HAL
open science

Gestion et traitement de l'eau à Singapour : que retenir ?

Daniel R. Thevenot, Antoine Mynard

To cite this version:

Daniel R. Thevenot, Antoine Mynard. Gestion et traitement de l'eau à Singapour : que retenir ?. bulletins-electroniques.com, 2006, SMM06_091, pp.23. hal-00978213

HAL Id: hal-00978213

https://enpc.hal.science/hal-00978213

Submitted on 13 Apr 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
AMBASSADE DE FRANCE A SINGAPOUR
SERVICE DE COOPERATION ET D'ACTION CULTURELLE

GESTION ET TRAITEMENT DE L'EAU A SINGAPOUR : QUE RETENIR ?

REDACTEUR :
Daniel R. THEVENOT

Version du 20 décembre 2006

Table des Matières

Avant-propos 3
Introduction 4
1. Le contexte de la recherche et du développement technique sur l'eau 4
1.1. Contexte 4
1.1.1. La politique de développement très volontariste de Singapour 4
1.1.2. La centralisation du secteur de l'eau au sein du PUB 5
1.1.3. La limitation des ressources en eau de Singapour 6
1.1.4. La forte demande en eau associée à exiguïté du territoire 7
1.2. Etat des lieux 7
1.2.1. PUB : un service public très particulier 7
1.2.2. Des équipes de recherche en concurrence 8
1.2.3. Une formation supérieure relativement peu visible 8
1.3. Principales observations 9
2. Les priorités scientifiques et techniques 10
2.1. Durabilité de l'approvisionnement en eau de Singapour 10
2.1.1. Regroupement et amélioration des usines de traitement d'eau 10
2.1.2. Traitement et réutilisation des eaux usées : NEWater 11
2.1.3. Communication pour éduquer et sensibiliser à l'eau 11
2.2. Participation au développement du marché international de l'eau 11
2.2.1. Développement de techniques innovantes 11
2.2.2. Soutien des activités à l'étranger 12
3. Les avancées scientifiques attendues 13
3.1. Mise en œuvre de nouveaux procédés de traitement des eaux 13
3.1.1. Granulation des bactéries utilisées en épuration des eaux 13
3.1.2. Microfiltration, ultrafiltration ou osmose inverse 13
3.1.3. Réacteurs biologiques à membranes 13
3.1.4. Stérilisation par irradiation ultraviolette 14
3.1.5. Utilisation de traitement aux ultrasons en digestion anaérobie des boues 14
3.1.6. Diversification des procédés de valorisation des boues 14
3.2. Méthodes non structurelles de gestion des eaux pluviales urbaines 14
3.2.1. Actions de sensibilisation du public 14
3.2.2. Choix de réseau pluvial à l'air libre 15
3.2.3. Entretien de la voirie 15
4. Message aux acteurs économiques et politiques français 16
4.1. Intégration des différents acteurs du cycle de l'eau 16
4.2. Gouvernance des recherches sur l'eau et l'environnement 16
4.3. Intensification des relations publiques et privées entre la France et Singapour 16
5. Les possibles champs de collaboration entre Singapour et la France 17
5.1. Procédés de traitement des eaux 17
5.1.1. Production d'eau potable 17
5.1.2. Traitement des eaux usées 17
5.1.3. Traitement et valorisation des boues de station d'épuration et des déchets urbains 18
5.2. Gestion à la source des eaux pluviales urbaines 18
5.2.1. Procédés de stockage temporaire des eaux pluviales 18
5.2.2. Procédés de traitement des eaux pluviales 18
5.3. Modélisation des bassins versants hydrographiques 19
5.4. Cycle des flux de matière 19
5.5. Formation supérieure en environnement 19
5.5.1. Biogéochimie des milieux aquatiques 20
5.5.2. Bassins versants hydrographiques : modèles 20
5.5.3. Données environnementales : représentativité, contrôle qualité 20
5.5.4. Sciences humaines et environnement : économie, politique, gestion 20
5.5.5. Pays en voie de développement 21
6. Annexes 22

AVANT-PROPOS

Dans le cadre de son activité de veille scientifique et technologique, la section scientifique du SCAC de l'Ambassade de France a sollicité l'expertise du Prof. Daniel R. Thévenot (Cereve, Centre d'Enseignement et de Recherche sur l'Eau, la Ville et l'Environnement, UMR-MA 102 Laboratoire commun Université Paris 12, ENPC, ENGREF) pour effectuer une mission à Singapour. L'objectif de cette dernière est évaluer le potentiel scientifique et technologique de Singapour dans le cadre de sa politique et de son organisation en matière d'approvisionnement et de traitement de l'eau. Il est également de tirer des enseignements pour notre pays tout en essayant d'identifier des collaborations possibles en matière scientifique, universitaire ou industrielle.

Financée par l'Ambassade, cette mission est la seconde de ce type en 2006. Elle intervient après celle réalisée par le Prof. Hamonic sur les « systèmes embarqués » et fait partie du plan de veille scientifique qui a permis de réaliser, depuis octobre 2005, une dizaine de travaux de veille technologique dont l'ADIT s'est fait l'écho au cours des derniers mois. Cette Ambassade remercie vivement le Prof. Thévenot pour sa contribution à l'effort de veille de notre section mais aussi à la promotion de l'offre française dans le domaine de l'eau, en particulier dans le cadre des présentations et discussions réalisées au cours de sa mission.

A. Mynard, attaché de coopération scientifique et universitaire

Résumé :

L'eau est une ressource stratégique pour Singapour qui s'est doté d'une organisation monopolistique mais efficace en matière d'approvisionnement, de gestion, de traitement : le PUB (Public Utility Board). En matière de sciences de l'environnement et de recherche sur les technologies de l'eau, le PUB joue également un rôle central en imprimant ses priorités dans les travaux du petit nombre laboratoires actifs dans le domaine de l'eau ainsi que dans le contenu des formations en sciences de l'environnement. Singapour utilise actuellement le traitement biologique et les procédés membranaires et explore les moyens de les associer dans le Membrane BioReactor (MBR). Les autres innovations attendues à Singapour et susceptibles d'être valorisées à l'étranger par le PUB et les industriels locaux concernent (1) la micro- ou l'ultrafiltration ou osmose inverse, (2) la granulation des bactéries utilisées en épuration des eaux, (3) la stérilisation par irradiation ultraviolette, et (4) l'utilisation de traitement aux ultrasons en digestion anaérobie des boues. De son côté Singapour manque encore de savoir-faire en matière de gestion à la source des eaux pluviales urbaines, de modélisation des bassins versants hydrographiques ainsi que dans l'approche multidisciplinaire des questions liées à l'eau (sciences humaines et sociales, biogéochimie, écotoxicologie,…).

INTRODUCTION

Le présent rapport résulte d'une courte visite à Singapour réalisée du 30 octobre au 3 novembre 2006 et de quatre journées de rencontres avec les représentants de :

- Trois laboratoires de recherche universitaires respectivement situés à la *Nanyang Technological University* (NTU) et à *la National University of Singapore* (NUS),
- Une entreprise (Dayen),
- Le service public chargé de la gestion des eaux, le *Public Utilities Board* (PUB), et de quatre de ses principales installations ou chantiers :
    - *Chestnut Avenue Water Works* (production d'eau potable à partir d'eau de ruissellement pluvial stockée dans une retenue),
    - *Marina Barrage* (création d'un plan d'eau et d'une réserve d'eau douce sur l'estuaire de la rivière Singapour),
    - *Changi treatment plant* (station d'épuration en construction),
    - *NEWater visitor centre* (production d'eau industrielle et potable à partir d'eau usée, préalablement traitée).

Même si ces rencontres et visites correspondent aux principales activités de gestion et de traitement de l'eau à Singapour, elles sont loin d'être exhaustives, tant pour les équipes universitaires que pour les entreprises, et sont souvent, faute de temps, restées superficielles. En conséquence, le présent rapport doit être utilisé avec prudence et une réelle expertise mériterait un travail sans doute beaucoup plus approfondi, tant ce secteur de l'eau est important et développé à Singapour.

1. LE CONTEXTE DE LA RECHERCHE ET DU DEVELOPPEMENT TECHNIQUE SUR L'EAU

1.1. Contexte

Quatre éléments définissent le contexte des activités de recherche et développement sur l'eau à Singapour.

1.1.1. La politique de développement très volontariste de Singapour

Dès l'arrivée à Singapour, 'La Cité-Etat Ambitieuse'[1], il apparaît clairement que la ressource en eau et sa gestion correspondent à un enjeu majeur, tant pour les enseignants, les chercheurs et les ingénieurs que pour le gouvernement et les citoyens. Il ne s'agit pas seulement de l'un des trois domaines prioritaires de la *National Research Fundation* (NRF), mais aussi de :

[1] (De Koninck, 2006)

- Une ouverture à l'expertise internationale, publique et privée, principalement issue des Etats-Unis et du Royaume Uni,
- Un fort soutien aux nombreuses entreprises nationales du domaine de la gestion de la ressource en eau et de son traitement par le PUB et l'*Economical Development Board* (EDB) du *Ministry of Trade and Industry*,
- Un soutien également fort des équipes de recherche universitaires, sous forme de très nombreuses études et contrats financés par le PUB, le *Ministry of Environment and Water Resources,* ou la *National Environment Agency* (NEA),
- Une volonté de valorisation et d'expansion économique en direction principalement de la Chine et de l'Inde, mais aussi du Moyen-Orient, pays qui expriment une forte demande de production d'eau potable, d'assainissement et de traitement des eaux, mais aussi de formation professionnelle.

1.1.2. La centralisation du secteur de l'eau au sein du PUB

Le *Public Utilities Board* (PUB) n'a pas d'équivalent en France. Plus précisément, ce service public, autofinancé par la production d'eau potable et l'épuration des eaux usées domestiques et industrielles, regroupe les fonctions de plusieurs organismes ou entreprises françaises. En comparant Singapour (4,2 M hab sur 680 km^2, soit 6 180 hab/km^2) à l'agglomération parisienne (Paris intra muros : 2,15 M hab sur 105 km^2, soit 20 480 hab/km^2; Méga Paris : 9,47 M hab sur 2 740 km^2, soit 3 450 hab/km^2 ; Ile de France : 11 M hab sur 12 100 km^2, soit 910 hab/km^2) le PUB joue le rôle de :

- L'Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN), pour ce qui concerne la définition de sa politique de gestion des ressources et de traitement des rejets, pour son soutien financier et technique aux opérations (réseaux, ouvrages, usines…) ainsi qu'aux études et recherches conduites en interne ou en partenariat avec des organismes publics ou des entreprises,
- La Lyonnaise des Eaux, Véolia, la SAUR ou Eaux de Paris, pour la production et la distribution d'eau potable mais aussi pour le contrôle de la qualité des ressources, pour la production et pour la recherche et développement (R&D) associés à ces activités,
- La Direction des Services de l'Environnement et de l'Assainissement (DSEA) du Département du Val de Marne ou la Direction de l'Eau et de l'Assainissement (DEA) du Département de Seine-Saint Denis, pour la définition de schémas directeurs d'assainissement de ces départements, mais aussi pour la conduite d'opérations d'assainissement ou de préservation des milieux naturels et enfin pour l'éducation, la sensibilisation des enfants (collégiens), des associations ou des citoyens aux enjeux de l'eau en France ou dans le monde entier, par exemple lors du Festival de l'Oh !
- Le Syndicat Interdépartemental d'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP) pour la collecte et le traitement des eaux usées domestiques et industrielles provenant des communes de son périmètre d'action,
- L'Association Scientifique et Technique pour l'Eau et l'Environnement (ASTEE, ex-AGHTM) pour l'animation des échanges entre les organismes publics d'enseignement et de recherche et les sociétés privées actives dans le domaine de l'eau et de

l'environnement, par exemple sous forme de conférences, ateliers, visites de sites et production de documents de référence,

- L'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (ENPC) et sa filiale Ponts Formation Edition (PFE) pour la formation continue qu'elle dispense aux ingénieurs et techniciens de l'eau et de l'environnement, mais aussi pour l'organisation de conférences scientifiques ou l'édition d'ouvrage spécialisés, comme la série des actes des Journées Scientifiques de l'Environnement (JSE) organisées depuis 17 ans pour les étudiants, doctorants, enseignants, chercheurs et professionnels du domaine de l'eau et de l'environnement (Universités Paris 12 et Paris 7, ENPC, en collaboration avec le Conseil Général du Val de Marne).

Il faudrait probablement mentionner aussi les fonctions assurées par la Direction de l'Eau du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (MEDD) pour ce qui concerne la définition de la politique française de l'eau et pour son soutien à la recherche dans ce domaine.

Il est clair que l'agrégation au sein d'un même organisme public des fonctions assurées par tous ces établissements, services et entreprises, apporte une grande efficacité dans l'usage des moyens intellectuels et financiers consacrés à la gestion et au traitement de l'eau à Singapour.

1.1.3. La limitation des ressources en eau de Singapour

Bien que située sous l'équateur (Latitude 1,5°N) et recevant en moyenne 2 360 mm/an de pluie, Singapour souffre d'une ressource limitée en eau alors que sa population est en croissance. L'image qu'utilise le PUB pour communiquer sur ce thème en direction de sa population, est celle des quatre 'robinets' actuellement utilisés pour couvrir les besoins domestiques et industriels, l'activité agricole étant actuellement très limitée (1,3 M m^3/jour) :

1. **Eau de ruissellement pluvial** sur les zones urbaines et périurbaines, stockée dans de multiples réservoirs situés soit dans l'embouchure des rivières, soit au centre et à l'ouest de la Cité-Etat,
2. **Eau potable**, produite dans des usines installées en Malaisie, et transférée par canalisations jusqu'à Singapour,
3. **Eau de mer**, après traitement en osmose inverse,
4. **Eau usée**, en sortie de station d'épuration, après un traitement supplémentaire de micro- ou ultrafiltration, osmose inverse et irradiation aux rayonnements ultraviolets ; cette eau principalement destinée à l'industrie, en particulier l'industrie électronique, est dénommée eau 'neuve' ***NEWater*** ; une faible proportion de cette eau usée, doublement traitée, est destinée à alimenter les réservoirs d'eau de ruissellement pluvial.

Cette multiplicité de sources est destinée à assurer un approvisionnement complet en eau de la population de Singapour et de ses industries, tout en s'affranchissant éventuellement de l'eau issue de Malaisie. L'importance ou le développement respectif de ces 4 'robinets' dépend donc à la fois du contexte économique et du contexte politique.

1.1.4. La forte demande en eau associée à exiguïté du territoire

L'association de cette demande importante en eau potable (1,3 M m^3/j) et de la limitation du territoire de Singapour (680 km^2), même si de nouvelles surfaces sont régulièrement récupérées sur le littoral, conduit le PUB à utiliser les techniques de production d'eau potable ou d'épuration d'eau usées, particulièrement compactes. Même si l'on n'atteint pas la compacité de certaines tours japonaises où l'eau est utilisée 3 fois avant d'être finalement traitée dans les sous-sols ou envoyée en station d'épuration, cette contrainte spatiale a amené le PUB, les équipes de recherche et les entreprises du pays à développer ou importer des techniques basées sur la filtration membranaire.

1.2. Etat des lieux

Après avoir évoqué ce contexte, **les éléments de l'état des lieux de la gestion et du traitement de l'eau apparaissent beaucoup plus clairement : ils sont généralement de bonne qualité**, même si certains aspects pourraient être améliorés (traitement à la source des eaux pluviales, élimination de l'azote et du phosphore en station d'épuration, formation supérieure scientifique et technique).

1.2.1. PUB : un service public très particulier

Comme cela a été décrit ci-dessus (§ 1.1.2), le PUB assure, de façon monopolistique, la plupart des fonctions de contrôle et d'exploitation du cycle de l'eau à Singapour :

- **La gestion des ressources en eau** destinée à la production d'eau potable : réseau de canaux de collecte des eaux de ruissellement pluvial, réservoirs, barrages, systèmes de transfert entre les divers barrages ou réservoirs,
- **La production d'eau potable et d'eau industrielle ultrapure**, tant sur le territoire de Malaisie que de Singapour et, dans ce dernier cas, à partir d'eau de ruissellement pluvial comme d'eau de mer ou d'eau usée traitée,
- **La collecte des eaux usées domestiques et industrielles** et le transfert vers les 6 stations d'épuration, en cours de remplacement par une usine en construction sur le site de Changi, à l'extrémité sud est du territoire,
- **Le traitement des eaux usées domestiques et industrielles**, le rejet des eaux ainsi traitées en mer (diffuseurs de Changi situés à 5 km de la côte, par 25 à 45 m de profondeur) ou la réutilisation partielle de cette eau usée traitée pour produire de l'eau ultrapure *NEWater*, et enfin la mise en décharge des boues après digestion, centrifugation et séchage.

A ce titre le PUB soutient les équipes de recherche universitaires et les entreprises de Singapour, en leur confiant de très nombreuses études finalisées. Il a récemment construit et aménagé son propre centre d'analyse, de recherche et développement mais aussi d'animation

scientifique et technique, le *Centre for Advanced Water Technology* (CAWT) sur un site dénommé *WaterHub,* au voisinage de l'Université NUS.

Par ailleurs le PUB assure des fonctions à caractère commercial à l'aide de sa filiale *Singapore Utilities International* (SUI) qui 'vend' son savoir faire en Chine, Inde ou Moyen Orient, tant sous forme de formation continue de techniciens et ingénieurs étrangers que de conduite de chantiers.

Enfin le PUB mène de multiples opérations de communication, d'éducation et de sensibilisation des scolaires, des associations et du public (opération en direction des *3 P* : *People, Public & Private*) afin de :

- Présenter les enjeux du cycle de l'eau à Singapour,
- Diminuer les rejets d'ordures ménagères ou d'emballages sur la voirie, dans les canaux ou les réservoirs d'eau de ruissellement pluvial : de telles actions peuvent être considérées comme des mesures non structurelles de gestion à la source des eaux pluviales[2],
- Valoriser les plans d'eau disponibles sur le territoire (parcs et constructions d'habitation et de commerce) ; c'est le cas du chantier en cours sur la rivière Singapour, dénommé *Marina Barrage*, transformant un estuaire urbain en plan d'eau à usages multiples : ses buts sont la protection du centre ville contre les inondations, l'aménagement et la valorisation du littoral, le développement des sports nautiques et la création d'une nouvelle réserve d'eau douce pour alimenter les réservoirs destinés à la production d'eau potable à partir d'un bassin versant de 10 000 ha.

1.2.2. Des équipes de recherche en concurrence

Comme dans la plupart des pays développés, les équipes de recherche sont placées en forte concurrence pour financer leurs activités de R&D. La spécificité de Singapour est que les financements de la recherche sur l'eau proviennent en très grande partie d'un seul organisme centralisateur, le PUB. Ce dernier assure parfois près de 80% des ressources des équipes universitaires du domaine. Selon des mécanismes non explicités, les responsables des programmes de R&D du PUB ou du CAWT sélectionnent les équipes de NTU ou de NUS à qui sont confiées des études à caractère fondamental ou appliqué, mais toujours finalisé.

Si la coopération entre équipes universitaires de Singapour semble faible ou inexistante, les collaborations internationales sont, elles, très significatives. Il est ainsi facile de rencontrer plusieurs étudiants ou doctorants issus de pays européens, dont la France, et des professeurs d'Australie ou d'Europe de l'Est. Par ailleurs, de nombreux cadres universitaires des NTU et NUS ont effectué leur thèse à l'étranger (Etats-Unis, Grande Bretagne ou Australie).

1.2.3. Une formation supérieure relativement peu visible

De façon fort surprenante, car Singapour est internationalement reconnue comme ayant très fortement investi dans l'enseignement supérieur public ou privé, **l'intérêt des universitaires**

[2] Elles sont listées et illustrées sur le portail documentaire développé par le programme de R&D européen DayWater (librement accessible à l'adresse : www.daywater.cz).

pour les formations supérieures dans le domaine de l'environnement ne semble pas très élevé. Deux diplômes de *Master of Science* (MSc) en *Environmental Engineering* existent respectivement à NTU et NUS : ces diplômes, principalement orientés vers le traitement des eaux, semblent essentiellement destinés à des cadres ayant plusieurs années d'activité professionnelle et souhaitant se réorienter vers ce secteur en expansion.

La part donnée aux milieux non aquatiques, comme l'atmosphère et les sols, et aux disciplines extérieures aux sciences de l'ingénieur, comme l'écologie, l'économie, la gestion, la politique, y est très faible. Cette situation est fort différente de celle de la France où de nombreux Masters en environnement ont remplacé les anciens DEA et DESS, et où la multidisciplinarité est clairement affichée[3]. Par ailleurs ces MSc en *Environmental Engineering* ne semblent pas préparer les étudiants à une connaissance ou une découverte du milieu de la recherche, le travail personnel étant apparemment limité à un travail bibliographique. Enfin, contrairement à ce qui est couramment fait dans les Masters français sur l'environnement, les industriels et administrations de Singapour comme le PUB ne semblent pas vraiment associés à l'enseignement ou à l'accueil d'étudiants sur leurs sites.

1.3. Principales observations

Que faut-il retenir de ces observations et du contexte spécifique à Singapour ?

- L'eau et l'environnement aquatique constituent des objectifs de **fort affichage politique, scientifique et économique** auxquels les habitants sont sensibles et dont ils comprennent les enjeux. Il ne s'agit pas d'une simple déclaration de Président de la République, mais d'une réalité tangible que chacun peut vérifier.
- Les fortes contraintes spatiales et la nécessité de produire les quantités d'eau potable nécessaires au développement économique et humain de la Cité-Etat ont conduit tous les acteurs concernés (administration, recherche publique et entreprises privées) à **lourdement investir dans des technologies** coûteuses et complexes à maîtriser (micro- et ultrafiltration, osmose inverse, irradiation ultraviolette) mais finalement bien adaptées aux moyens intellectuels et financiers de Singapour.
- Les équipes de **recherche universitaires ou privées** bénéficient d'un fort soutien financier continu de la part des services publics et en particulier du Ministère de l'Environnement et du PUB. Cette situation est extrêmement différente de celle rencontrée en France[4].

[3] Voir à ce sujet le Master en « Sciences et Gestion de l'Environnement » (SGE), co-habilité entre les Universités Paris 7 et 12 et l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (www.master-sge.org).

[4] L'auteur fait ici remarquer que *le soutien à la recherche en général, et à celle sur l'environnement en particulier, est, en France, fort éclaté entre de multiples acteurs*. Il note également que *le financement n'est en pratique ni vraiment à la hauteur des enjeux nationaux ou mondiaux, ni pérenne. Une illustration en est le programme de recherche interdisciplinaire sur l'environnement consacré au bassin hydrographique de la Seine (PIREN Seine : http://www.sisyphe.jussieu.fr/internet/piren/) qui, depuis plus de 14 ans, n'est pas financé par le Ministère délégué à l'Enseignement Supérieur et à la Recherche, n'est que très marginalement soutenu par le Département des Sciences de l'Univers de l'Institut National des Sciences de l'Univers (INSU) du CNRS, et ne se maintient que par un regroupement de*

2. LES PRIORITES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES[5]

Dans de nombreux domaines, en particulier celui des transports urbains (métro utilisant des rames Alsthom) ou aériens (achat des premiers modèles d'Airbus A380), Singapour recherche, sélectionne et utilise les meilleures technologies disponibles sur le marché mondial. Il en est de même dans le domaine de la gestion et du traitement de l'eau, domaine particulièrement prioritaire pour le développement de Singapour (§ 1.1.1).

2.1. Durabilité de l'approvisionnement en eau de Singapour

La croissance de l'approvisionnement en eau de Singapour, tout en favorisant son indépendance par rapport à ses voisins, constitue l'un des enjeux importants des activités scientifiques et techniques de la Cité-Etat.

2.1.1. Regroupement et amélioration des usines de traitement d'eau

Les 6 stations d'épuration d'eaux usées de Singapour sont en train d'être progressivement remplacées par une nouvelle usine située à l'extrémité sud est de l'île, à proximité de l'aéroport commercial de Changi. Une canalisation profonde dénommée, *Deep Tunnel Sewage System* (DTSS), est en cours de mise en place depuis le nord et le centre historique de l'île jusqu'à l'usine de Changi, afin de collecter l'essentiel des eaux usées domestiques[6] . Ces 2 chantiers importants sont l'illustration de la volonté du PUB de moderniser ses usines et, simultanément, de récupérer des terrains pour d'autres usages. Dans ce cadre, de nombreuses études scientifiques ont été lancées et de nombreux marchés ont été attribués à des entreprises locales.

Si la nouvelle station d'épuration de Changi, qui doit progressivement croître de 0,8 à 2,4 M m^3/j, utilise des techniques traditionnelles en France (décanteurs rectangulaires, boues activées à aérateurs à fines bulles, digestion, centrifugation et séchage des boues), l'ensemble est toutefois conçu de façon compacte dans un bâtiment fermé, comme celui de l'usine de Seine-Centre à Colombes.

---

financements associant plus de 10 partenaires (AESN, SIAAP, Direction Régionale de l'Environnement d'Île-de-France, Voies Navigables de France, Institution Interdépartementale des Barrages-Réservoirs du Bassin de la Seine, Eaux de Paris, Syndicat des Eaux d'Île-de-France, Eau et Force, Union Nationale des Producteurs de Granulats…).

[5] A l'occasion de cette mission d'expertise et afin de pouvoir répondre aux attentes de ses interlocuteurs universitaires, publics (PUB) ou privés, une synthèse des activités de R&D françaises dans le domaine de l'eau a été préparée par le Prof. Thévenot. Même si, faute de temps, cette synthèse n'a pu être présentée de façon complète, elle a permis de comparer les priorités scientifiques et techniques françaises à celles identifiées à Singapour.

[6] Il s'agit d'une canalisation d'écoulement gravitaire de 48 km de long, de diamètre compris entre 3 et 6 m, située à 40-50 m de profondeur.

2.1.2. Traitement et réutilisation des eaux usées : NEWater

Bien qu'initialement conçu pour fournir de l'eau ultrapure pour les industriels de l'électronique, le concept d'eau 'neuve' ou *NEWater,* réutilisant l'eau usée domestique comme ressource en eau de Singapour, a été l'objet de nombreuses opérations de recherche dans tous les domaines scientifiques et techniques (mise en œuvre de micro- ou ultrafiltration, de l'osmose inverse et de l'irradiation ultraviolette, avec un effort important d'analyse de traces et d'évaluation écotoxicologique). Ceci a aussi donné lieu à une grande campagne de communication et d'éducation : un centre d'accueil du public et des scolaires a été construit autour de l'une des usines produisant cette eau *NEWater*, afin d'accoutumer le public à l'idée de la réutilisation des eaux usées, même pour la production d'eau potable.

2.1.3. Communication pour éduquer et sensibiliser à l'eau

En s'appuyant sur la richesse et la diversité des moyens de communication audiovisuelle disponibles à Singapour, mais aussi en mettant en œuvre la mobilisation des scolaires et des associations de quartier ou d'activité sportive, le PUB a lancé de nombreuses opérations pour éduquer et sensibiliser la population au cycle de l'eau comme au rôle qu'elle joue dans ce cycle, en particulier dans l'économie d'eau et la gestion des déchets.

2.2. Participation au développement du marché international de l'eau

Comme pour les autres activités phares à Singapour, tels la communication ou le transport aérien, la gestion et le traitement de l'eau s'appuie aussi sur un effort d'insertion dans l'économie mondiale, qu'il s'agisse d'importer des nouvelles techniques (membranes d'osmose inverse issues des Etats-Unis) ou d'exporter le savoir faire vers des pays où les besoins en production d'eau potable et en traitement d'eau usée sont importants (Chine, Inde ou Moyen Orient).

2.2.1. Développement de techniques innovantes

Afin de dégager l'espace important occupé par les clarificateurs (décanteurs secondaires) dans l'épuration des eaux usées, le PUB finance de nombreuses recherches, sur des maquettes de laboratoire et des pilotes, destinées à associer traitement biologique et procédés membranaires : le procédé de *Membrane BioReactor* (MBR) qui n'est pas inconnu en France, fait l'objet d'investigations dans toutes les équipes de recherche rencontrées à Singapour et même de commercialisation par Hyflux.

Afin de pouvoir se placer sur le marché des procédés à membranes, certaines équipes comme l'*Institute of Environmental Science and Engineering* (iESE) étudient la production et caractérisation des membranes organiques ou céramiques de traitement de l'eau, alors que des entreprises comme Hyflux commercialisent déjà ces procédés et leurs composants.

2.2.2. Soutien des activités à l'étranger

S'il est tout à fait naturel que des entreprises comme Dayen ou Hyflux réalisent une partie importante de leur chiffre d'affaires à l'étranger, ceci est beaucoup plus original pour un service public, comme le PUB. Même si le SIAAP, le SEDIF ou l'AESN mènent des actions de coopération décentralisée, celles-ci ne contribuent pas au financement de leurs activités principales. La filiale internationale SUI du PUB a pourtant clairement cet objectif.

3. LES AVANCEES SCIENTIFIQUES ATTENDUES

En prenant en considération les efforts importants et récurrents de soutien des activités de R&D menées dans les équipes universitaires à NTU et NUS, les centres de recherche publics, comme le CAWT et l'iESE, ou les entreprises, comme Dayen ou Hyflux, de nombreuses avancées scientifiques sont attendues à Singapour dans les prochaines années.

3.1. Mise en œuvre de nouveaux procédés de traitement des eaux

3.1.1. Granulation des bactéries utilisées en épuration des eaux

Développée par l'équipe universitaire EERC et l'iESE à l'NTU, la production de granules de bactéries aérobies ou anaérobies sélectionnées (0,5 à 1 mm de diamètre) permet de mettre rapidement en route les procédés d'épuration biologique du carbone, de l'azote ou du phosphore dans les eaux usées industrielles ou domestiques.

3.1.2. Microfiltration, ultrafiltration ou osmose inverse

Encore peu utilisée en France, à part quelques usines de l'agglomération parisienne (Vigneux sur Seine, Méry sur Oise), **la micro- ou l'ultrafiltration se développent rapidement dans les usines de production d'eau potable de Singapour**. Elle permet de traiter des eaux particulièrement turbides puisque résultant de ruissellement urbain ou périurbain (après décantation dans les réservoirs). Des unités transportables sur bicyclette et énergétiquement autonomes (utilisation des pédales pour actionner les pompes), ont été développées pour les situations de crise comme celle rencontrée après le Tsunami. L'osmose inverse, généralement limitée au dessalement de l'eau de mer, est également utilisée à Singapour pour produire de l'eau 'neuve' à partir d'eau usée précédemment traitée puis micro- ou ultra filtrée.

Bien que les fibres creuses actuellement utilisées en microfiltration soient parfois d'origine étrangère, leur fabrication est spécifiquement étudiée à l'iESE et devrait prochainement être contrôlée par les entreprises de Singapour, comme c'est déjà le cas pour Hyflux.

3.1.3. Réacteurs biologiques à membranes

Si les réacteurs à boues activées sont encore utilisés en épuration d'eaux usées domestiques, même dans l'usine de Changi en cours de construction, les nombreuses études sur pilotes, tant dans les équipes universitaires qu'au CAWT ou à l'iESE, devraient rapidement aboutir à des procédés opérationnels, tant pour les eaux usées domestiques que pour les procédés de traitement embarqués sur les bateaux. Ces techniques sont déjà commercialisées par Hyflux.

3.1.4. Stérilisation par irradiation ultraviolette

Encore rare en France, sauf à proximité des zones de baignade, la stérilisation des eaux par irradiation ultraviolette est maintenant bien maîtrisée à Singapour : elle clôture, en effet, la production d'eau *NEWater*.

3.1.5. Utilisation de traitement aux ultrasons en digestion anaérobie des boues

L'équipe EERC a montré que la création de cavitations dans les fermenteurs de boues permet de réduire la taille des particules et d'augmenter la vitesse de digestion anaérobie et de production de biogaz de façon très significative.

3.1.6. Diversification des procédés de valorisation des boues

Dans une démarche très semblable à celle développée par le SIAAP, lors du doublement de la capacité de traitement de l'usine d'épuration de Seine-Amont, à Valenton, l'équipe EERC compare toutes les filières de traitement et valorisation des boues, des ordures et des déchets domestiques et industriels tant pour l'agriculture (engrais) que le traitement industriel (charbon activé) ou la construction (ciment, briques, asphalte). Encore peu utilisés à Singapour, ces procédés présentent un grand intérêt pour les pays industrialisés où la gestion des boues et déchets est un défi quotidien.

3.2. Méthodes non structurelles de gestion des eaux pluviales urbaines

Sont considérées comme non structurelles, les opérations de gestion à la source des eaux pluviales urbaines qui ne conduisent pas à d'importants travaux de génie civil, comme ceux nécessaires pour établir des bassins d'orage. Le gouvernement de Singapour a bien compris l'intérêt de telles mesures, souvent efficaces bien que peu onéreuses (portail DayWater, rubrique 'Best Management Practices' BMP). Trois types de mesures non structurelles de gestion des eaux pluviales sont facilement identifiables.

3.2.1. Actions de sensibilisation du public

Même si de nombreuses communes ou départements français conduisent régulièrement des activités de sensibilisation à l'environnement et en particulier aux comportements qui permettent de préserver la qualité de l'eau en ville[7], l'ampleur des opérations conduites à Singapour en direction des scolaires, des associations et des citoyens semble présenter une valeur exemplaire. La brièveté de cette mission n'a cependant pas permis d'analyser les procédures utilisées, ni d'estimer l'ampleur des résultats obtenus.

[7] Cf. « Festival de l'Oh ! » et charte des collégiens du Val de Marne.

3.2.2. Choix de réseau pluvial à l'air libre

L'écoulement à l'air libre de toutes les eaux de ruissellement pluvial, depuis les toitures, les trottoirs ou les chaussées, vers les canaux secs ou les rivières, permet l'identification immédiate des rejets parasites d'eau usée ou de déchets domestiques (flottants).

3.2.3. Entretien de la voirie

La voirie, ses abords et les zones piétonnes ou jardins subissent un très haut niveau d'entretien : toute feuille d'arbre ou déchet est ainsi balayé ou aspiré par des traitements au moins quotidiens, tant pour des raisons de propreté de la Cité-Etat que pour éviter le développement d'insectes vecteurs de maladies équatoriales (dengue).

4. MESSAGE AUX ACTEURS ECONOMIQUES ET POLITIQUES FRANCAIS

Cette mission fait ressortir plusieurs éléments importants pour les acteurs économiques et politiques français de la gestion et du traitement de l'eau.

4.1. Intégration des différents acteurs du cycle de l'eau

Même si les Agences de l'Eau ont établi, en France, les bases d'une bonne intégration des acteurs du cycle de l'eau, l'exemple du PUB, service public contrôlant et exploitant complètement ce cycle, depuis la récolte de l'eau de pluie jusqu'au rejet en mer des eaux traitées, semble exemplaire. Ce service non seulement produit de l'eau potable et traite les eaux usées domestiques et industrielles, mais également exporte ses activités à l'étranger.

4.2. Gouvernance des recherches sur l'eau et l'environnement

De même le regroupement, au sein du PUB, d'une importante partie de la conduite et du soutien des activités de R&D, tant publiques que privées, présente de nombreux atouts. Le volume et la pérennité des moyens financiers affectés à ce soutien des activités de R&D ne peuvent qu'attirer les meilleurs doctorants, chercheurs et ingénieurs. Il y a ici sans doute à apprendre de ce système.

4.3. Intensification des relations publiques et privées entre la France et Singapour

Les relations publiques et privées entre la France et Singapour dans le domaine de la gestion et du traitement des eaux ne sont pas inexistantes : accueil d'étudiants stagiaires ou de doctorants français, utilisation de quelques procédés d'épuration français, double diplôme et accueil réciproque d'étudiants par la NUS et l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées… Elles ne semblent toutefois pas à la hauteur des compétences disponibles dans chaque pays, ni des intérêts réciproques à échanger des connaissances, du savoir faire ou des personnes, et à mettre en place des coopérations pédagogiques (§ 5).

5. LES POSSIBLES CHAMPS DE COLLABORATION ENTRE SINGAPOUR ET LA FRANCE

La section précédente ayant identifié les domaines dans lesquels l'exemple de Singapour est significatif, cette section présente donc les thèmes d'opérations de collaboration pouvant être prochainement établies, en tentant d'identifier les acteurs concernés.

5.1. Procédés de traitement des eaux

Les procédés de production d'eau potable et de traitement et valorisation des eaux usées constituent assurément un premier thème de coopération, tant au niveau de la recherche scientifique, que du développement technique, de la production et du conseil (bureau d'études).

5.1.1. Production d'eau potable

Les principaux procédés concernés par ces collaborations pourraient être :

- La micro-, ultra- ou nano filtration sur membrane avec la production et la mise en œuvre des membranes (fibres creuses) et des modules, conduite de leur utilisation en contrôlant le colmatage des membranes et détection des ruptures des fibres (Suez Environnement, Véolia, Hyflux) ;
- L'osmose inverse avec la production et la mise en œuvre des membranes en spirale et des modules et l'étude des effets de taille des modules sur leurs propriétés (mêmes entreprises) ;
- La stérilisation par irradiation ultraviolette avec sa mise en œuvre et sa conduite (mêmes entreprises).

5.1.2. Traitement des eaux usées

- Les traitements biologiques de l'azote et du phosphore sont bien connus et étudiés par les équipes universitaires des NTU et NUS, et par le PUB, mais semblent peu utilisées, même dans les installations récentes. Le savoir faire du SIAAP, tant pour les cultures bactériennes libres (usine de Seine-Amont à Valenton) que fixées (usine de Seine-Centre à Colombes) pourrait donc être apprécié par le PUB.
- Les réacteurs biologiques à membranes sont l'objet de R&D dans les 2 pays et pourraient également donner lieu à d'intéressantes collaborations publiques et privées.

5.1.3. Traitement et valorisation des boues de station d'épuration et des déchets urbains

La large panoplie de procédés de traitement et valorisation des boues de station d'épuration mise en œuvre par le SIAAP et les industriels français, en particulier dans les nouvelles installations de l'usine de Seine-Amont, pourrait forment intéresser le PUB et les entreprises de Singapour, comme Dayen.

5.2. Gestion à la source des eaux pluviales urbaines

La collecte de l'eau de pluie, après ruissellement, constitue l'une des principales ressources de Singapour pour produire de l'eau potable : la qualité de cette eau est donc un enjeu important. Si cette collecte est conduite de façon exhaustive (réseaux de canaux à ciel ouvert, bassins et réservoirs), la gestion de sa qualité est encore peu étudiée par les équipes universitaires (projet du EERC) et n'est, apparemment, pas encore réalisée par le PUB. Les nombreuses équipes de recherche[8], les bureaux d'études et entreprises françaises spécialisées en hydrologie urbaine pourraient donc établir de fructueuses collaborations dans ce domaine, tant avec les équipes de NTU et de NUS qu'avec le CAWT du PUB. Une brève présentation des enjeux et des principaux résultats du programme européen DayWater[9] , consacré à la gestion à la source des eaux pluviales urbaines, a rencontré un vif intérêt au sein du PUB et de ses équipes associées.

5.2.1. Procédés de stockage temporaire des eaux pluviales

Pour éviter les pics de débit lors des violents orages équatoriaux, de multiples procédés de stockage temporaire pourraient être mis en œuvre : toiture en terrasse, toits enherbés, chaussées réservoir, bassins en eau… De telles opérations impliquent non seulement les spécialistes en hydrologie urbaine cités ci-dessus, mais aussi, comme illustré sur le portail documentaire de DayWater[10], des architectes, paysagistes, gestionnaires des parcs et jardins, de la voirie et des transports…

5.2.2. Procédés de traitement des eaux pluviales

Les eaux de ruissellement pluvial contenant, en milieu urbain et périurbain, de multiples contaminants (nutriments, métaux lourds, hydrocarbures aromatiques polycycliques, pesticides, herbicides, microorganismes potentiellement pathogènes…) des traitements à la source seraient utiles à la fois pour soulager le traitement en usine de potabilisation et pour améliorer la qualité écotoxicologique des bassins et réservoirs. Outre les traitements physiques (grilles, barrages flottants, hydrocyclones, décanteurs lamellaires) pour retenir flottants et particules, des traitements biologiques sont couramment utilisés en France et répertoriés sur le portail documentaire de DayWater : zones humides artificielles, fossés

[8] Cf. le programme OPUR du Cereve, l'Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine de l'INSA de Lyon.
[9] Coordination : Cereve à l'ENPC.
[10] www.daywater.cz

drainants, noues… Toutefois, contrairement à la situation française, le réapprovisionnement de la nappe phréatique par infiltration des eaux pluviales ne semble pas constituer, actuellement, un enjeu à Singapour, puisque cette ressource n'est pas (encore) exploitée.

Comme dans la plupart des pays européens, la conception et la gestion multi-usage de ces procédés de stockage temporaire et de traitement à la source des eaux pluviales semblent une approche durable pour Singapour : association de bassins en eau, de zones humides artificielles, d'espaces récréatifs et maintien de la biodiversité… permettant de concilier et d'utiliser simultanément les différentes 'valeurs' de l'eau (Thévenot, 2007).

5.3. Modélisation des bassins versants hydrographiques

Malgré la taille limitée de l'île-état et la gestion très contrôlée de l'usage de son sol (habitations, commerces, industries, espaces verts et récréatifs, transport, autoroutes…) (De Koninck, 2006), il ne semble pas que la modélisation du fonctionnement des bassins hydrographiques soit couramment utilisée par ses chercheurs et cadres environnementaux. Les divers modèles développés en France, depuis plus de 14 ans pourraient donc présenter un grand intérêt pour le PUB[11], le NEA et le *Ministry of Environment and Water Resources* dans le cadre de leur gestion de la ressource en eau.

5.4. Cycle des flux de matière

Bien que Singapour ait récemment lancé son programme ABC *Active, Beautiful & Clean*, de réaménagement urbain, en particulier sur les berges de la rivière Singapour, dans le centre historique, l'approche de bilan de matière (*Material Flow Analysis*) de la ville-état semble peu développée. Une approche globale des bilans de l'usage, des transferts et de rejet des métaux (Pb, Hg, Zn) ayant été récemment conduite par les équipes du PIREN Seine (Thévenot et al., 2007 ; Meybeck et al., 2007) pour le bassin de la Seine, il serait intéressant de proposer l'utilisation de ces méthodes à Singapour, afin d'identifier les mesures les plus appropriées pour protéger l'environnement aquatique et suivre son évolution en réponse aux pressions anthropiques.

5.5. Formation supérieure en environnement

Comme mentionné précédemment (§ 1.2.3), les formations supérieures (MSc) en génie de l'environnement ne semblent pas à la hauteur ni des moyens scientifiques, techniques ou financiers disponibles, ni des enjeux de développement de Singapour dans sa région. L'interaction, dans ce domaine, entre les équipes universitaires françaises et le PUB pourrait être renforcée. Les équipes françaises d'enseignants, comme celle du Master en Sciences et

[11] Travaux réalisés par les équipes du PIREN Seine (réseau hydrographique) ou celles du Cereve (bassins et lacs).

Génie de l'Environnement (SGE)[12], communes aux Universités Paris 7, Paris 12 et à l'ENPC, pourraient jouer un rôle moteur dans ce développement de coopération pédagogique, un grand nombre d'entre eux ayant déjà l'expérience de collaborations internationales en anglais. Les thèmes suivants pourraient être proposés lors de tels échanges d'expériences pédagogiques. Des représentants du PUB (SUI et CAWT), du NEA et du *Ministry of Environment and Water Resources* seraient bien utiles dans de telles discussions.

5.5.1. Biogéochimie des milieux aquatiques

Les mécanismes de réactions biogéochimiques présents dans les plans d'eau et les rivières, tant dans l'eau qu'à l'interface avec les sédiments, jouent un rôle essentiel dans le contrôle de la qualité de la colonne d'eau. Leur suivi par mesures *in situ* et leur modélisation pourraient être conduits sur les bassins, réservoirs et rivières de Singapour ou des pays voisins, afin de définir de façon plus efficace les mesures les plus appropriées pour améliorer la qualité de cette ressource en eau.

5.5.2. Bassins versants hydrographiques : modèles

Bien que différents par leurs climats et leurs conditions hydrographiques, la modélisation du fonctionnement des bassins versants équatoriaux présente des points communs avec celle des masses d'eau européennes. Même si la Directive Cadre sur l'Eau de décembre 2000 n'a aucune raison d'être automatiquement transcrite dans les lois et règlements de Singapour, son esprit et en particulier la programmation du retour de la qualité des masses d'eau à un bon état écologique, représente un enjeu important pour la NEA. Un enseignement dans ce domaine semble donc tout à fait nécessaire afin de préparer les étudiants à leur futur rôle dans ce domaine, ainsi qu'à l'usage d'outils de modélisation conduisant à l'établissement de Schémas Directeurs.

5.5.3. Données environnementales : représentativité, contrôle qualité

La métrologie environnementale présente plusieurs spécificités. La première concerne la représentativité, pour les objectifs qui sont fixés, de l'échantillonnage et de la mesure. La seconde provient de la complexité des matrices environnementales et de la nécessité d'un contrôle rigoureux de la qualité des mesures et de leur traçabilité, en particulier pour les micropolluants et les paramètres microbiologiques. Plusieurs équipes universitaires françaises et singapouriennes pourraient collaborer pour définir le contenu d'un tel enseignement à caractère plus scientifique que technique, mais essentiel pour l'apprentissage de la rigueur en métrologie environnementale et de la prudence dans l'exploitation des résultats.

5.5.4. Sciences humaines et environnement : économie, politique, gestion

Comme le PUB l'a découvert et mis en pratique depuis longtemps, la gestion de la ressource en eau n'est pas seulement contrôlée par des paramètres physiques, chimiques ou biologiques mais passe aussi par le comportement des citoyens et plus généralement par leur intérêt pour

[12] www.master-sge.org

la préservation de l'environnement. Il apparaît donc indispensable de compléter les enseignements de physique, chimie, biologie et mathématique appliquée, par celui de l'économie, de la politique, du droit et de la gestion de l'environnement. Cette multidisciplinarité ne semble pas suffisante dans les actuels programmes de MSc *Environmental Engineering* à NTU et NUS.

5.5.5. Pays en voie de développement

En prenant en considération le statut et le rôle de Singapour, comme pays développé, dans l'économie mondiale, les objectifs de développement du millénaire et, en particulier, la réduction de 50% en 2015 des populations n'ayant pas accès à l'eau potable et à l'épuration des eaux usées, devraient également impliquer son administration et ses cadres scientifiques. Un enseignement sur les enjeux et mises en œuvre de l'accès à l'eau, des traitements rustiques (lagunage) et de la réutilisation/valorisation des eaux usées et des sous produits de leur traitement (algues, plantes…), semble donc important pour les futurs cadres environnementaux de cette région du globe[13].

[13] Les chercheurs du Cereve ont récemment mis en place un enseignement de ce type au sein de la spécialité 'Systèmes Aquatiques et Gestion de l'Eau' (SAGE) du Master SGE.

6. ANNEXES

Sites Internet et contacts (courriels)

- **Gouvernementaux**

Ministry of Environment and Water Resources ..... http://www.mewr.gov.sg/
National Environment Agency (NEA) ..... http://www.nea.gov.sg/

Public Utilities Board (PUB) ..... http://www.pub.gov.sg/
Kah Poh PENG, Director, InfoComm Department ..... peng_kah_poh@pub.gov.sg
Aik Num PUAH, Deputy Director, Technol. & Water Quality Office ..... puah_aik_num@pub.gov.sg
Centre for Advanced Water Technology (CAWT) http://www.sui.com.sg/CAWTWebpage/CAWTIndex.htm
Bala VISWANATH, Senior Assistant Scientist, Advance Water Reuse Technologies .....
Singapore Utilities International (SUI) ..... http://www.sui.com.sg/
Rajiv DIXIT, Senior Vice President, Business Development ..... ddrajiv@cawt.sui.com.sg
Dr Paul Stephan KLOSE, Senior Vice President, Project Development ..... psklose@cawt.sui.com.sg

- **Académiques**

  - **Nanyang Technological University (NTU)** ..... http://www.ntu.edu.sg/

Environmental Engineering Research Centre (EERC) ..... http://www.ntu.edu.sg/Centre/wwweerc/eerc.htm
Prof. Jing-Yuan WANG, Director ..... jywang@ntu.edu.sg
Prof Eng Ban SHUY ..... cshuyeb@ntu.edu.sg
Institute of Environmental Science and Engineering (iESE) ..... http://www.iese.ntu.edu.sg/
Prof Joo Hwa TAY, Director & CEO ..... jhtay@ntu.edu.sg
Mrs Rong WANG, Deputy Centre Director ..... RWang@ntu.edu.sg
David Tee LIANG, Director, Advanced Clean Energy Centre ..... dtliang@ntu.edu.sg

  - **National University of Singapore (NUS)** ..... http://www.nus.edu.sg/

Centre for Water Research (CWR) ..... http://www.ese.nus.edu.sg/CWR/index.html

Prof Say Leong ONG, Director ..... eseongsl@nus.edu.sg
Mrs Jiangyong HU, Prof, Deputy Head ..... esehujy@nus.edu.sg

- **Privés**

Singapore Water Association ..... http://www.swa.org.sg/index.php
Hyffux Ltd ..... http://www.hyflux.com/main.html
Dayen Environmental Ltd ..... http://www.dayen.com.sg/

Meng Chuan KOH, Project Director ..... mckoh@dayen.com.sg

Références

De Koninck R. (2006) Singapour, La Cité-Etat Ambitieuse. **La Documentation Française**, Ed. Belin, Paris, ISBN 2-7011-3964-3, 176 pp.

Meybeck M., L. Lestel, Ph. Bonté, R. Moilleron, J-L. Colin, O. Rousselot, D. Hervé, C. de Pontevès, C. Grosbois and D.R. Thévenot (2007) Historical perspective of heavy metal contamination (Cd, Cu, Hg, Pb, Zn) in the Seine River basin (France) following a DPSIR approach (1950-2005). **The Science of the Total Environment**, *sous presse.*

Thévenot D. R. (éd.) (2007) DayWater: an Adaptive Decision Support System for Urban Stormwater Management, International Water Association (IWA), *sous presse*.

Thévenot D. R., R. Moilleron, L. Lestel, M-C. Gromaire, V. Rocher, Ph. Cambier, Ph. Bonté, J-L. Colin, C. de Pontevès and M. Meybeck (2007) Critical budget of metal sources and pathways in the Seine River basin (1994-2003) for Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb and Zn. **The Science of the Total Environment**, *sous presse.*

Singapour-Gestion-Eau-DT-2006-12-20.doc