des crues et inondations localisées. L'aménagement du territoire est donc planifié minutieusement et a évolué au fur et à mesure des années. Les zones inondables ont été réduites d'environ 3 200 hectares dans les années 1970 à environ 48 hectares aujourd'hui (Figure 12), permettant l'optimisation de la récupération d'eau.

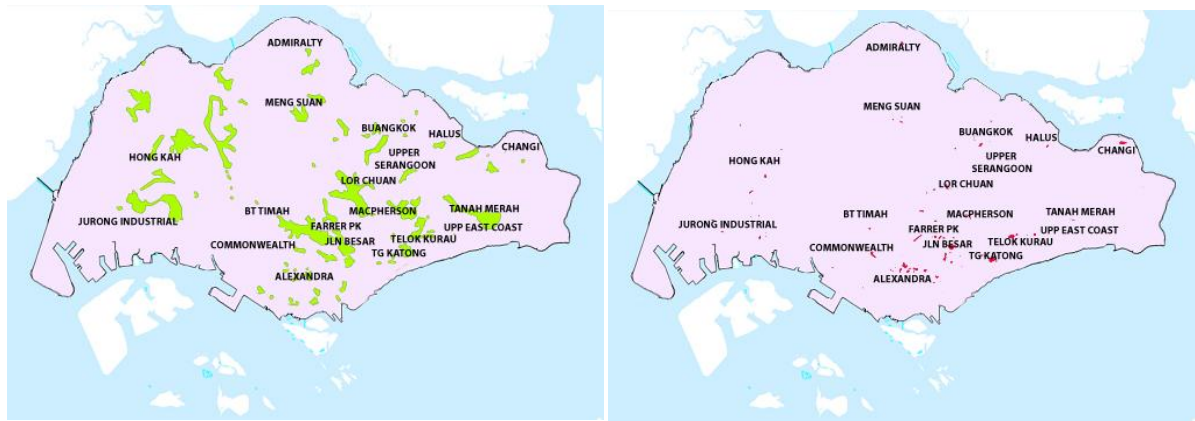


Figure 12: Zones inondables en 1970 (en vert à gauche) et aujourd'hui (en rouge à droite) [4]

III. Des solutions vers une indépendance en eau

Singapour met en œuvre trois solutions pour devenir indépendant de la Malaisie en eau (Figure 13) et couvrir ses 1 730 000 m³ d'eau nécessaires quotidiennement :

- le recyclage des eaux usées domestiques : c'est la NEWater qui représente aujourd'hui 30 % des besoins actuels et doit compter pour 50 % des besoins en 2060,
- la capture des eaux de pluie (aujourd'hui : 20 % des besoins)
- le dessalement de l'eau de mer (aujourd'hui : 10 % des besoins – 30 % prévus en 2060)

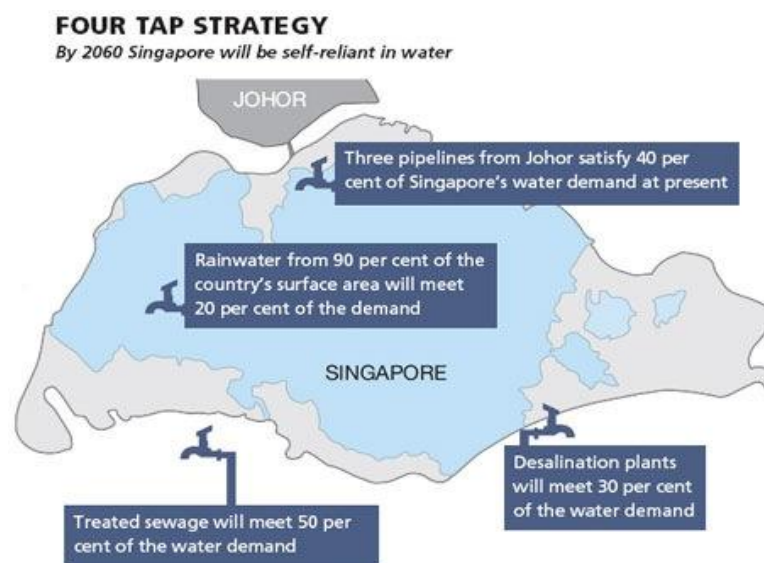


Figure 13: Les quatre robinets de Singapour [4]

1. Le dessalement de l'eau de mer

En 2005, Singapour a mis en place une grande usine de traitement/dessalement qui utilise la technique d'osmose inverse et produit $136\,000\text{ m}^3$ par jour, soit 10 % des besoins du pays. Cette usine est unique au monde car elle récolte l'eau de petites rivières qui arrivent à la mer mais sa particularité n'est pas là. Cette usine est une usine de traitement pour des eaux de salinité variable : lors de la saison sèche l'eau est plus salée alors que lors de la saison des pluies l'eau est relativement douce. Cette nouvelle technologie permet ainsi de maximiser l'utilisation de l'eau de pluie [12].

L'usine de dessalement comporte quatre étapes [15] :

- une prise d'eau de mer par une pompe et une filtration grossière ;
- une pré-filtration avec une filtration plus fine, l'addition de composés biocides (élimination de la matière vivante) et de produits antitartres ;
- le procédé de dessalement lui-même ;
- le post-traitement avec une éventuelle re-minéralisation de l'eau produite.

L'eau produite est alors potable si elle contient moins de 0,5 g de sels par litre.

Technique d'osmose inverse

La technique d'osmose inverse consiste à forcer le passage de l'eau salée sous haute pression à travers une membrane perméable à l'eau. Si l'on considère deux solutions, une d'eau douce et une d'eau salée, séparées par une membrane perméable à l'eau, l'eau migre de la solution d'eau douce vers la solution salée. Si l'on exerce maintenant une pression suffisamment forte (50 à 80 bars soit 50 à 80 fois la pression atmosphérique) sur le compartiment d'eau salée, le solvant (eau « douce ») va migrer de l'autre côté de la membrane et les sels vont rester dans la solution sous pression (Figure 14). On obtient ainsi de l'eau douce [13].

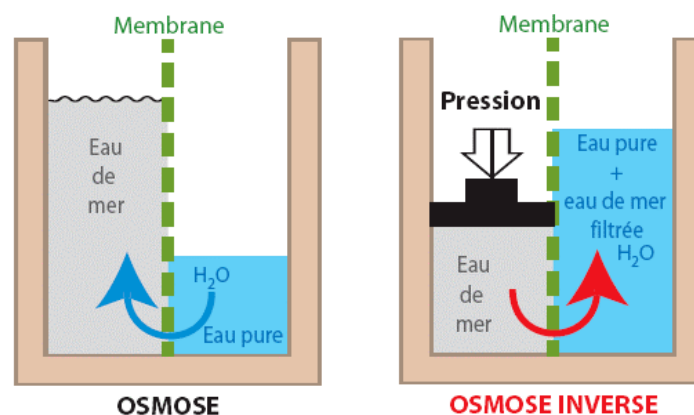


Figure 14: Principe de l'osmose et de l'osmose inverse [13]

L'osmose inverse est la technique de filtration la plus sélective car elle arrête tous les solutés et laisse passer seulement le solvant (l'eau).

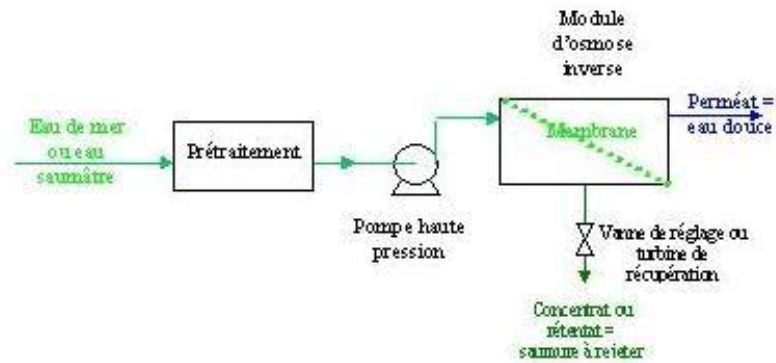


Figure 15: Différentes étapes pour le dessalement de l'eau de mer [14]

Avant d'utiliser la technique d'osmose inverse, l'eau subit deux premières filtrations qui permettent d'éliminer les particules de dimension supérieure à 50 μm ou jusqu'à 10 μm (suivant les besoins) et d'enlever les particules en suspension (filtration plus fine sur sable). Après ces pré-filtrations, des biocides et des antitartres sont ajoutés à l'eau pour éviter que des microorganismes ou des carbonates se développent sur la membrane (Figure 15).

L'étape de pré-traitement de l'eau de mer est nécessaire pour éviter le dépôt de matière en suspension sur les membranes diminuant ainsi le passage de l'eau à travers celle-ci [15].

Toutefois cette technique nécessite de l'énergie pour la mise sous pression. Néanmoins, le dessalement par osmose inverse est la technique de dessalement qui consomme le moins d'énergie (4 à 6 kWh/m³).

Cette technique a quelques inconvénients [15] :

- le coût des membranes qui durent environ trois ans ;
- l'énergie consommée par la pompe ;
- les pertes en eau car toute l'eau de mer prélevée ne devient pas de l'eau douce. Cela représente 25 % du débit ;
- le rejet de cette eau bien plus concentrée en sels.

Néanmoins, l'eau de mer étant une ressource naturelle infinie pour Singapour, cette technique pourrait continuer à se développer au cours des années. En 2013, le PUB prévoit de mettre en place une deuxième usine de dessalement qui pourrait traiter 300 000 m³ d'eau par jour. Cette eau est produite pour 0,30 \$ le m³.

2. Le recyclage des eaux usées : la NEWater



Figure 16: Usine de traitement des eaux usées

Le plan de traitement des eaux usées est la solution la plus coûteuse pour Singapour. Le processus de traitement consomme énormément d'énergie ainsi que de produits chimiques.

Singapour regroupe 6 stations d'épuration d'eaux usées qui vont être progressivement remplacées par une seule qui collectera la majeure partie des eaux usées de l'île par une longue canalisation profonde, « Deep Tunnel Sewage System », traversant toute l'île du Nord au Sud [6].

A la sortie des stations d'épuration, après un traitement supplémentaire de micro ou d'ultra-filtration, d'osmose inverse (Voir partie III.1) et d'irradiation aux rayonnements ultra-violet, la NEWater est utilisée dans l'industrie et notamment dans l'industrie électronique. Cette eau est extrêmement pure et donc directement utilisable dans les industries. Une faible proportion de cette eau est doublement traitée et envoyée dans les réservoirs d'eau de ruissellement pluvial [6] pour entrer dans le circuit de l'eau potable.

| Stations de production d'eau nouvelle | Ouverture | Capacité de production (m ³ d'eau par jour) |
|---------------------------------------|-----------|--|
| Kranji | 2003 | 41 000 |
| Bedok | 2003 | 27 000 |
| Seletar | 2004 | 23 000 |
| Ulu Pandan | 2007 | 145 000 |
| Changi | 2011 | 227 000 |
| Total | | 463 000 |

La population étant réticente à boire cette eau (eau recyclée), et afin d'inciter les industriels à en acheter, le gouvernement a établi un tarif attractif. Dernièrement le prix de fabrication était de 0,60 \$ par m³.

a. Traitement intégré par aérobie et anaérobie des eaux usées

Avant tout, les eaux usées sont décantées afin d'enlever toute la matière solide possible puis elles sont traitées par un processus aérobie où les micro-organismes sont utilisés pour décomposer les polluants restants en utilisant la consommation d'oxygène (respiration). Ce procédé va produire une grande quantité de boues qu'il faudra retirer.

Par ailleurs, il est possible d'utiliser un processus anaérobie au lieu d'aérobie. Il est moins gourmand en énergie et produit moins de boues. Le seul problème est que les eaux produites ne répondent pas aux normes. Par contre, couplé au processus aérobie, il permettrait de répondre aux normes, de consommer moins d'énergie et de produire moins de boues [4].

b. Traitement de l'odeur des eaux usées

La technologie *Biocarbone* utilise un absorbeur de carbone imprégné de bactéries cultivées pour traiter les émissions odorantes. Cette technique ne nécessite pas de produits chimiques et le carbone est régénéré par suppression de l'épurateur chimique, c'est-à-dire par suppression des bactéries [4].

c. La destruction des déchets d'épuration par ultrasons

Les ultrasons permettent de désintégrer les solides dans les boues (réduction de la taille des particules) et améliore la digestion anaérobie (Voir partie III.2.a). De plus, le pré-traitement par les ultra-sons augmente la génération de biogaz qui est une source d'énergie renouvelable [4].

Le gouvernement cherche ensuite à valoriser les boues et les saumures obtenues par osmose inverse afin d'avoir le moins d'impact possible sur l'environnement.

d. Le traitement des eaux vers des eaux potables : l'irradiation par les ultra-violets

L'irradiation de l'eau est très efficace contre de nombreux agents pathogènes et est la meilleure technologie pour l'inactivation des agents résistants au chlore (autre technique de désinfection des eaux) ainsi que d'autres contaminants émergents [4].

Le gouvernement cherche ensuite à valoriser les boues et les saumures obtenues par osmose-inverse afin d'avoir le moins d'impact possible sur l'environnement.

3. La capture des eaux de pluies

La récolte des eaux de pluies a été un enjeu depuis la colonisation britannique afin d'éviter une inondation et pour avoir de l'eau potable. Suite à la décolonisation, en suivant le modèle colonial, les Singapouriens ont fermé les estuaires et creusé des bassins afin de collecter l'eau.

La capture des eaux de ruissellement est peu onéreuse mais consommatrice en terme d'espace. Elle regroupe des réseaux de canaux à ciel ouvert, des bassins et des réservoirs (voir carte des quatre robinets) sur deux tiers de la superficie du territoire (700 km²). Les canaux amènent les

Rapport : Le problème de l'eau à Singapour

eaux de pluies vers les 17 réservoirs actuels [14]. Pour éviter les pics de débit lors des violents orages équatoriaux, de multiples procédés de stockage temporaire peuvent être mis en œuvre : toiture en terrasse, toits enherbés, chaussées réservoir, bassins en eau...

La mise en place d'un système de prédiction des pluies permet un meilleur traitement des eaux car les stations de traitement des eaux lors de la saison sèche fonctionnent en dessalement alors que lors de la saison des pluies elles fonctionnent avec les eaux douces de pluie.

Le cas du barrage de Marina (Figure 17) est intéressant. C'est le quinzième réservoir de Singapour (2008) construit à la confluence de 5 rivières. Mais il possède également d'autres vocations, il permet aussi de lutter contre les inondations lors de la saison des pluies, de préserver le milieu naturel et de faire une aire de détente pour les habitants. Il est un exemple de l'optimisation de l'espace [6].

Le traitement de cette eau est assez similaire à celui de la NEWater notamment il utilise la technique d'ultraviolets pour la rendre potable.

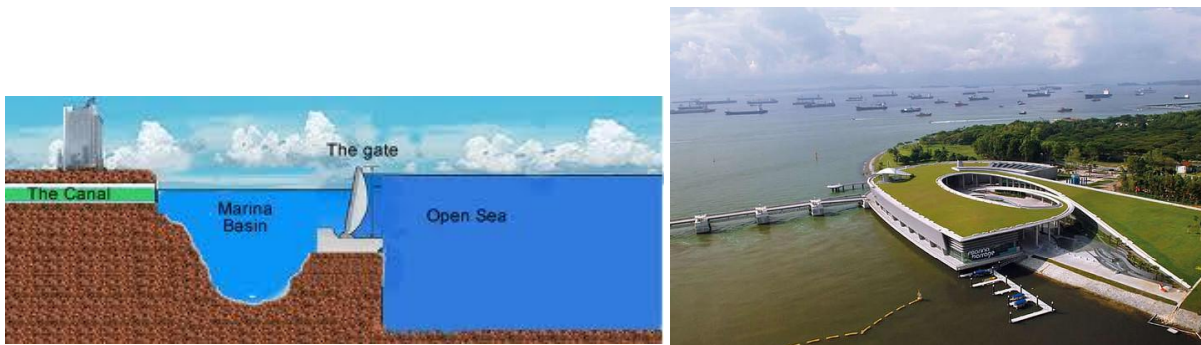


Figure 17: Marina barrage

4. Des technologies innovantes qui s'insèrent dans le marché de l'eau mondial

La mise en place de nouvelles technologies est un défi pour les scientifiques de Singapour afin d'améliorer le traitement des eaux et d'optimiser les stations de traitement pour pouvoir récupérer des terrains pour les autres activités (notamment en diminuant l'emprise au sol des décanteurs secondaires des stations d'épuration).

La création de nouvelles technologies dans le traitement de l'eau permet une insertion de Singapour dans l'économie mondiale ; par exemple la *Membrane BioReactor* a été développée à Singapour par Hiflux et n'est pas connue en France.

Singapour commence à exporter ses techniques vers différents pays.

Conclusion

A partir de sa proclamation en tant qu'état, Singapour a été touché de plein fouet par la question de son approvisionnement en eau potable, freinant son développement économique. Sa volonté à devenir un pays développé l'a poussé à trouver des solutions pour améliorer les conditions de vie de ses habitants ainsi que le développement de son industrie.

Au XIX^{ème} siècle, Singapour signe des accords d'approvisionnement avec la Malaisie et Johor. Ces accords passés sous la domination anglaise de Singapour, ont entraîné quelques tensions entre les différents états mais ont été pour Singapour d'une grande aide dans son développement démographique et économique. Ceci a notamment permis à Singapour d'envisager d'autres solutions et ainsi de ne pas renouveler l'accord avec la Malaisie qui se terminait en 2011.

Pendant que l'état de Singapour était approvisionné en eau grâce aux accords, son PIB n'a cessé d'augmenter et a permis ainsi le développement de la recherche et de l'ingénierie. Différentes solutions ont été trouvées pour rendre l'état de plus en plus indépendant en eau, en s'inspirant de technologies existantes comme l'osmose inverse mais aussi en créant ses propres options et technologies (NEWater). Singapour dans sa volonté d'auto-suffisance en eau tourne tout son territoire vers cet objectif, que ce soit au sens figuré (politique d'économie de l'eau auprès de ses habitants) ou au sens propre (les 2/3 de son territoire sont consacrés à la capture des eaux de pluie ; en 2060 ce devrait être 90 % du territoire).

En cherchant son auto-suffisance, Singapour a pu désamorcer de potentiels conflits avec la Malaisie et Johor, et tendre vers un meilleur développement de son pays. Il commence également à concurrencer les pays développés dans les technologies de l'eau. Dans le futur, pouvoir produire sa propre eau potable lui donnera un certain poids dans le monde.

La cité-état de Singapour a été particulièrement efficace pour répondre aux besoins d'approvisionnement en eau. Les mesures de dépollution et de restructuration de la ville ont permis de dépolluer la rivière en une dizaine d'années. Le gouvernement s'est donné les moyens de développer des technologies de pointe et aménager astucieusement son territoire pour résoudre son problème d'eau. Il a assuré l'efficacité de son action par une centralisation de tous les services touchant à l'eau. Cette gouvernance autoritaire a-t-elle des inconvénients ? L'efficacité est-elle le revers de l'autoritarisme du régime politique singapourien ? Mais des leçons peuvent sans doute être tirées pour d'autres états et collectivités des solutions techniques, scientifiques, organisationnelles qui assurent la réussite de la gestion de l'eau à Singapour.

BIBLIOGRAPHIE :

- [1] Statistiques mondiales, *République de Singapour* [en ligne].
Adresse URL : <http://www.statistiques-mondiales.com/singapour.htm>
- [2] France Diplomatie, *Présentation de Singapour* [en ligne].
Adresse URL : <http://www.diplomatie.gouv.fr/fr/pays-zones-geo/singapour/presentation-de-singapour/>
- [3] DROLET Julie, "La gestion de l'eau au cœur de l'aménagement du territoire de Singapour", *Mémoire*, Université de Montréal, 2009
- [4] PUB, Singapore's national water agency [en ligne].
Adresse URL : <http://www.pub.gov.sg>
- [5] PUAH Aik Num, "Smart Water – Case study of Singapour", *Rapport de PUB*, 2011
- [6] THEVENOT Daniel R., "Gestion et traitement de l'eau à Singapour : Que retenir ? ",
Version du 20 décembre 2006, *Rapport de l'Ambassade de France à Singapour*
- [7] KHOO Teng Chye, BISWAS Anil Kumar et al. "Singapore Water : Yesterday, Today and Tomorrow", *Water Management in 2020 and Beyond*, Water Resources Development and Management, 2009, p 237-250
- [8] CHEW Valerie, "Singapore-Malaysia Water Agreement" [en ligne].
Adresse URL : http://infopedia.nl.sg/articles/SIP_1533_2009-06-23.html
- [9] LUAN Ivy Ong Bee, "Singapore Water Management Policies and Practices",
International Journal of Water Resources Development, 2010, vol. 26, n°1, p 65-80
- [10] MOHAMAD Mahathir, "Water for Singapore" [en ligne].
Adresse URL : <http://mahathir-mohamad.blogspot.fr/>
- [11] BESSON Alexandre, *Etat des lieux de la relation Malaisie/Singapour en 2011*, Rapport de l'Institut de Relations Internationales et Stratégiques (IRIS), Paris, Mars 2011
- [12] United Nations Environment Programme (UNEP), "Sourcebook of Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in Latin America and the Caribbean", 1997, p 109-117
- [13] TATA-DUCRU Farid, "Dessalement de l'eau de mer : bilan des dernières avancées technologiques ; bilan économique ; analyse critique en fonction des contextes", AgroparisTech, Agence Française de Développement, Janvier 2009

- [14] RENAUDIN Viviane, "Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres", ENS, *Eduscol*, 2003
- [15] LAL SETH Bharat, "Singapore taps its water", *Down to Earth*, 2011 [en ligne]
Adresse URL : <http://www.downtoearth.org.in/content/singapore-taps-its-water>
- [16] DE KONINCK Rodolphe, DROLET Julie et GIRARD Marc, *Singapore. An Atlas of Perpetual Territorial Transformation*, NUS Press, 2008, p14-15
- [17] MARGOLIN Jean-Louis, "Singapour : l'autoritarisme au service du développement", *Matériaux pour l'histoire de notre temps*, 1997, vol. 45, n°45, p 9-15