

**THEME No.2**

*Water*  
IRC International Centre  
and Sanitation Centre  
Tel. +91 7090 21190  
Fax +91 7090 21191

# RECYCLING OF WASTEWATER AND ITS BY-PRODUCTS

71-16035

# PRESENTATIONS

- 08h35 to 08h50      MANAGEMENT PRACTICES IN THE RECYCLING OF WASTEWATER:  
AGRICULTURAL AND INDUSTRIAL APPLICATIONS IN AFRICA  
*By Pier MANTOVANI (DMWW/CGE)*
- 08h50 to 09h05      RECYCLING OF TREATED WASTEWATER FOR GOLF COURSE  
IRRIGATION, CASE STUDY: BEN SLIMANE  
*By A. FOURLANE & B.A. YOUNGUBI (ONEP)*
- 09h05 to 09h20      RECYCLING OF WASTEWATER AND ITS SUB-PRODUCTS  
*By Cissé GUELADIO (EIER)*

LIBRARY IRC  
PO Box 93190, 2500 AD THE HAGUE  
Tel.: +31 70 30 689 80  
Fax: +31 70 35 899 64  
BARCODE: 16035  
IN LO. 71 UAW500

# SANITATION: RE-USE OF WASTEWATER AND ITS BY-PRODUCTS IN AFRICA

*Contributors : Generale des Eaux  
Durban Metro Water & Waste  
Pier Mantovani, Generale des Eaux*

# **Title: Issues and Practices in Wastewater Re-use Planning: Agricultural and Industrial Applications in Africa**

## **ABSTRACT**

The fast development of urban and suburban communities is confronted with the finite nature of water resources available to meet growing demands. In a trend not limited to semi-arid zones, many African cities already experience seasonal or chronic water supply deficits, while facing the risk of overdrafting or polluting existing resources. In such communities, planned water reclamation and reuse offers the opportunity to create an economically valuable water resource and to attenuate water deficits. It also fosters environmental conservation by limiting both overdrafting of water supplies and discharges of municipal effluents. Water reuse can thus be an important component of any integrated water resources management strategy.

Water reuse for nonpotable applications, or nonpotable reuse, remains to this day the dominant practice. Potable reuse remains an ill-perceived, easily controversial practice, restricted to situations of extreme water deficit. Common nonpotable reuse applications include agricultural and landscape irrigation, industrial uses and environmental uses. Nonpotable reuse features moderate treatment costs and is strongly accepted by users because its sanitary risks are well identified and controlled. Implementation of nonpotable water reuse systems is facilitated by the existence of regulatory guidelines as well as proven processes, such as those recommended for irrigation by the World Health Organisation in 1989. Nonpotable water reuse also features unique planning challenges linked to the need to distribute and sell the reclaimed water. Challenges include the identification and development of durable markets for an often ill-perceived “reclaimed water” product; the funding and recovery of a hefty dual distribution system investment; the competition of subsidized drinking or irrigation water supply alternatives; the set-up of a third new service amidst existing water supply and sewerage agencies, etc.

Recognizing this, the Water Environment Research Foundation (WERF) has commissioned an assessment of nonpotable water reuse planning and management practices. Such study encompassed sixty-five international nonpotable reuse projects to document planning and management approaches for agricultural, urban or industrial reuse projects, in both advanced and developing countries. Findings confirm that in addition to operational performance, sound institutional arrangements, conservative cost and sales estimates and good project communications are the basis for project success.

Following a review of the main findings and conclusions of the study, two African case studies are developed to illustrate the diversity in technical, commercial, institutional and financial approaches available to ensure long-term sustainability of industrial and agricultural reuse projects:

The first deals with a small agricultural reuse system in Tunisia. Implemented as part of a national water reuse program, the Ouardanine (Monastir) project integrates a wastewater treatment plant with 50 ha of irrigated land and orchards. Benefitting from 10 years of previous Tunisian water reuse planning and management experience, this second generation project started operations in 1995. It has eliminated raw wastewater discharges to the environment, while sustaining strong new economic activity for a farmers association.

The second case study is radically different context: The Southern Works project in Durban, South Africa features large-scale water reuse for industrial applications. Implemented as a private concession for Durban Metro Water Service, this project will provide 47 Mld of high quality process water to various neighbouring plants, including a paper manufacturer. Upon start-up in 2000, this project will cut effluent discharges to the environment and free a significant volume of drinking water for human consumption. It will also afford large process water supply savings to the manufacturers. Long-term sustainability of the project is promoted by innovative contracting and risk-sharing solutions that apply between the community, the private contractor, and its industrial users.

## KEYWORDS

Water reuse, nonpotable, planning and management, Tunisia, South Africa

### 1. INTRODUCTION

Urban water demands are escalating, driven by unprecedented urban and economic development. As withdrawals from existing water supplies approach or exceed renewal capacity, the development of new supplies is opposed by mounting costs and environmental constraints. Concurrently, expanding urban areas are under pressure to reduce the environmental and health impacts of their wastewater discharges. Many African cities already experience seasonal or chronic water supply deficits, with mounting risks of overdrafting and contaminating their sources of supply.

Once limited to sites with extreme arid-zone water deficits, or with exceptionally stringent effluent disposal constraints, reuse of reclaimed wastewater is an increasingly strategic water management option for growing communities worldwide. By creating a new resource while

reducing effluent loads, water reclamation and reuse is emerging as a strategic component of integrated urban water management. Because of eased public acceptance, well-controlled health risks, and more comprehensive regulatory guidance, nonpotable reuse applications have so far been widely preferred over potable ones.

While substantial technical and operational expertise has thus been developed for such nonpotable applications over the past 30 years (USEPA, 1992), utility planners and managers are still faced with challenging institutional, legal, and liability issues inherent to reclaimed water service. Furthermore, because of unique jurisdictional and market constraints, the economic benefits and financial performance of nonpotable reuse projects remain difficult to assess and maximize. Reclaimed water service has aptly been described as a third utility function (WERF, 1992), with distinct operational and management imperatives. For traditional water supply and sewerage agencies, its implementation represents a significant business diversification. Around the world, risks associated with such planning and management uncertainties have become more crucial for project implementation and sustainability than optimized design and operations. The potential outcome of inaccurate planning assumptions, non-optimal service areas, non-competitive pricing or poor project communications is a common failure to achieve reclaimed water distribution goals, thereby falling short of environmental and financial objectives.

## 2. AN OVERVIEW OF NONPOTABLE REUSE

Figure 1 illustrates the concepts and typical applications of water reuse. Nonpotable reuse is defined as the beneficial use of reclaimed municipal wastewater effluent, for applications that do not require potable quality.

Ranked in order of decreasing consumed volumes, these include agricultural and landscape irrigation, industrial uses (cooling, processing and washing) and environmental uses (aquifer recharge, pond and stream restoration). Municipal, commercial and residential uses

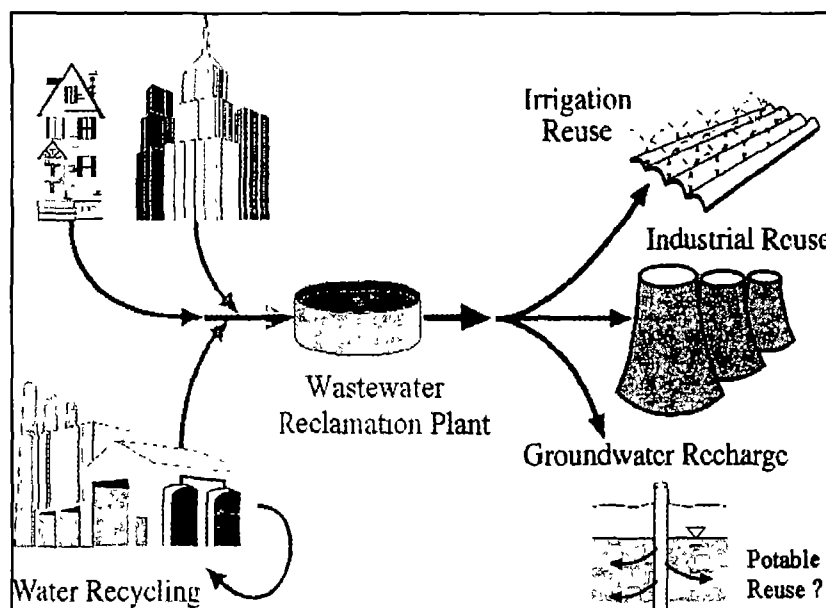


Figure 1: Nonpotable water reuse concepts & applications

may also include toilet flushing, fire protection, garden watering, and creation of ornamental or recreational water bodies. Recharge of reclaimed water into a drinking water aquifer, within the capture zone of water supply wells would rank as indirect potable reuse.

Inherent advantages of nonpotable water reuse are that it allows to:

- serve various nonpotable demands,
- conserve freshwater resources for higher quality uses such as potable supply,
- provide an alternative to effluent discharges to the environment.

Reclaimed water is furthermore available near urban centres, and represents a practically drought-proof resource. As long as they avoid ingestion by humans, well-operated nonpotable reuse systems are also very safe, with no documented case of public health impact in the USA.

Besides usage restrictions, two defining constraints of nonpotable reuse include:

**Dual distribution costs:** Dedicated conveyance lines are needed to carry reclaimed water from production to consumption. The capital and operating costs of such distribution systems are extremely variable, depending on the volume, distance, and fragmentation of the reuse applications served. They often however represent the biggest single cost in a nonpotable reuse system. In urban applications, this call for the installation of dual-distribution systems, in which reclaimed water lines run adjacent to drinking water lines. Compared to retrofits in existing urban areas, dual-distribution capital costs can be significantly reduced in new developments, through the concurrent installation of potable and nonpotable lines.

**Market development challenges:** Most nonpotable reuse systems rely on sales of reclaimed water to achieve their cost recovery objective. However, the development of a permanent nonpotable water customer base represents the most significant challenge for the reuse agency. Beyond public outreach programs needed to convince potential users of the justification and innocuity of reclaimed water service, reuse agencies need to competitively displace potable water usage. Successful pricing, marketing and connection assistance programs are needed to that effect.

### 3. A SURVEY OF NONPOTABLE REUSE MANAGEMENT PRACTICES

To promote sustainable nonpotable reuse, the Water Environment Research Foundation (WERF) (Alexandria, Virginia, USA) has sponsored an international review of nonpotable reuse planning and management experiences.

Conducted by Générale des Eaux, in collaboration with Metcalf & Eddy Inc., the University of California and the University of North Carolina, the research relies on an extensive literature review, a management survey encompassing 65 systems (see Figure 2), and the development of thematic case studies. Validated survey responses were obtained

for operating systems in Australia (3) , Canada (1), China (2), France (1), Israel (1), Japan (2), Namibia (1), Oman (1), Portugal (2), Spain (9), Tunisia (3), and the United States (40).

All major nonpotable reuse applications were covered, including agricultural irrigation, landscape irrigation, groundwater recharge, environmental enhancement, industrial cooling and processing, toilet flushing and fire fighting. Production capacities ranged from less than 4 million litres per day (MLD) to over 400 MLD. Industrial on-site recycling systems and municipal land treatment systems were not included in the survey.

The research aimed in particular at documenting proven and original planning and management solutions, as experienced on operating systems, focusing on eight categories of issues:

- Institutional framework and management structures
- Planning processes, including market assessments
- Regulatory compliance and permitting
- Economic analysis and costs/benefits allocation
- Financial feasibility and pricing strategies
- Legal & liability issues of reuse, including water rights
- Programs for community education and participation.
- Marketing strategies for growth and sustainability of reuse.

The data gathered was qualitatively analyzed for trends and exceptions. Given the survey sample heterogeneities, limited quantitative analysis was performed with no claim to statistical significance.

The research also created a new information resource for the water reuse industry, in the form of a dedicated water reuse management website and database. Initially reserved to participating agencies and WERF subscribers, such website includes a searchable database of nonconfidential survey data (encompassing the eight selected management topics listed above), summaries of data analysis results, thematic case studies, as well as industry reference information, contacts and links. The website also features an extensive bibliography of reuse management issues, and downloadable sample documents (studies, policies, contracts, ordinances, brochures,...) offered by respondents for the benefit of other reuse planners.

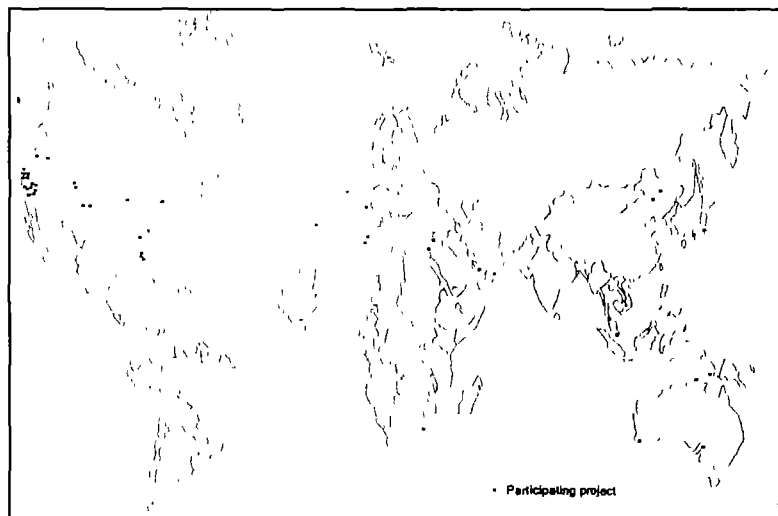


Figure 2: Geographical distribution of surveyed nonpotable reuse systems



Participation of additional agencies, through online registration and data entry, is possible and encouraged to enhance the content and scope of this new water reuse planning and management resource.

#### **4. FINDINGS SUMMARY: NONPOTABLE REUSE MANAGEMENT ISSUES**

##### **Institutional framework**

The success of a water reuse system can be significantly impacted by the structure of the agency or agencies that conduct its planning and management. There are four general planning and management structures have been identified in water reuse systems – projects planned and implemented by a water supply agency, those led by a wastewater agency, -led projects, integrated agency-led projects, and others. This latter category includes of ad-hoc reuse agencies that interface with local sewerage and water agencies to supply reclaimed water over regions that may overlap jurisdictional boundaries. An integrated agency structure was the most prevalent among survey respondents.

In spite of the different interests that each of these types of agencies possess, there was an underlying concern for the cost of developing new water resources that led to the development of many of the projects. Coordination between agencies is important to ensure that unintended impacts such as revenue losses from reduced potable water sales are not incurred. Integrated agencies would appear to have an inherent advantage from this standpoint, as well as a reduced number of interagency agreements. Numerous successful projects have nevertheless been developed by non-integrated agencies. The key to success is communication between those agencies that may be impacted by the reuse project, either directly or indirectly.

##### **Economic analysis, cost & benefit assessment**

Economic analysis aims at determining if a reuse project is economically justified, by comparing project benefits and project costs in monetary terms. For nonpotable water reuse projects, such economic justification is often difficult to ascertain, because of:

- Uncertain reclaimed water sales
- Uncertain displaced freshwater volumes,
- Challenge to assess all costs and benefits, including those of other agencies
- Need to select an optimal planning area and project size to maximize benefits.
- Difficulty in assessing the non-tangible benefits of reuse.

Tangible cost and benefits, specific to reclamation and reuse, are monetary in nature:

- Additional treatment costs
- Reclaimed water distribution and storage costs
- Customer service retrofit and training costs (very often neglected among surveyed projects)
- Savings in avoided water supply capital and operating costs
- Savings in avoided wastewater effluent treatment and disposal costs
- Savings in avoided permitting costs
- Shortfalls in potable water billings and revenue

Intangible costs and benefits are more difficult to quantify in monetary terms, and include: service reliability, public health protection, watershed protection and environmental restoration, and local economic development. Intangible benefits were systematically unaccounted in the economic rationales of surveyed systems.

### **Financial analysis and pricing strategy**

Financial analysis determines if a project can be financed, by assessing that operating revenues will cover operating and debt service costs. Like any other water infrastructure projects, capital funding for water reuse can originate from bonds, governmental loans and grants, as well as capital contribution by stakeholders (developers, industrial users, etc.). Water pricing rationale for most surveyed projects is driven by the need to provide incentives to potential customers, and discounting of reclaimed water is considered as the most effective incentive to displace potable water. Only a minority of projects aim their pricing strategies at full cost recovery. By aiming for partial cost recovery, most projects therefore rely on intra-agency or interagency transfers for financial viability. Such transfers are fully justified when valuing the full benefits of the reuse program.

Factors entering into price setting prior to discounting include:

- Marketability of reclaimed water quality
- Cost of distribution
- Cost of Retrofitting
- Fertilizer content value
- Reliability

A wide variety of rate structures are applied, including: Flat monthly charges (e.g. \$/irrigated ha/month), quantity per unit volume (e.g. \$/m<sup>3</sup>), base fee + quantity per unit volume, declining block rate, “take-or-pay” guaranteed lump sum, etc.

All surveyed rates result in reclaimed water prices lower than local potable water prices. In about one-third of surveyed US projects, the reclaimed water price approached that of potable water (i.e. greater than 75% of potable water price).

## **Managing risk & liabilities**

While the regulations governing reclaimed water are fairly well known, the legal issues, such as risk and liability, associated with its use are much less publicized. Historically, adherence to water quality standards has been used to minimize health and safety risks to both users and producers of reclaimed water. Contractual agreements between the retailer and the user is the primary means of limiting liability as they relate to quality and/or quantity of reclaimed water, public health issues, and personal injury and property damage claims. Water reuse agencies have also used pilot studies to assess their risk and limit liability, particularly in instances of innovative reclaimed water uses.

To date, the liability and risk associated with the production and use of reclaimed water has not manifested itself. Development of conservative water quality standards and the diligence of the reuse agencies are the two primary reasons for this. Careful consideration of the allowable uses of reclaimed water and restrictions to insure that these uses are practiced in a safe and responsible manner appears to be a trademark of the successful programs.

## **Public outreach**

With the exception of single user (institutional/industrial) projects, public outreach and education programs are an essential component of the planning of reclaimed water service. Compared to overall program costs, public outreach initiatives are very inexpensive. They do however always generate greater public and stakeholder acceptance of the project, and usually overcome the instinctive aversion of potential customers towards reclaimed water.

While different types of outreach efforts (mailings, meetings, videos, ...) may be aimed at specific audiences (general public, customers, public officials, press,...) with different goals, there is consensus among surveyed projects on the need to pro-actively initiate such efforts during the planning phases of the project.

## **Marketing and growth strategy**

Marketing is one of the keys to success of reclaimed water projects. A great diversity of strategies are being applied to promote the adoption and the consumption of reclaimed water by the targeted customer base. Essentially however, new customers are gained through either voluntary (i.e. incentive-driven) participation, or mandatory adhesion. The vast majority of projects relies on voluntary participation, in spite of the often significant associated risk of insufficient deliveries and revenue shortfalls. This may denote a lack of political will or backing to impose mandatory adhesion. Short of mandatory adhesion, aggressive and flexible technical and financial assistance to customer connection retrofitting is a very effective incentive for securing reclaimed water demand.

## **CASE 1: OUARDANINE, TUNISIA: LOCAL IMPLEMENTATION OF A NATIONAL POLICY**

Since the early 80's, Tunisia has been one of the leading promoters of agricultural reuse of treated wastewater. It is in fact one of the very few countries in the mediterranean basin that have elaborated and implemented a national reuse policy and regulations. Early agricultural reuse systems were implemented by the Ministry of Agriculture in collaboration with the National Sewerage & Sanitation Agency (ONAS), and include the Cebela irrigation schema on the outskirts of Tunis. Planning and implementation of such early schemes suffered from insufficient market studies and understanding of growers priorities (Bahri, Brissaud, 1993).

The Ouardanine irrigation scheme, near Monastir, offers an example of second generation system. Until 1995 Ouardanine lived with the impacts untreated sewage discharged into the Oued Guelta. Environmental degradation combined with limited employment opportunities contributed to many local youth leaving this rural town. Called to remediate the untreated discharge situation, ONAS was met with pressing demands by local farmers to reclaim the water for irrigation. While ONAS implemented an oxydation ponds treatment system, the Regional Commissariat for Agricultural Development (CRDA) elaborated an irrigation scheme project with the farmers regrouped in a formal Growers Association (AIC). AIC was responsible for site selection, land rights resolutions and culture selection. This has allowed to ease use restrictions and avoid rejection of reclaimed water by users.

Fifty hectares of drip-irrigated land were developed, as orchards and pastures. In the absence of disinfection, irrigation of raw vegetables cannot be allowed. Infrastructure costs were covered by the Government budget, including a 2.5km pipeline. Since the start of operations, operating costs have been covered by the Government budget (75%) and by the growers (25%).

The project is considered successful in that it has achieved its environmental goals, while creating a new year-round economic activity (irrigated cultures) and jobs in Ouardanine. The project was a success in that it created a new resource, and committed new users to it, by informing and involving them since the early local planning stages.

The limited ability of beneficiaries to pay for the full-cost of reclaimed water is expected to improve as the orchards reach maturity. Expansion of irrigation capacity and irrigated surface is being considered.

## **CASE 2: DURBAN, SOUTH AFRICA: MUNICIPAL PRIVATIZATION & RISK-SHARING**

In order to better manage and conserve local water resources, Durban Metro Council has opted to implement water reclamation & reuse, in particular for industrial applications. To this end, the Southern Wastewater Treatment Works is being retrofitted with advanced tertiary treatment processes to produce high grade reclaimed water, compatible with the uses of neighboring industries, among which paper manufacturer Mondi. Limited pipe laying is also necessary to link the reclamation plant to the points of delivery.

Under an innovative project management approach, private contractor OTV was selected for a 20-year contract to design, build, own, operate the necessary facilities, and eventually transfer their ownership back to the City. The facilities consist primarily of tertiary treatment processes (coagulation, flocculation, filtration, disinfection) added to existing secondary treatment processes at the Southern Wastewater Treatment Works (see Figure 3). Under this scheme, the contractor also took responsibility for the guaranteed delivery and sale of 42 MLD of high quality reclaimed water to the industrial clients (47 MLD capacity). This supply will cover all process water needs of these industrial users.

Prior to designing the facilities, it was necessary to characterize the feed effluent quality to insure that the reclaimed water could meet the very stringent quality specifications set by Mondi, the system's largest client, and previously a user of potable water. Under average flow and load conditions, the contractor determined that the specifications could be met and guaranteed.

Accordingly, the project was designed to produce reclaimed water compatible with the intended industrial uses for an average price of 1.79 Rand/m<sup>3</sup>, thus affording savings of 0.72 Rand/m<sup>3</sup> over prevailing potable water rates. While committing to offer such significant savings to the users, OTV will recoup its cost by assessing them a connection fee and usage fees. The usage fees include capital cost amortization and operating expenses as well as a tax to reimburse the City for loss of potable water revenue. Users are guaranteed water delivery quotas that include quality, quantity, and pressure criteria, but are also committed to pay for the water whether or not it is used.

In case the quantity or quality influent primary wastewater supplied by Metro Durban to the contractor were to significantly decline (as contractually defined by a set of "baseline" values of 24 water quality parameters) operational storage and a potable water backup system will guarantee acceptable continuous deliveries to users. Beyond a certain deductible carried by the contractor, users are to be charged By Law Price for all potable water necessary to meet the Quality Specification and quantity demand.

Through this innovative contractual mechanism, Durban Metro Council achieves its goals of more sustainable water management, while shedding most technical and commercial risks of reuse service to a private contractor.

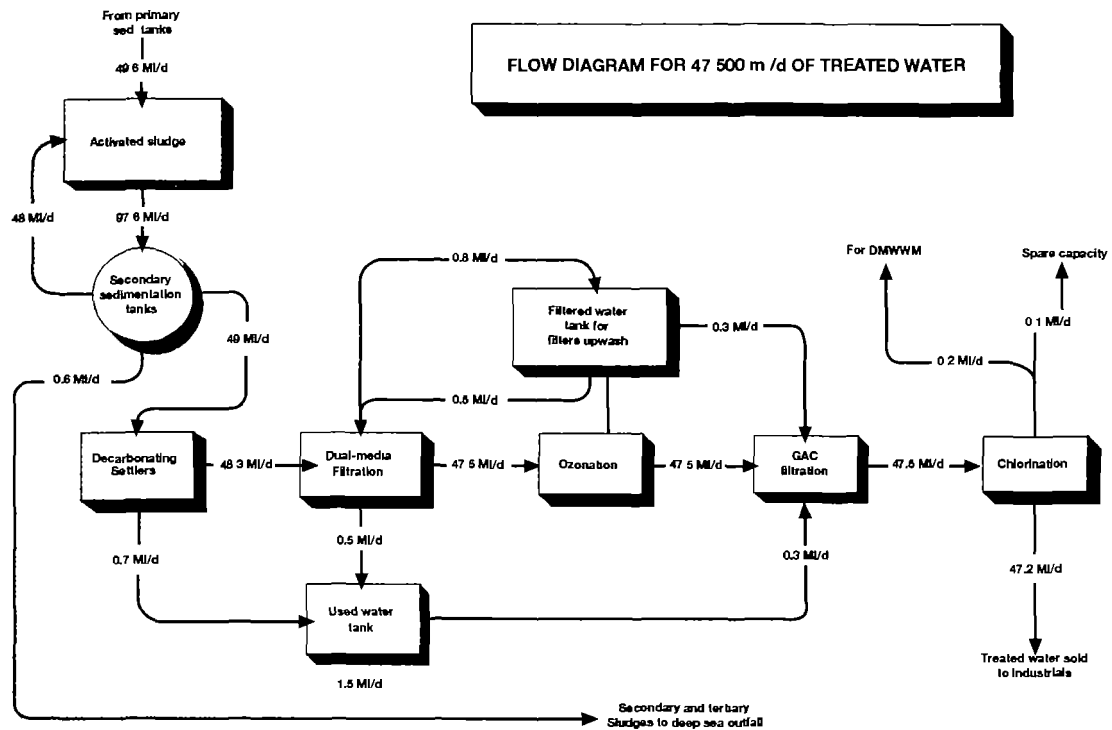


Figure 3: Durban Southern Works: Advanced Treatment Train for Industrial Reuse

### ACKNOWLEDGEMENTS

This article is in part based on research performed by Générale des Eaux (Paris, France) and Metcalf & Eddy Inc. (Wakefield, Massachusetts) for the Water Environment Research Foundation (Alexandria, VA, USA).

**RE-USE OF TREATED  
WASTEWATER FOR GOLF COURSE  
IRRIGATION, CASE STUDY:  
BEN SLIMANE**

*By A. FOURLANE & B.A. YOUNGUBI (ONEP)*

## TABLE OF CONTENTS

	Page
ABSTRACT.....	15
I - INTRODUCTION.....	16
II - PRESENTATION OF THE WWTP BEN SLIMANE .....	17
III - WASTEWATER TREATMENT PLANT PERFORMANCES .....	18
Methodology.....	18
Overall Plant Performance.....	19
IV - REUSE OF TREATED WASTEWATER FOR IRRIGATION.....	20
Regulatory Aspects.....	20
Prevention and Health Safety Measures .....	21
V - ECONOMICAL STUDY.....	22
Saving of Drinking Water .....	22
Cost Estimation.....	23
VI - CONCLUSIONS .....	23
REFERENCES .....	24



## Abstract

Commissioned in July 1997, the Wastewater Treatment Plant (WWTP) of Ben Slimane, located about 80 km away from the city of Rabat, is a result of a partnership in the field of public sanitation between the municipality of Ben Slimane, the National Office of Drinking Water (ONEP) and the Company Morocco Engineering Recreations Development (MILD). Financially supported by the Canadian Government, this project is part of the global strategy, which aims at environment protection and saving of water through the reuse of treated sewage for irrigation of the Golf course and recreation area of the city of Ben Slimane and possibly the alongsided agricultural fields.

The wastewater treatment system established in Ben Slimane is based on a combination of natural waste stabilisation ponds, improved by slight aeration and completed by a polishing system of deep reservoirs.

The follow up of the plant achievements during 1998 has shown that:

- \* the WWTP performance in terms of removal of carbonaceous and microbiological pollution is sufficient
- \* the bacteriological and parasitological analysis of effluents do show very satisfactory results taking into consideration the Guidelines of the World Health Organization (WHO) related to irrigation of golf courses.

Given this satisfactory treated wastewater quality of the WWTP Ben Slimane, the reuse of these treated effluents for irrigation of the first part of the Ben Slimane Golf course, formerly irrigated by drinking water, has started as from August 1998. This approach has allowed for:

- \* an estimated average saving of drinking water of around 1,000 m<sup>3</sup>/d for the city of Ben Slimane. This saving of drinking water might be doubled or tripled by the end of the projected second part of the aforementioned Golf course.
- \* a positive delay in reaching the saturation stage of the drinking water supply programme of the city of Ben Slimane.

Furthermore, it is worth to note that awareness actions for the benefit of treated wastewater reusers (Golf management) have been carried out and aimed mainly at the setting up and the respect of prevention measures for the staff working in direct contact with these effluents in order to avoid any sanitary risk.

## I - INTRODUCTION

The reuse of treated wastewater for different purposes and particularly for irrigation is a practice, which is of growing importance all over the world and specially in countries with arid and semiarid climates. In Morocco, annual sewage production rates in urban areas are estimated at around 500 hm<sup>3</sup> (1). In this effect, and taking into account the vulnerability of the country during periods of prolonged cyclical drought, these waters may be considered as a precious hydric resource, whose reuse for irrigation can be conceived as a means to conserve fresh water sources, which is steadily becoming rare. In this context, several investigations have been carried out in different regions of Morocco to promote a rational and mastered reuse of treated wastewater in agriculture : Ouarzazate (2), Marrakesh, Rabat (3) and Agadir (4).

Thus, the aim of wastewater treatment shall contribute not only to the protection of hygiene and public health, to the preservation of water resources, but also to the mobilization of hydric resources in the context of its rarity. Proper wastewater management is considered as an essential component of the development of the drinking water sector.

In this spirit and within the framework of an exemplary partnership in the field of sanitation, linking together the Municipality of Ben Slimane, being the entity in charge of wastewater purification, the company MILD (Maroc Ingénierie Loisirs Développement) acting as a private contractor in charge of the operation of the WWTP and ONEP (National Office of Drinking Water) as a public operator, the project of realisation of a wastewater treatment plant for the city of Ben Slimane was initiated. This plant could only be realised with the financial support by the Government of Canada granted to this project through ONEP.

The document hereby presents succinctly the performance results of the WWTP Ben Slimane with the corresponding investigations carried out jointly by ONEP and MILD during 1998. It also shows the practical application and the beneficial economical effects of the effluent reuse for the irrigation of the Golf course of the city of Ben Slimane.

## II - PRESENTATION OF THE WWTP BEN SLIMANE

The WWTP Ben Slimane, located about 50 km away from the city of Rabat, is based on the typical waste stabilisation pond system and is designed for a wastewater flow of 5,600 m<sup>3</sup>/d in order to meet the needs of the urban centre at least until the project horizon of the year 2010.

The present population of this city is around 37,000 inhabitants.

The major objectives of this WWTP are as follows :

- \* the protection of both the environment and public health
- \* the creation of an additional hydric resource through the reuse of treated wastewater for the irrigation of Golf courses
- \* the development of the region's touristic potentials.

The WWTP Ben Slimane comprises the following 4 main treatment processes (5):

- \* a pre-treatment system consisting of two parallel units, each disposing a screen and a sand removal facility, thus allowing for mechanical wastewater treatment,
- \* a primary treatment system consisting of 5 anaerobic ponds of 3,500 m<sup>3</sup> each, with the following principal operating parameters: a volumetric loading of 100 g BOD<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>/d in winter and 200 g BOD<sub>5</sub>/ m<sup>3</sup>/d in summer with a retention time of 2 to 3 days,
- \* a secondary treatment system consisting of 4 facultative ponds (2 large ponds of 20,000 m<sup>3</sup> each, and 2 smaller ponds of 13,000 m<sup>3</sup> each) operating with a total retention time of 2 weeks and a surface loading of 150 kg BOD<sub>5</sub>/ha/d. These ponds are preceded by 4 aeration ponds of 5,000 m<sup>3</sup> each (operating at oxygen concentrations of 2 to 4 mg/l and a retention time of 3 to 4 days),
- \* a final polishing system consisting of 4 deep, so-called "operational" reservoirs of 75,000 m<sup>3</sup> each, and of 5 m depth. The retention time for this treatment stage is about 30 to 40 days.

It is worth to note that these deep reservoirs operate in four phases :

- \* a filling phase
- \* a storage and maturation phase
- \* an emptying phase for either the irrigation of the Golf course or the discharge into the nearby river,
- \* a phase of inactivity (slack period until the beginning of the new cycle).

Thus it can be summarised, that the wastewater treatment technology of this plant is based on a combination of natural waste stabilisation ponds, improved by slight aeration upstream and associated with a final wastewater polishing system by means of deep reservoirs.

### **III – WASTEWATER TREATMENT PLANT PERFORMANCES**

#### **Methodology**

The performances of the WWTP Ben Slimane have been evaluated by following up the main physical and chemical wastewater parameters (COD, BOD<sub>5</sub>, TSS, TKN and P<sub>tot</sub>) as well as the microbiological parameters (fecal coliforms and parasites) at the inlet and outlet of the plant. The adopted sampling frequencies were 2 to 4 times during the first semester and a monthly frequency during the second semester. 24 hrs composite samples have been taken at the plant inlet, whereas grab samples have been taken at the plant outlet. However, samples for bacteriological analysis have been taken as grab samples at the plant inlet as well as at the plant outlet. Moreover, all samples were analysed according to the analytical methods used at the central Laboratory of ONEP, which are generally equivalent to the international standard methods (AFNOR, Standard Methods, ISO ...).

## Overall Plant Performance

As shown in the table 1 below the average treatment efficiency of the WWTP Ben Slimane has been found to be sufficient:

**Table 1: Overall Treatment Efficiency of the WWTP Ben Slimane (1998)**

(all analysis results are average figures)

<b>Parameters</b>	<b>Unit</b>	<b>Plant Inlet</b>	<b>Plant Outlet</b>	<b>Reduction (%)</b>	<b>EEC Prescription</b>
<b>BOD<sub>5</sub></b>	mg O <sub>2</sub> /l	130	28	78	79 – 90
<b>COD</b>	mg O <sub>2</sub> /l	450	84	79	75
<b>TSS</b>	mg/l	157	20	87	90
<b>TKN</b>	mg N/l	51.2	12.7	75	70 – 80
<b>P<sub>tot</sub></b>	mg P/l	9.9	5.8	41	80
<b>Fecal Coliforms</b>	Germ/100 ml	6 logU	< 20	100	-
<b>Helminth Eggs</b>	No./l	8	0	100	-

In comparison to the EEC prescriptions (6) it appears, that the plant performance is satisfactory with regard to the decrease of COD, Total Kjeldahl Nitrogen (TKN) but is slightly poor in terms of the reduction of BOD<sub>5</sub> and TSS. These two last mentioned results are probably caused by the fact, that the incoming raw wastewater is already highly diluted by means of infiltration water. The incoming raw wastewater already shows relatively low concentrations for the general pollution parameters (COD, BOD<sub>5</sub>, TSS) if compared to the normal range of these pollutant concentrations found in moroccan urban wastewater (7). Moreover, the total phosphorus removal - an operation, which requires a specific treatment process of disphosphatation - is well below the aforementioned EEC prescriptions.

For the microbiological parameters (fecal coliforms and helminth eggs), the analyses results confirmed very good plant performance results, with removal rates in the range of 100%. These high microbiological removal rates are specially related to the implementation of the deep reservoirs as the final treatment step at the plant outlet.

Furthermore, detailed investigations on the plant performance have been carried out during 1998 (8).

## **IV - REUSE OF TREATED WASTEWATER FOR IRRIGATION**

### **Regulatory Aspects**

Based on the fact, that the reuse of treated wastewater of the WWTP Ben Slimane is mainly oriented towards the irrigation of the Golf course - which might imply direct human contact with the green fields - the main quality criteria considered is the microbiological wastewater quality in order to avoid any health problem.

In this context it is important to take into consideration the corresponding infecting dose, which represents the number of micro-organisms necessary to infect a vulnerable person (9). This dose is very low for parasites since the presence of only one parasite egg might already be sufficient to cause diseases. On the other hand for bacteria often hundreds or even thousands of germs might be necessary to lead to an infection (9,10). For this purpose the effluent quality of the WWTP Ben Slimane has been compared with the Guidelines of the World Health Organization (WHO) for the microbiological quality of treated wastewater to be used for irrigation (11), which take into consideration these human health related aspects.

The above mentioned microbiological indicators of the treated wastewater have been determined by means of analysis realised for samples taken from the deep reservoirs during its emptying phase or during the advanced maturation phase. Based on these analysis results, the following has been concluded:

- \* for all samples collected during the investigation period the analysis results of fecal coliforms did show values below 20 FC/100 ml,
- \* in terms of parasitological wastewater characteristics the treated wastewater at the plant outlet is free of Helminth eggs.

These results confirmed that the microbiological quality of the final effluent of the WWTP Ben Slimane meets the requirements of the WHO guidelines related to its reuse for the irrigation of green fields such as Golf courses.

It thus can be concluded that the specific design objective of this WWTP - to avoid any potential transmission of diseases with hydric origins - has been met. It should be noted that the wastewater treatment plant is also equipped with a chlorination system as standby facility, which could be put in operation, if required, to furthermore improve the microbiological quality of the treated effluents or in case of an outbreak of contagious diseases of hydric origin (Hepatitis, Cholera, typhus ...) in the region of Ben Slimane.

## **Prevention and Health Safety Measures**

It is evident, that the recycling of treated wastewater would only be successful, if all public health and safety related questions are taken into consideration. In fact, it is important to mention, that even though specific wastewater treatment objectives are met, a certain risk for public health always remains. This leads to the need for prevention and awareness measures for the operators being in contact with these treated wastewaters on both sites – the WWTP as well as the site of the effluent reuse (in case of Ben Slimane the golf course).

In case of Ben Slimane the treated wastewaters are discharged into a small lake of the Golf course being reused for irrigation. Therefore the most important staff prevention measures established in this context are those stated in the WHO recommendations (11):

- \* the banning of reused treated wastewater for drinking, for any domestic activity or for swimming purposes. Corresponding warning signs were put up for this purpose,
- \* the wearing of special protection clothes (gumboots, cap, gloves, protection suits.), which should be kept clean and separated from personal clothes,
- \* daily hygiene measures, with special recommendations to wash with clean water after any direct contact with the treated wastewater and to possibly take a shower at the end of work,
- \* prevention from taking meals in places of contact with wastewater.
- \* obligation to be vaccinated against tetanus and to renew vaccination every 5 years (vaccines against poliomyelitis, typhoid and similar diseases are required too). Moreover, it is recommended to never neglect scratches, not even the smallest ones, to disinfect them (with an appropriate disinfectant) and to put a dressing on them.

The Golf manager has been called upon to implement the necessary means to allow for the respect of these requirements.

ONEP, in collaboration with MILD and the Municipality of the city of Ben Slimane, has elaborated sensitization leaflets to the benefit of the staff working on the WWTP as well as of the staff on the golf course potentially coming into contact with treated effluents. The mentioned documents point out the possible sanitary risks of treated wastewater, and state hygiene instructions to be followed, which constitute the most effective protection basis against the risks of infectious diseases.

## V - ECONOMICAL STUDY

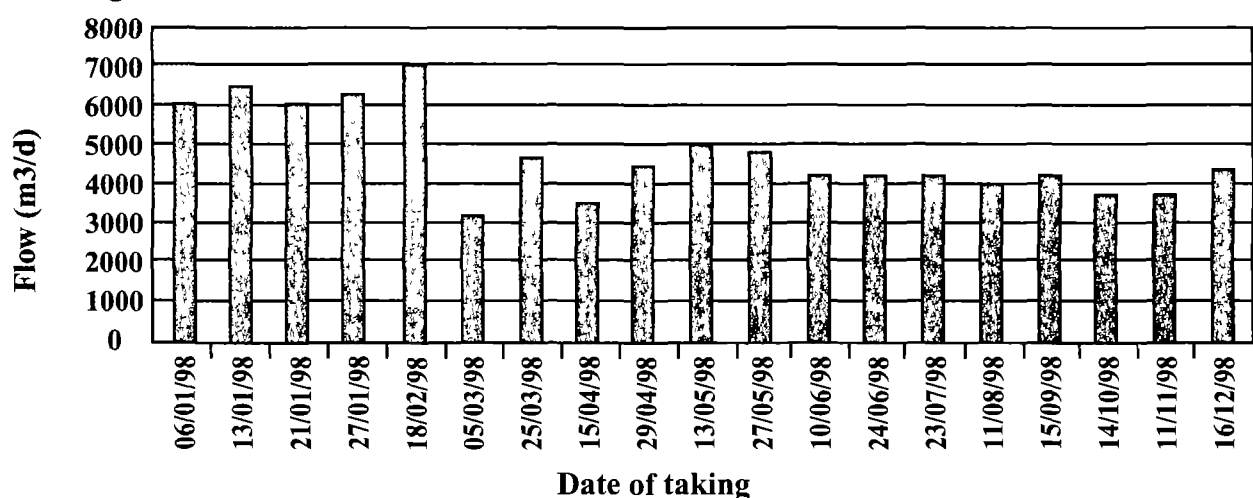
### Saving of Drinking Water

The limited water resources of the city of Ben Slimane made it necessary, that since 1996 the drinking water supply of this city is supported by the water treatment plant located at the Bou Regreg complex in Rabat.

Only together with water from this plant (with a distance of around 50 km to Ben Slimane) it is possible to meet the required water amount of around 170 l/s. The saturation horizon of this project would be the year 2015 as long as the produced water would be used exclusively for human consumption and industrial uses.

Furthermore, it should be noted, that the tourism is presently considered as a very important factor for the economic development of this region, with the implementation of the Golf course being one of the main components of the touristic infrastructure.

Taking into consideration the huge water requirement for irrigation of a golf course, the use of treated wastewater for these purposes represented the unique solution to save drinking water. The amount of irrigation water needed for the currently operational Golf courses is estimated to around 33 l/s, being equivalent to around 3,000 m<sup>3</sup>/d. This amount is expected to reach approximately 5,000 m<sup>3</sup>/d by the time of termination of the planned golf course extension. Considering the raw wastewater flows of the wastewater treatment plant as recorded during the investigation period and shown in figure 1 below, it can be concluded, that the treated wastewater quantity could widely cover the present needs for the Golf course irrigation.



**Figure 1: Raw Wastewater Flow of the WWTP Ben Slimane during 1998**

Effective irrigation of the Ben Slimane Golf course with treated wastewater has only been initiated in August 1998, after the golf course management has been assured the plant performance as well as the conformity of the treated wastewater quality. From this time on, a first part of the Golf course has been irrigated with treated wastewater at an average flow of 2,000 m<sup>3</sup>/d, which - due to the fact, that the abovementioned lake has been filled up in the meantime - had to be reduced to around 1,000 m<sup>3</sup>/d. The saving of drinking water for the city of Ben Slimane is therefore estimated on an average use of treated wastewater of 1,000 m<sup>3</sup>/d.



## Cost Estimation

### Investment Costs

The investment costs of the WWTP of the city of Ben Slimane, realised in 1997, amount to around 96.44 million dirhams (DH) \*).

\*) 1 Dirham (DH) = 0.104 US\$

### Operation Costs

The evaluation of the plant operation costs for the period July 1997 / June 1998 are shown in table 2 below .

**Table 2: Yearly Operation Costs of the WWTP Ben Slimane**  
(Operation Period: July 1997- June 1998)

<b>Cost Item</b>	<b>Operation Costs (DH/year)</b>
Staff	589,255
Energy	196,045
Laboratory	24,000
Maintenance	20,410
Cleaning	15,200
Miscellaneous	90,874
<b>TOTAL</b>	<b>935,784</b>

### Cost price

The costs for the produced treated wastewater amounts to around 1.45 DH/m<sup>3</sup>. Considering the current selling price of the treated wastewater being 2 DH/m<sup>3</sup>, it is worth to mention that this kind of deal is profitable for the wastewater treatment plant management. Furthermore, also for the golf course management this deal works out quite well, since presently the purchase price of drinking water per m<sup>3</sup> is around 4 DH, which is significantly higher (double) than the current price of 2 DH per m<sup>3</sup> of treated wastewater.

## **VI - CONCLUSIONS**

This pilot project of treated wastewater reuse of the WWTP Ben Slimane for irrigation of the nearby Golf course shows very promising first results, since it allows for a considerable saving of drinking water along with promoting the touristic development of the region. This saving of drinking water furthermore allows for a delay of important investments becoming necessary for the reinforcement of water production facilities in order to meet the region's drinking water and industrial water demand.

The treatment technology of waste stabilisation ponds, with a specific application newly introduced to Morocco, has allowed to meet the specified objectives which are environment protection and the creation of an additional hydric resource of a quality conform to a reuse for irrigation of green fields. This approach is perfectly appropriate to the socio-economic context of Morocco and opens new horizons as far as the reuse of treated wastewater in Morocco is concerned. The future application of similar projects in small and medium size communities may represent a good option for appropriate management and regeneration of waters, and particularly under conditions of water rarity.

## REFERENCES

- 1- Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat du Royaume du Maroc. (1993)** Réutilisation des eaux usées en Agriculture . 8<sup>ème</sup> Session.
- 2- Ministère de l'Agriculture et de la Mise en Valeur Agricole du Royaume du Maroc. (1994)** Réutilisation des eaux usées à des fins agricoles. Projet MOR86/018PNUD, FAO. OMS. Janvier 1994.
- 3- Kawni.A et J. Darley.(1996)** La réutilisation agricole des eaux usées épurées au Maroc . Direction de l'Eau et de l'Assainissement de la DGCL (Ministère de l'intérieur du Royaume du Maroc). Décembre 1996.
- 4- I.A.V. Hassan II., ORMVA/souss Massa et RAMSA. (1996)** Epuration des eaux usées et leur valorisation dans l'agriculture . Cas de la commune urbaine de Ben Sergao, Wilaya d'Agadir.
- 5- Municipalité de Ben Slimane du Royaume du Maroc., TAHAL consulting engineers LTD., MILDEAS et ONEP. (1997)** Station d'épuration et de recyclage des eaux usées de Ben Slimane. Manuel d'exploitation.. Juin 1997.
- 6- CEE. (1991)** Directives du Conseil du 21 mai 1991 relatives au traitement des eaux urbaines résiduaires. *Journal officiel des communautés européennes.*
- 7- ONEP-GTZ. (1998)** Typologie des eaux usées urbaines au Maroc. Coopération technique maroco-allemande, juin 1998.
- 8- Echihabi. L., A. Foutlane., A. Yagoubi., J. Bahij., A. Maghrabi., Y. Loulidi et A. Lahlou. (1999)** Evaluation des performances épuratoires de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Ben Slimane au Maroc - Type Lagunage -
- 9 - Prost. A. (1987)** Les dangers de maladies infectieuses liés à la réutilisation des eaux usées. Bulletin de qualité des eaux, OMS, juin 1987.
- 10- Saenz. R (1987)** Irrigation avec des eaux usées épurées en étangs de stabilisation – Evaluation des aspects microbiologiques. Bulletin de qualité des eaux, OMS, juin 1987.
- 11- World Health Organization. (1989)** Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. Report of a WHO scientific Group. Technical Report Series 778. Geneva,1989.

# **RECYCLING OF WASTEWATER AND ITS SUB-PRODUCTS**

*By Gueladio CISSÉ (EIER)*

10th UADE CONGRESS, DURBAN, SOUTH AFRICA (February 19 - 25 2000)

*Topic: Reuse of wastewater and purification by-products in Africa*

**WASTEWATER REUSE IN URBAN AGRICULTURE IN THE  
SAHELIAN CONTEXT  
HEALTH RISKS, ECONOMIC ASPECTS AND TECHNOLOGICAL  
CONSTRAINTS.**

Dr. Guélado CISSE, EIER, Ouagadougou, Burkina Faso

**ABSTRACT**

*As a result of limited water resources in arid zones, particularly in the Sahel, wastewater re-use has become an essential component of integrated management of water resources. One finds there a re-use practice of any kinds of wastewater without any planning and control in urban agricultural activities.*

*Economic and social interest of urban agriculture, existence of various “fait accompli”, utilisation of polluted water by populations hardly aware of health risks, weakness of institutions which are likely to enforce health instructions or to establish plants for collective treatment of wastewater and the need for scientists to contribute toward finding solutions to improve the situation of actors themselves constitute the main stakes.*

*Until a recent period few studies on wastewater re-use in sahelian countries were available. The Ecole Inter Etats d’Ingénieurs de l’Equipement Rural (EIER) in partnership with the Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) and the Institut Tropical Suisse (ITS) have been conducting since 1994 multidisciplinary research studies on wastewater re-use in urban market-gardening in sahelian countries particularly with an epidemiological perspective, associated with microbiology, socio-anthropology, cartography and geomatics.*

*The starting point of the research program was the problem of health risks related to the use of polluted water in urban market-gardening in the aridity context of sahelian towns and resulted since 1997 in the establishment of interactive processes of sustainable development at local level.*

*This article presents the lessons drawn from this research program throughout many years in order to contribute to the need to pursue and to disseminate the knowledge in this field.*

**Key words:** *Sahel, urban market-gardening, wastewater reuse, health impact, integrated management, participatory development at local level.*

## INTRODUCTION

Whenever “ re-use of wastewater ” is mentioned, for common sense “ planned and controlled choice ” must be understood. Following this understanding, the common questions, among others are as follows: What best purification techniques can make wastewater re-use possible? What standards must be followed in order for its risks-free re-use? What measures must be taken in order to ensure the control of performances of established sewage treatment systems? But in many African countries one can find wastewater re-use which does not follow any plan and with no mechanism to control the quality of the water used for the watering of vegetables, even if the latter can be eaten raw.

The population explosion and the dazzling extension of African towns, particularly in peri-urban zones as well as urbanisation lead to an increase in water demand (Coulibaly, 1998). This causes an increasingly important production of wastewater which is left in streets, channels and gutters by the lack of sanitation infrastructure.

In sahelian countries, market-gardening is commonly practised in urban and peri-urban environment. According to a certain number of studies conducted these recent years, about 200 million urban dwellers of developing countries are urban farmers today. Urban farmers use various water sources for watering their vegetables: well water, water from dams, water running in gutters and drainage channels.

The conditions of water scarcity on market-gardening sites in arid zones may bring about extremes situations: some sites use untreated wastewater running in gutters or rainwater sewers which may come from households as well as from industries.

In arid and semi-arid regions, wastewater re-use for irrigation is widely practised (Blumenthal et al., 1989; Strauss and Blumenthal, 1990; Hispanhol, 1990). Moreover, the practice of wastewater re-use is widespread in other regions of the world; it exists in both developed countries and developing countries. Some authors think that “ water is a very rare resource to be used only once before it is returned to nature... ” (Sandberg H., 1992). However, it only since a few years that wastewater re-use has become a matter of scientific, sociological and economic interest in discussions about the concept of integrated management of water resources. Some African countries such as Tunisia and South Africa have made wastewater re-use a national priority (Le Vine Renaud, 1998).

Until a recent period very few studies on wastewater re-use were available. The *Ecole Inter Etats d'Ingénieurs de l'Équipement Rural (EIER)* in partnership with the *Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)* and the *Institut Tropical Suisse (ITS)* have been conducting since 1994 multidisciplinary research studies on wastewater re-use in urban market-gardening in sahelian countries particularly with an epidemiological perspective associated with microbiology, socio-anthropology, cartography and geomatics.

Economic and social interest of urban agriculture, existence of various fait accompli utilisation of polluted water by populations hardly aware of health risks, weakness of institutions which are likely to enforce health instructions or to establish plants for collective treatment of wastewater and the need for scientists to contribute toward finding solutions to improve the situation of actors themselves constitute the main stakes.

## **GENERAL PROBLEM**

### **Health risks related to wastewater re-use**

There are four categories of people for whom agricultural utilisation of wastewater represents a “ potential ” risk which is different from “ real ” risk (Mara et al., 1992): (1) field workers working in the fields and their families; (ii) handlers and field workers responsible of crops; (iii) crop consumers (people and livestock); (iv) people living near fields.

### **WHO instructions for wastewater re-use**

The main points of WHO recommendations (OMS, 1989) are: (i) - the utilisation of raw waste must be banned in any circumstance; (ii) - In any case the water utilised must contain an arithmetical average of less than an egg of intestinal parasite per litter; this is one of the new requirements which goes toward strengthening standards; (iii) - the microbiological quality of the water must be monitored in the case of vegetables which can be eaten raw, irrigation of recreation areas and when a sprinkling method is used; this water must contain less than 10 faecal coliforms per litter; (iv) - a more drastic standard of less than two thousand faecal coliforms will be applied to grass public has direct contact with like in hotels.

### **Need for a multidisciplinary approach**

In the evaluation of health risks related to wastewater use in two sahelian countries, the research program has combined in a transdisciplinary approach, cartography (spatial positioning of environmental phenomena), microbiology (evaluation of potential risks), sociology and anthropology (shedding light on risk factors), epidemiology (evaluation of real risks) and geomatics (analysis of spatial dimension).

### **Geomatic approach**

Environmental factors in urban context being particularly localised, geomatics is today an essential discipline for a better management of urban environments. The geomatic approach was given prime importance in the framework of this study.

An exhaustive geographical survey was carried out in 30 sectors of the city of Ouagadougou about market-gardening sites, wastewater and solid waste. Several methods and tools have been used including a GPS (Geo Positioning System) machine. The data collected by the

Garmin GPS machine were converted with a Garmin PCX5 software and treated with an Excel software. Moreover, an epidemiological survey, covering these 30 sectors of the city, on diarrhoea among children of less than 5 years. The data collected by the surveyors were keyed in with various softwares according to the following method: EPIINFO software for the questionnaires; Excel for the geographical survey forms. The basic map of Ouagadougou with a 1/10,000 scale was digitized as well as the thematic maps. The summary of the data and the presentation of findings at the level of the sector have been carried out with the Mapinfo software.

The geomatic approach made possible (i) - to characterise residential sectors in Ouagadougou according to refuse dumps and wastewater discharge, (ii) - to position market-gardening sites in urban structure and (iii) - to evaluate the importance of cultivated surfaces during the dry season, the cool season and the rainy reason.

The geomatic approach also made it possible to break up the main results of the epidemiological approach in order to present it at the level of the sector under the form of thematic maps.

## **MARKET-GARDENING SITES IN THE URBAN STRUCTURE**

### **Situation in Nouakchott**

Nouakchott comprises 7 main market-gardening sites (Schneider and Gagneux, 1997). The Sebkha site, located downtown, constitutes the oldest market-gardening area established as part of the installation of a sewage treatment plant (STEP) in 1965. The sewage treatment plant was the bacteriological bed type whose wastewater was feeding a distribution network of water treated by STEP designed for 72 plots (Ould Baba, 1999). Utilisation problems led to a continuous deterioration of purification capacities until the total breakdown of the plant in 1979. This interruption did not prevent the coming untreated water from running to the market-gardening sites despite a certain number of studies warning about health risks (Sidatt, 1979; Sidatt, 1982). A rehabilitation program launched in 1990 with help from ADB (CIEH, 1992) resulted in 1992 in the installation of a sewage treatment plant with activated sludge. The wastewater undergoes a tertiary treatment by chloration before being pumped back into the distribution network of the market-gardening site. Wastewater monitoring is undertaken for physico-chemical parameters; On the other hand, bacteriological and parasitical pollution (concerns of WHO instructions) are not analysed.

Therefore, in Nouakchott, it is a situation of intentional wastewater re-use “planned situation” of which control was lost between from 1979 to 1992 (“Situation not under control”), and which is coming back to normal after the 1992 rehabilitation (“situation under control” even if this control is still limited.

## Situation in Ouagadougou

In Ouagadougou there is no public network of wastewater collection into a STEP. There is a sewage treatment plant with activated sludge for wastewater coming from the central market which has been set up since 1998. A study conducted a few years only after the installation of the market STEP revealed that the quality of the water coming from the STEP was already far beyond the discharge standards contained in the terms of reference (CREPA, 1991). The wastewater from this plant is pumped into an open channel which runs into the listed forest where this water comes together with another water from a hydrographic network and converge in this place. Wastewater from Kossodo industrial area (Slaughterhouse, SOBBRA, Tan Aliz) also comes into this convergence place (shallow) of run-off water. An important market-gardening activity is undertaken in this shallow area along polluted water flowing in gutters (Cissé, 1997).

Market-gardening activity in Ouagadougou is usually seen along dam water and well water but also in many cases along wastewater discharges that are found in channels and gutters (Abattoir, SOBBRA, Tannery, Central Canal, Kossodo). One can find 48 places or market-gardening sites appearing occasionally or permanently throughout the year (see the geographical location of these sites in Figure 2). The water used in these areas come from wells, dams, gutters, ponds or open channels for rainwater drainage.

Provision has been made in the *Plan Stratégique d'Assainissement de la Ville de Ouagadougou* (PSAO or Strategic Plan of Sanitation for the city of Ouagadougou) for the establishment of a collective type of sanitation network which includes the collection and treatment of urban wastewater and industrial waste (ONEA, 1993). This collective network will not deal, on the one hand, with sectors having an urbanisation which is dense enough and, on the other hand, with big wastewater producing settlements. Wastewater will be carried toward a sewage treatment plant by lagooning in the Kossodo shallow where its re-use by market-gardeners from this site has been planned.

It is, therefore, in the case of Ouagadougou a situation of wastewater re-use which is presently not intended “unplanned situation” which is not under control yet “situation not under control”) but which should change, with PSAO, into an intentional situation (“planned situation”) “under control”



## POTENTIAL RISKS

Two approaches have been combined in order to evaluate potential risks: a cartographic approach and a microbiological approach.

The cartographic approach, with the contribution of geomatics, made possible (i) - to characterise the residential sectors of the city according to pollution from refuse dumps and wastewater discharges, (ii) - to position market-gardening sites in the urban structure, and (iii) - to evaluate the importance of cultivated surfaces during the dry season, the cool season and the rainy season. The epidemiological approach made it possible to follow the bacteriological (faecal coliforms) and parasitical (helminth and protozoa eggs) pollution of water, soils and vegetables. In Ouagadougou, the follow-up for two consecutive years of water types used for watering in 4 main market-gardening areas in Ouagadougou (Slaughterhouse, Central Canal, Tanghin, Boulmougou) revealed that all the water types, even well water, contain a bacteriological pollution which is usually more than the levels recommended by WHO for watering vegetables which are likely to eaten raw (Table 1). Water from gutters and open channels have the most important levels of pollution (respective medians  $5.9 \cdot 10^4$  and  $1.4 \cdot 10^6$  respective maximums  $2.2 \cdot 10^7$  and  $9.4 \cdot 10^7$ ), equalling levels of raw wastewater. They happen, then, to be more harmful for health, particularly in regard to parasitical results (Figure 1). The market-gardening established along these water types (for example, Slaughterhouse and Central Canal), thus, display the highest potential health risks for market-gardeners and their families (Cissé, 1997).

In Nouakchott, analyses of treated wastewater coming from the STEP have found a bacteriological pollution level which complies with WHO instructions (Schneider and Gagneux, 1997). On the other hand, the pollution levels of the water in farmers' watering basins has a median of  $9.1 \cdot 10^4$  CF/100 ml. This increase of pollution in the basins might be caused by a widespread practice on sites in Nouakchott which consists of enriching water from the basin by pouring in it sacks of poultry manure.

## REAL RISKS

Two epidemiological approaches have been combined in order to evaluate real risks: The “exposed (versus) non exposed” approach and the “control (versus) case”. In Ouagadougou, the study of “exposed - non exposed” type targeting children conducted in 1995 (Cissé, 1997) has revealed that market-gardeners’ children aged less than 5 show, in a significant way, higher prevalences than children of the same age in the population in general of Anakylostoms (10.80 6.68% against 1.40 0.43%, RP = 8.45,  $p < 0.001$ ), and for cysts of *Blastocystis hominis* (RP = 1.79; P = 0.01). One finds for farmers’ children incidence rates for the last two weeks of 37.10 9.61% for diarrhoea and 35.10 9.50 for stomach aches. These rates are higher than those found for children in the population in general (respectively  $35.60 \pm 1.71\%$  and  $34.60 \pm 1.69\%$ ) without the differences being significant. Parasitological infections by protozoa cysts, *Entamoeba histolytica* ( $12.00 \pm 6.99\%$ ), *Entamoeba coli* ( $37.30 \pm 10.53\%$ ), *Giardia intestinalis* ( $39.80 \pm 10.53\%$ ) and *Blastocystis hominis* ( $39.80 \pm 10.53\%$ ) are still more important among market-gardeners’ children, except for *Giardia intestinalis* without the differences being significant.

In Nouakchott, the case-control study targeting adults and conducted in 1996 (Schneider and Gagneux, 1997) shows that for adult market-gardeners themselves there is health risk related to market-gardening activities such as practised on the Tel Zatar site. The reported incidence rates of diarrhoea was 6.9 (IC95% = 5.0 - 8.8) to 8.5 (IC95% = 6.2 - 10.8) episodes per farmer every year. Among the four risk factors which have been found to be significant, two were about market-gardening activities and the other two were linked to household conditions. Factors related to market-gardening activity were: frequent consumption of vegetables coming from market-gardening site (OR=25.5, IC95%=2.0 - 320) and the utilisation of an unprotected well (OR=3.85, IC95%= 1.08 - 14.29). This latter factor was responsible for diarrhoea among the market-gardening population of Tel Zatar (risk attributable to the factor). In Ouagadougou, the case-control study targeted on children of less than five years old highlighted nearly 11 significant risk factors not directly associated with market-gardening activities (Cissé, 1997).

## **THE ROLE OF ACTORS IN THE PROBLEM**

There are other steps which follow the production of vegetables (market-gardening sites), such as sale in markets, sale in small restaurants, and public or private consumption. The actors involved in the problem are therefore various: farmers, retailers, traders and public consumers. The economic and social aspects of market-gardening activity are important through these various actors. Market-gardening and the availability of wastewater, which permits it, provide hundreds of families in both cities with an activity and incomes which cannot be neglected. To evaluate the role of actors in the health-risks chain, a socio-anthropological approach made it possible to collect various actors' attitudes and beliefs in the distribution line of vegetables (from producer to consumer), and to proceed with direct observations of environmental factors as well practices in the various places of this line.

## **TECHNOLOGICAL CONSTRAINTS**

To be health-risks free, planned or unplanned wastewater re-use requires the adoption of technological solutions which are not easy to find, to set up and to use.

In the cases of planned re-use, technological constraints are related to problems of utilisation and maintenance. A study conducted by CIEH (CIEH, 1992) in a certain number of African countries highlighted the weak percentage of sewage treatment plants which are functioning adequately a few years after their installation.

In the cases of unplanned re-use, technical solutions to reduce pollution are difficult to set up with farmers: protection of wells, change in irrigation techniques, ...

## **IMPROVEMENT OF ACTORS' SITUATIONS**

In both Ouagadougou and Nouakchott, the anthropological approach was the starting point of a dynamics for improving situations in the whole line with actors themselves. Since 1997, market-gardening groups on market-gardening sites have been put at the centre of a development process of their own activities: creation or strengthening of organisations, prioritisation, search of resources, supervision of improvements, ... Technologies for simple protection of wells or for source irrigation have been introduced.

Social maps of market-gardening sites have been developed by farmers and prioritisations have been made as part of participatory accelerated planning method. Integrated development programs (from sites to households) are being presented to various partners including the United Nations System for financing micro-projects in order to improve in a sustainable way the environment of urban market-gardening sites.

## CONCLUSION

Situations of wastewater re-use in an understanding of “planned” and “controlled” type are still very rare in Sahelian countries. In Nouakchott (Mauritania) such a situation type is underway on the Sebkhah site. In Ouagadougou, such a situation has been planned as part of PSAO; before this program is implemented, it is the situations of “unplanned” and “not controlled” wastewater re-use which are encountered.

In both cases, there are potential risks related to wastewater re-use (higher levels of bacteriological and parasitological pollution as compared with levels of WHO instructions). Practices on sites (enriching basin water, walking bare-foot, watering with an overcoat on, ...) increase health risks. Epidemiological studies have shown that there are additional health risks for market-gardeners and their children.

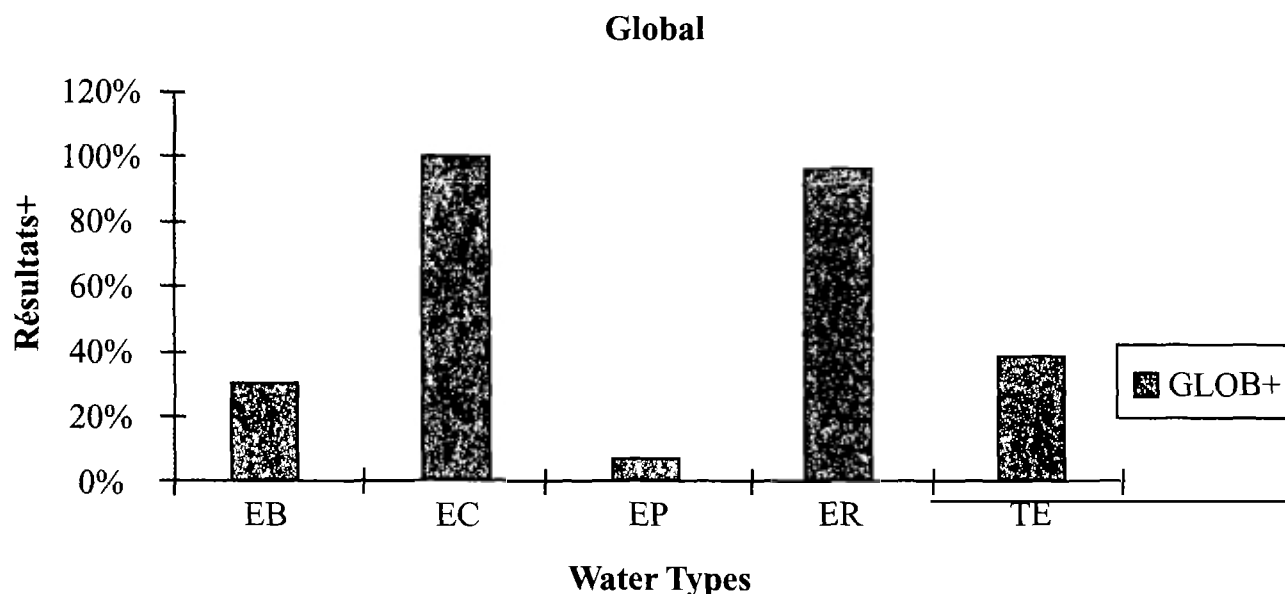
It's highly important that health and public authorities establish effective control and follow-up programs on existing sites of unplanned wastewater re-use. Otherwise, some farmer groups will continue to use raw wastewater for types of crops which are not recommended while ignoring the scope of health risks.

A greater rigour is required in planning wastewater treatment systems downstream of which waste re-use has been planned. Any future malfunction of the STEP will not be known always to market-gardeners who are still unlikely to change farming practices.

**Table 1:** Differences of bacteriological contamination (faecal coliforms per 100 ml) between watering water types on market-gardening sites in Ouagadougou (results of two years' weekly follow-up, 1994 and 1995).

Sites and water types	Observation (s)	Fecal Coliforms per 100 ml *				P-value**
		Average	Median	Minimum	Maximum	
<b>All sites***</b>						
Basin water	72	1.1E+06	8.3E+04	5.0E+02	3.4E+07	
Dam water	174	3.3E+04	4.5E+03	< 1	1.2E+06	
Channel water	89	8.1E+05	5.9E+04	5.0E+02	2.2E+07	
Well water	262	4.4E+04	1.0E+04	< 1	2.5E+06	
Gutter water	72	7.4E+06	1.4E+06	4.0E+03	9.4E+07	
						<b>&lt;0.001</b>

\* Results showing <1 mean that no settlement has been counted in the boxes \*\* P-value according Kruskal-Wallis \*\*\* Sites of Abattoir, Boulmiougou, Canal Central, and Tanghin

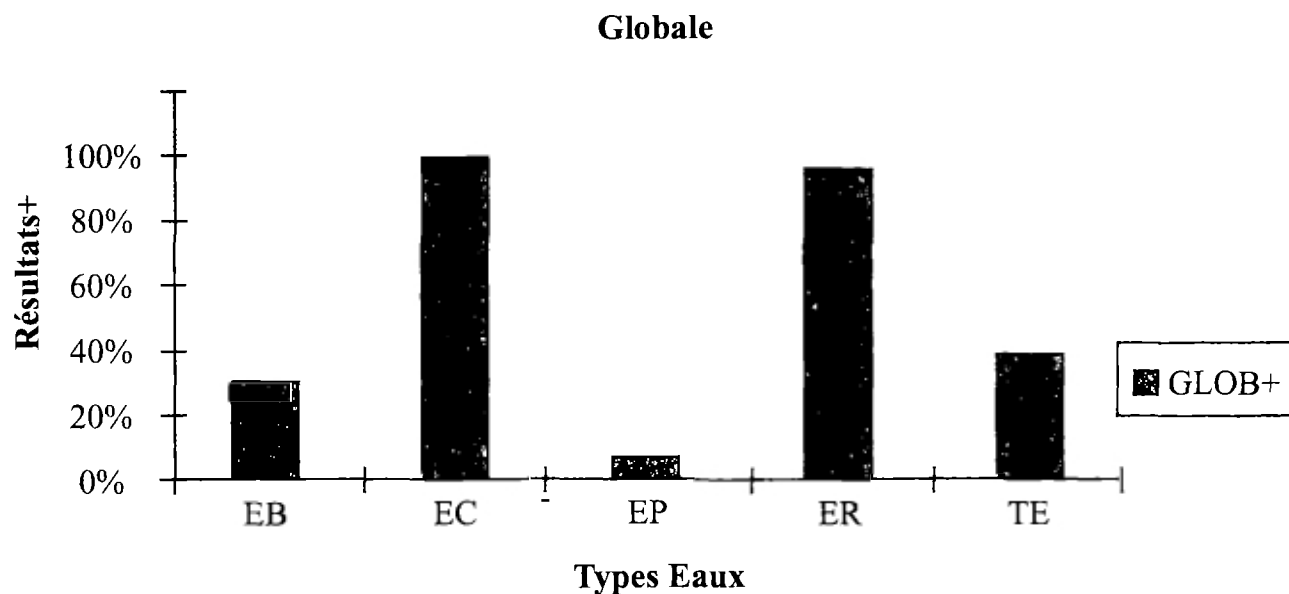


**Figure 1:** Overall parasitological contamination (for at least one parasite) of watering water types on four market-gardening sites in Ouagadougou in 1995. Legend : EB : dam water ; EP : well water ; EC : channel water ; ER : gutter water ; TE : weighted average all water types. Number of samples : EB (54) ; EC (10) ; EP (48) ; ER (25) ; TE (137)

**Tableau 1:** Différences en contamination bactériologique (coliformes fécaux par 100ml) entre types d'eaux d'arrosage sur sites de maraîchage à Ouagadougou (résultats de deux années de suivi hebdomadaire, 1994 et 1995)

Sites et types d'eau	Observation (s)	Coliformes Fécaux par 100 ml *				P-value**
		Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	
<u>Tous sites***</u>						
Eaux de Bassin	72	1.1E+06	8.3E+04	5.0E+02	3.4E+07	
Eaux de Barrage	174	3.3E+04	4.5E+03	< 1	1.2E+06	
Eaux du Canal	89	8.1E+05	5.9E+04	5.0E+02	2.2E+07	
Eaux de Puits	262	4.4E+04	1.0E+04	< 1	2.5E+06	
Eaux de Rigole	72	7.4E+06	1.4E+06	4.0E+03	9.4E+07	
						<0.001

\* Les résultats marqués <1 signifient qu'aucune colonie n'a été comptée dans les boîtes \*\* P-value selon Kruskal-Wallis. \*\*\* Sites de Abattoir, Boulmiougou, Canal Central, et Tanghin



**Figure 1:** Contamination parasitologique globale (par un moins un parasite) des types d'eau d'arrosage sur 4 sites de maraîchage à Ouagadougou en 1995. Légende : EB : eaux de barrage ; EP : eaux de puits ; EC : eaux du canal ; ER : eaux de rigoles ; TE : moyenne pondérée toutes eaux. Nombre d'échantillons : EB (54) ; EC (10) ; EP (48) ; ER (25) ; TE (137)

## CONCLUSION

Dans les pays sahéliens, les situations de réutilisation des eaux usées dans une compréhension de type “ planifiée ” et “ contrôlée ” sont encore très rares. A Nouakchott (Mauritanie) une situation de ce type est en cours sur le site de Sebkha. A Ouagadougou, une telle situation est en projet dans le cadre du PSAO ; et en attendant que ce projet voit le jour , ce sont des situations de réutilisation des eaux usées de manière “ non planifiée ” et “ non contrôlée ” qui sont rencontrées.

Dans un cas comme dans l'autre, les risques potentiels liés à la réutilisation des eaux usées existent (niveaux de pollution bactériologiques et parasitologiques supérieurs aux seuils des directives de l'OMS). Les pratiques sur les sites de maraîchage (enrichissement des eaux des bassins, marche pieds nus, arrosage en surverse,...) augmentent les risques sanitaires. Les études épidémiologiques montrent qu'il existe un surcroît de risques sanitaires pour les exploitants maraîchers et les enfants des exploitants maraîchers.

Il est de la plus grande importance que les autorités sanitaires et publiques mettent en place des programmes efficaces de contrôle et de suivi sur les sites existants de réutilisation non planifiée des eaux usées. Sinon, certains groupes d'exploitants maraîchers continueront à utiliser des eaux usées brutes pour des types de cultures non recommandés, en méconnaissant l'ampleur des risques sanitaires.

Une grande rigueur est nécessaire dans la planification de systèmes d'épuration des eaux usées en aval desquels la réutilisation des effluents est prévue. Tout dysfonctionnement ultérieur de la STEP ne sera pas toujours connu des exploitants maraîchers, encore moins susceptible de changer leurs pratiques culturelles.



## L'AMELIORATION DES SITUATIONS AVEC LES ACTEURS

**Aussi bien** à Nouakchott qu'à Ouagadougou, la démarche socio-anthropologique a été le point de départ d'une dynamique d'amélioration des situations dans toute la chaîne avec les acteurs eux-mêmes. Les groupes de maraîchers sur les sites de maraîchage ont été mis, depuis 1997, au centre d'un processus de développement de leurs activités: création ou renforcement d'associations, établissement des priorités, recherche des moyens, conduite des améliorations,... Des technologies simples de protection des puits ou d'irrigation à la racine ont été introduites.

Des cartes sociales des sites de maraîchage ont été élaborées par les exploitants, et des classifications de priorités ont été opérées dans le cadre de la méthode accélérée de planification participative. Des programmes de développement intégré (allant des sites aux ménages) sont en cours d'être présentés à différents partenaires, dont ceux du Système des Nations Unies, pour le financement de micro-projets, devant améliorer de façon durable l'environnement des sites de maraîchage urbain.

## **LA PLACE DES ACTEURS DANS LA PROBLEMATIQUE**

Il existe d'autres étapes qui suivent celle de la production des légumes (sites de maraîchage), telles que la vente dans les marchés, la vente dans les petits services de restauration, et la consommation en public ou en privé. Les acteurs concernés par notre problématique sont donc nombreux : exploitants, revendeurs, traiteurs, consommateurs publics. A travers ces différents acteurs, les aspects économiques et sociaux de l'activité de maraîchage sont importants. Le maraîchage, et la disponibilité d'eaux usées qui le permet, procurent une activité et des revenus non négligeables à des centaines de familles dans les deux villes.

Pour évaluer le rôle des acteurs dans la chaîne des risques sanitaires, une démarche socio-anthropologique a permis de recueillir les idées et croyances des différents acteurs dans la chaîne de distribution des légumes (du producteur au consommateur), et de procéder à des observations directes des facteurs environnementaux ainsi que des pratiques sur les différents lieux de cette chaîne.

## **LES CONTRAINTES TECHNOLOGIQUES**

La réutilisation planifiée ou non des eaux usées, pour qu'elle se pratique sans risques sanitaires, requiert l'adoption de solutions technologiques qui ne sont pas faciles à trouver, à mettre en place, ou à exploiter.

Dans le cas des situations de réutilisation planifiée, les contraintes technologiques sont relatives aux problèmes d'exploitation et d'entretien. Une étude du CIEH (CIEH, 1992) dans un certain nombre de pays africains a mis en évidence le faible pourcentage de stations d'épuration ayant un fonctionnement convenable quelques années après leur mise en service. Dans les cas des situations de réutilisation non planifiée, les solutions techniques pour réduire les pollutions sont difficiles à mettre en place auprès des exploitants : protection des puits, changement des techniques d'irrigation, ....

## LES RISQUES EFFECTIFS

Pour évaluer les risques effectifs, deux démarches épidémiologiques ont été combinées : l'approche " exposés (contre) non exposés ", et l'approche " cas (contre) témoins ".

A Ouagadougou, l'étude de type " exposés - non exposés ", ciblant les enfants, conduite en 1995 (Cissé, 1997), montre que les enfants d'exploitants maraîchers âgés de moins de 5 ans présentent, de manière significative, des prévalences supérieures à celles des enfants du même âge de la population générale pour les *Ankylostomes* ( $10.80 \pm 6.68\%$  contre  $1.40 \pm 0.43\%$ , RP = 8.45,  $p < 0.001$ ), et pour les kystes de *Blastocystis hominis* (RP = 1.79;  $p = 0.01$ ). On trouve pour les enfants des exploitants des taux d'incidence dans les deux dernières semaines de  $37.10 \pm 9.61\%$  pour les diarrhées, et  $35.10 \pm 9.50\%$  pour les douleurs abdominales. Ces taux sont supérieurs à ceux trouvés pour les enfants de la population générale (respectivement  $35.60 \pm 1.71\%$ , et  $34.60 \pm 1.69\%$ ), sans que les différences soient significatives. Les infections parasitaires par les kystes de protozoaires, *Entamoeba histolytica* ( $12.00 \pm 6.99\%$ ), *Entamoeba coli* ( $37.30 \pm 10.40\%$ ), *Giardia intestinalis* ( $39.80 \pm 10.53\%$ ) et *Blastocystis hominis* ( $39.80 \pm 10.53\%$ ) sont encore plus importantes chez les enfants d'exploitants maraîchers, sauf pour *Giardia intestinalis*, sans que les différences soient significatives.

A Nouakchott, l'étude de type " cas - témoins ", ciblant les adultes, conduite en 1996 (Schneider et Gagneux, 1997), montre qu'il existe pour les exploitants maraîchers adultes eux-mêmes un risque sanitaire lié aux activités maraîchères telles qu'elles sont pratiquées sur le site de Tel Zatar. Le taux d'incidence de la diarrhée rapportée était de 6.9 (IC95% = 5.0-8.8) à 8.5 (IC95% = 6.2-10.8) épisodes par exploitant et par année. Parmi les quatre facteurs de risque trouvés significatifs, deux concernaient les activités maraîchères, et les deux autres étaient liés aux conditions dans les ménages. Les facteurs relatifs à l'activité maraîchère étaient : la consommation fréquente de légumes en provenance du site de maraîchage (OR=25.5, IC95% = 2.0-320) et l'utilisation d'un puits non protégé (OR=3.85, IC95% = 1.08-14.29). Ce dernier facteur était responsable de 59.2% des diarrhées chez la population maraîchère de Tel Zatar (risque attribuable au facteur).

A Ouagadougou, l'étude de type " cas - témoins " a ciblé les enfants de moins de cinq et a mis en exergue près de 11 facteurs de risque significatifs non directement associés aux activités maraîchères (Cissé, 1997).

## LES RISQUES POTENTIELS

Pour évaluer les risques potentiels, deux démarches ont été combinées : une démarche cartographique et une démarche microbiologique.

La démarche cartographique, aidée par la géomatique, a permis (i)- de caractériser les secteurs de résidence de la ville selon la pollution par les dépôts d'ordures et les rejets d'eaux usées, (ii)- de positionner les sites de maraîchage dans le tissu urbain, et (iii)- d'évaluer l'importance des superficies exploitées en saison sèche, saison fraîche et saison des pluies. La démarche microbiologique a permis de suivre la pollution bactériologique (coliformes fécaux) et parasitologique (oeufs d'helminthes et protozoaires) des eaux, des sols, et des végétaux. A Ouagadougou, le suivi pendant deux années consécutives des types d'eaux d'arrosage utilisés sur 4 principales zones de maraîchage de Ouagadougou (Abattoir, Canal central, Tanghin, Boulmougou) a montré que tous les types d'eau, même les eaux de puits, présentent une pollution bactériologique qui dépasse généralement les seuils recommandés par l'OMS pour l'arrosage de légumes susceptibles d'être consommés crus (Tableau 1). Les eaux de rigoles et de canaux ouverts présentent les niveaux de pollutions les plus importants (médianes respectives  $5.9 \cdot 10^4$ , et  $1.4 \cdot 10^6$ , maximum respectifs  $2.2 \cdot 10^7$  et  $9.4 \cdot 10^7$ ), voisins de niveaux d'eaux usées brutes. Elles s'avèrent donc les plus dangereuses pour la santé, particulièrement en regard des résultats parasitologiques (Figure 1). Les sites de maraîchage se formant autour de ces types d'eaux (par exemple, Abattoir et Canal central) présentent ainsi les plus forts potentiels de risques sanitaires pour les exploitants maraîchers et leur famille (Cissé, 1997).

A Nouakchott, les analyses des eaux usées épurées sortant de la STEP ont trouvé un niveau de pollution bactériologique conforme aux directives de l'OMS (Schneider et Gagneux, 1997). Par contre, les niveaux de pollution des eaux dans les bassins d'arrosage des exploitants présentent une médiane de  $9.1 \cdot 10^4$  CF/100 ml. L'augmentation des pollutions dans les bassins serait due à une pratique, largement répandue sur les sites de Nouakchott, consistant à enrichir les eaux du bassin en y versant des sacs de fumier avicole.

## Situation à Ouagadougou

A Ouagadougou, il n'y a pas de réseau public de collecte des eaux usées vers une STEP. Il existe une station d'épuration par boues activées pour les eaux usées du marché central, mise en place en 1988. Dans une étude faite quelques années seulement après la mise en service de la STEP du marché, la qualité des eaux à la sortie de la STEP dépassait déjà de loin les normes de rejets prévues par le cahier de charge (CREPA, 1991).

Les effluents de cette station sont déversés dans un canal à ciel ouvert qui débouche dans la zone de la forêt classée, où les eaux rejoignent d'autres eaux d'un réseau hydrographique convergent à cet endroit. En cet endroit (bas-fonds) de convergence d'eaux de ruissellement, débouchent également les eaux usées en provenance de la zone industrielle de Kossodo (Abattoir, SOBBRA, Tan Aliz). Une importante activité de maraîchage se rencontre dans cette zone de bas-fonds, autour d'eaux polluées coulant dans les rigoles (Cissé, 1997). L'activité de maraîchage à Ouagadougou se rencontre généralement autour d'eau de barrage, et d'eau de puits, mais aussi, dans beaucoup de cas, autour de rejets d'eaux usées qu'on trouve dans des canaux et des rigoles (Abattoir, SO.B.BRA, Tannerie, Canal central, Kossodo). On peut compter 48 endroits où les sites de maraîchage apparaissent occasionnellement ou de manière permanente dans l'année (voir la position géographique de ces sites dans la Figure 2).

Les eaux utilisées sur ces zones proviennent des puits, des barrages, des rigoles, des marigots, ou des canaux ouverts d'assainissement pluvial.

Il est prévu, dans le Plan Stratégique d'Assainissement de la ville de Ouagadougou (PSAO), la réalisation d'un réseau d'assainissement de type collectif comportant la collecte et l'épuration des eaux usées urbaines et des effluents industriels (ONEA, 1993). Ce réseau collectif ne concernera que, d'une part, les secteurs dont l'urbanisation est suffisamment dense, et, d'autre part, les établissements gros producteurs d'eaux usées. Les eaux usées seront évacuées vers une station d'épuration par lagunage dans le bas-fond de Kossodo, où leur réutilisation par les exploitants maraîchers de ce site est prévue.

Il s'agit donc, à Ouagadougou, d'une situation de réutilisation des eaux usées actuellement non voulue (" situation non planifiée "), dont on n'assure pas encore le contrôle (" situation non contrôlée "), et qui devrait connaître une évolution, avec le PSAO, vers une situation voulue (" situation planifiée ") et qui devrait être " contrôlée ".

Plusieurs méthodes et outils ont été utilisés, notamment un appareil GPS (Geo Positioning System). Les données collectées par l'appareil GPS de Garmin ont été converties à l'aide du logiciel PCX5 de Garmin, et traitées avec le logiciel Excel. Par ailleurs, une enquête épidémiologique couvrant les 30 secteurs de la ville a porté sur les diarrhées chez les enfants de moins de 5 ans. Les données collectées par les enquêteurs ont été saisies sur plusieurs logiciels selon le formulaire utilisé: logiciel EPIINFO pour les questionnaires; logiciel Excel pour les formulaires d'enquête géographique. La carte de base de Ouagadougou à l'échelle 1/10.000 a été numérisée, ainsi que les cartes thématiques. Les synthèses des bases de données et la présentation des résultats à l'échelle du secteur ont été effectuées à l'aide du logiciel Mapinfo.

La démarche géomatique a permis (i)- de caractériser les secteurs de résidence de Ouagadougou selon la pollution par les dépôts d'ordures et les rejets d'eaux usées, (ii)- de positionner les sites de maraîchage dans le tissu urbain, et (iii)- d'évaluer l'importance des superficies exploitées en saison sèche, saison fraîche et saison des pluies.

La démarche géomatique a permis, aussi, de désagréger les principaux résultats de la démarche épidémiologique pour les présenter à l'échelle du secteur, sous forme de cartes thématiques.

## **LES SITES DE MARAICHAGE DANS LE TISSU URBAIN**

### **Situation à Nouakchott**

A Nouakchott, on peut compter 7 sites de maraîchage majeurs (Schneider et Gagneux, 1997). Le site de Sebkha, situé au centre ville, constitue le plus ancien périmètre maraîcher, créé dans le cadre de la mise en service d'une station d'épuration (STEP) des eaux usées en 1965. La station d'épuration était de type lit bactérien, dont l'effluent alimentait un réseau de distribution des eaux épurées de la STEP, mis en place pour 72 parcelles (Ould Baba, 1999). Les problèmes d'exploitation ont conduit à une dégradation continue des capacités épuratoires, jusqu'à l'arrêt complet de la station en 1979. Cet arrêt d'épuration n'a pas empêché que l'arrivée des eaux usées, non épurées, continue sur les sites de maraîchage, malgré un certain nombre d'études alertant sur les risques sanitaires (Sidatt, 1979 ; Sidatt, 1982). Un programme de réhabilitation, lancé en 1990 avec l'aide de la BAD (CIEH, 1992), a abouti en 1992 avec la mise en service d'une station d'épuration à boues activées. Les eaux usées subissent un traitement tertiaire par chloration, avant d'être évacuées vers le réseau de distribution sur le site de maraîchage. Le contrôle des eaux usées s'opère uniquement pour les paramètres physico-chimiques ; par contre, les pollutions bactériologiques et parasitologiques (préoccupations des directives de l'OMS) ne font pas l'objet d'analyses.

Il s'agit donc, à Nouakchott, d'une situation de réutilisation des eaux usées voulue (" situation planifiée "), dont on a perdu le contrôle de 1979 à 1992 (" situation non contrôlée "), et qui redevient normale après la réhabilitation depuis 1992 (" situation contrôlée ", même si ce contrôle est limité encore).

# **PROBLEMATIQUE GENERALE**

## **Risques sanitaires liés à la réutilisation des eaux usées**

Il existe 4 catégories de personnes sur qui l'utilisation agricole des eaux résiduaires fait peser un risque "potentiel" distinct du risque "effectif" (Mara et al., 1992): (i)- les ouvriers agricoles travaillant dans les champs et les membres de leur famille; (ii) les manutentionnaires et manipulateurs des produits des récoltes; (iii) les consommateurs des cultures (hommes et bétail); (iv)- les personnes vivant à proximité des champs.

## **Directives de l'OMS en matière de réutilisation des eaux usées**

Les principaux éléments des recommandations de l'OMS (OMS, 1989) sont: (i)- l'utilisation d'effluent brut doit être proscrite en toute circonstance; (ii)- les eaux utilisées doivent, en tout cas, contenir moins d'un oeuf de parasite intestinal en moyenne arithmétique par litre ; c'est là l'une des principales exigences nouvelles, qui va dans le sens du renforcement des normes ; (iii)- la qualité microbiologique des eaux doit être surveillée dans le cas de légumes à manger crus, d'irrigation d'espaces récréatifs et lorsqu'une méthode d'aspersion est utilisée ; ces eaux doivent contenir moins de  $10^4$  coliformes fécaux par litre; (iv)- une norme plus stricte, inférieure à deux mille coliformes fécaux par litre, sera appliquée aux gazons, comme ceux d'hôtels, avec lesquels le public est directement en contact.

## **Nécessité d'une approche multidisciplinaire**

Dans l'évaluation des risques sanitaires liés aux eaux usées dans deux pays sahéliens, le projet de recherche a combiné, dans une approche transdisciplinaire, la cartographie (positionnement spatial des phénomènes environnementaux), la microbiologie (évaluation des risques potentiels), la sociologie et l'anthropologie (éclairage des facteurs de risque), l'épidémiologie (évaluation des risques effectifs), et la géomatique (analyse de la dimension spatiale).

## **L'approche géomatique**

Les facteurs environnementaux en milieu urbain étant particulièrement localisés, la géomatique est aujourd'hui une discipline incontournable pour une meilleure gestion des environnements urbains. Dans le cadre de cette étude, l'approche géomatique a occupé un place primordiale. Une enquête géographique exhaustive dans les 30 secteurs de la ville de Ouagadougou a été conduite, relative aux sites de maraîchage, aux eaux usées et aux déchets solides.

## INTRODUCTION

Dès que l'on évoque " la réutilisation des eaux usées ", le sens commun veut que soit sous-entendu " choix planifié et contrôlé ". Dans cette compréhension, les questions courantes sont, entre autres : quelles sont les techniques d'épuration les plus indiquées pour rendre la réutilisation des eaux usées possible ? Quelles sont les normes que des eaux usées doivent respecter pour leur réutilisation sans risque ? Quelles sont les mesures à prendre pour assurer le contrôle des performances des systèmes d'épuration mis en place ?

Or, dans beaucoup de pays en Afrique, la réutilisation des eaux usées se rencontre sans que cela soit consécutif à une planification voulue, et sans aucun mécanisme de contrôle de la qualité des eaux utilisées pour l'arrosage de légumes, même si ceux-ci sont souvent consommables crus.

L'explosion démographique et l'extension fulgurante des villes africaines, notamment dans les zones périurbaines, ainsi que l'urbanisation provoquent un accroissement rapide de la demande en eau (Coulibaly, 1998). Ce qui entraîne une production de plus en plus importante d'eaux usées que le déficit en infrastructures d'assainissement abandonne dans les rues, les rigoles et les canaux.

Dans les pays sahéliens, le maraîchage est couramment pratiqué en milieu urbain et périurbain. Selon un certain nombre d'études effectuées ces dernières années, environ 200 millions d'habitants de villes des pays en développement sont aujourd'hui des agriculteurs urbains. Les exploitants agricoles en milieu urbain utilisent différentes sources d'eaux pour l'arrosage de leurs légumes : eaux de puits, eaux de retenue de barrages, et eaux coulant dans des rigoles et des canaux de drainage. Les conditions de rareté de l'eau sur les sites de maraîchage, dans des zones arides, font que l'on peut y rencontrer des cas extrêmes : certains sites utilisent des eaux usées non traitées, coulant dans les rigoles ou canaux d'évacuation d'eaux pluviales, pouvant provenir aussi bien des ménages que d'industries.

Dans les régions arides et semi-arides, la réutilisation des eaux usées pour l'irrigation est très largement pratiquée (Blumenthal et al., 1989; Strauss et Blumenthal, 1990; Hispanhol, 1990). La pratique de la réutilisation des eaux usées est d'ailleurs largement répandue dans d'autres régions du monde; elle existe aussi bien dans des pays développés que dans des pays en développement. Certains auteurs trouvent même que "l'eau est une ressource trop rare pour n'être utilisée qu'une fois avant d'être rendue à la nature..." (Sandberg H., 1992). Cependant, c'est seulement depuis quelques années que la réutilisation des eaux usées est devenue un sujet d'intérêt scientifique, sociologique et économique dans les discussions sur le concept de la gestion intégrée des ressources en eau. Certains pays africains, comme la Tunisie et l'Afrique du Sud, ont fait de la réutilisation des eaux usées une priorité nationale (Le Vine Renaud, 1998). Jusqu'à une période récente, l'on disposait de peu d'études sur la réutilisation des eaux usées dans les pays sahéliens. Depuis 1994, l'Ecole Inter Etats d'Ingénieurs de l'Equipement Rural (EIÉR), en partenariat avec l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), et l'Institut Tropical Suisse (ITS), conduit des travaux de recherche multidisciplinaire sur la réutilisation des eaux usées en maraîchage urbain dans deux pays sahéliens, avec notamment une perspective épidémiologique, associée à la microbiologie, la socio-anthropologie, la cartographie, et la géomatique.

Intérêt économique et social de l'agriculture urbaine, existence de nombreux faits accomplis d'utilisation d'eaux polluées par des populations peu conscientes des risques sanitaires, faiblesse des institutions publiques susceptibles de faire respecter des directives sanitaires, ou de mettre en place des ouvrages de traitement collectif des eaux usées, nécessité pour les scientifiques de contribuer à la recherche des solutions qui améliorent les situations avec les acteurs eux-mêmes : tels sont les principaux enjeux.



**10ème CONGRES UADE, DURBAN, AFRIQUE DU SUD (19 - 25 février 2000)**

Thème: Réutilisation des eaux usées et des sous-produits d'épuration en Afrique

**REUTILISATION DES EAUX USEES EN AGRICULTURE  
URBAINE DANS LE CONTEXTE SAHELIE  
RISQUES SANITAIRES, ASPECTS ECONOMIQUES,  
ET CONTRAINTES TECHNOLOGIQUES.**

Dr. CISSE Guéladio, EIER, Ouagadougou, Burkina Faso

**RESUME**

*Dans les zones arides, en particulier au Sahel, la limitation des ressources en eau fait de la réutilisation des eaux usées une composante incontournable de la gestion intégrée des ressources en eau. La pratique de réutilisation de toutes sortes d'eaux usées s'y rencontre de manière non planifiée et non contrôlée dans les activités d'agriculture urbaine.*

*Intérêt économique et social de l'agriculture urbaine, existence de nombreux faits accomplis d'utilisation d'eaux polluées par des populations peu conscientes des risques sanitaires, faiblesse des institutions publiques susceptibles de faire respecter des directives sanitaires, ou de mettre en place des ouvrages de traitement collectif des eaux usées, nécessité pour les scientifiques de contribuer à la recherche des solutions qui améliorent les situations avec les acteurs eux mêmes, tels sont les principaux enjeux.*

*Jusqu'à une période récente, l'on disposait de peu d'études sur la réutilisation des eaux usées dans les pays sahéliers. Depuis 1994, l'Ecole Inter Etats d'Ingénieurs de l'Equipement Rural (EIER), en partenariat avec l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), et l'Institut Tropical Suisse (ITS), conduit des travaux de recherche multidisciplinaire sur la réutilisation des eaux usées en maraîchage urbain dans les pays sahéliers, avec notamment une perspective épidémiologique, associée à la microbiologie, la socio-anthropologie, la cartographie, et la géomatique.*

*Le programme de recherche a pris comme point de départ la problématique des risques sanitaires liés à l'utilisation d'eaux polluées en maraîchage urbain, dans les conditions d'aridité de villes sahéliennes, pour aboutir à la mise en place de processus interactifs de développement durable au niveau local, depuis 1997.*

*L'article présente les enseignements tirés de ce programme de recherche sur plusieurs années, pour contribuer à la nécessité de poursuivre et de vulgariser les connaissances dans ce domaine.*

**Mots clés :** *Sahel, maraîchage urbain, réutilisation des eaux usées, impacts sanitaires, gestion intégrée, développement participatif au niveau local.*

# REUTILISATION DES EAUX USEES ET DE LEURS SOUS PRODUITS

*Par Cissé GUELADIO (EIER)*

La technologie d'épuration de pointe en matière de lagunage de cette STEP nouvellement introduite au Maroc a permis d'atteindre les objectifs fixés qui sont la protection de l'environnement et le dégagement d'une ressource hydrique supplémentaire de qualité conforme à une réutilisation pour l'irrigation des espaces verts. Cette action s'adapte parfaitement à notre contexte socio-économique et ouvre de nouveaux horizons dans le domaine de réutilisation des eaux dans notre pays. La généralisation de projets similaires aux moyens et petits centres pourrait représenter une bonne alternative de gestion et de récupération des eaux surtout dans les conditions de rareté des ressources en eau.

## REFERENCES

- 1- **Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat du Royaume du Maroc. (1993)** Réutilisation des eaux usées en Agriculture . 8<sup>ème</sup> Session.
- 2- **Ministère de l'Agriculture et de la Mise en Valeur Agricole du Royaume du Maroc. (1994)** Réutilisation des eaux usées à des fins agricoles. Projet MOR86/018PNUD, FAO. OMS. Janvier 1994.
- 3- **Kawni.A et J. Darley.(1996)** La réutilisation agricole des eaux usées épurées au Maroc. Direction de l'Eau et de l'Assainissement de la DGCL (Ministère de l'intérieur du Royaume du Maroc). Décembre 1996.
- 4- **I.A.V. Hassan II., ORMVA/souss Massa et RAMSA. (1996)** Epuration des eaux usées et leur valorisation dans l'agriculture . Cas de la commune urbaine de Ben Sergao, Wilaya d'Agadir.
- 5- **Municipalité de Ben Slimane du Royaume du Maroc., TAHAL consulting engineers LTD., MILDEAS et ONEP. (1997)** Station d'épuration et de recyclage des eaux usées de Ben Slimane. Manuel d'exploitation.. Juin 1997.
- 6- **CEE. (1991)** Directives du Conseil du 21 mai 1991 relatives au traitement des eaux urbaines résiduaires. *Journal officiel des communautés européennes.*
- 7- **ONEP-GTZ. (1998)** Typologie des eaux usées urbaines au Maroc. Coopération technique maroco-allemande, juin 1998.
- 8- **Echihabi. L., A. Foutlane., A. Yagoubi., J. Bahij., A. Maghrabi., Y. Loulidi et A. Lahlou. (1999)** Evaluation des performances épuratoires de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Ben Slimane au Maroc - Type Lagunage -
- 9 - **Prost. A. (1987)** Les dangers de maladies infectieuses liés à la réutilisation des eaux usées. Bulletin de qualité des eaux, OMS, juin 1987.
- 10- **Saenz. R (1987)** Irrigation avec des eaux usées épurées en étangs de stabilisation – Evaluation des aspects microbiologiques. Bulletin de qualité des eaux, OMS, juin 1987.
- 11- **World Health Organization. (1989)** Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. Report of a WHO scientific Group. Technical Report Series 778. Geneva, 1989.

## Evaluation des coûts

### Coût d'investissement

Le coût d'investissement de la Station d'épuration des eaux usées de la ville de Ben Slimane, réalisée en 1997, est de 96,44 millions de dirhams\*.

\*1Dirhams (DH) = 0,104 Dollars US

### Coût d'exploitation

L'évaluation des frais d'exploitation de la station d'épuration effectuée durant 1998 est détaillée dans le tableau 2 ci-après.

**Tableau 2. Frais d'exploitation annuelles de la STEP de Ben Slimane (juillet 1997- juin 1998)**

<b>LIBELLE</b>	<b>FRAIS (DH/an)</b>
PERSONNEL	589 255
ENERGIE	196 045
LABORATOIRE	24 000
ENTRETIEN MECANIQUE	20 410
NETTOYAGE	15 200
DIVERS	90 874
<b>Total</b>	<b>935 784</b>

### Coût de revient

Le coût de revient de la production des eaux usées épurées est de 1,45 DH/m<sup>3</sup>.

Ainsi en considérant le prix actuel de vente des eaux usées épurées et qui est de l'ordre de 2DH/m<sup>3</sup>, il ressort que cette opération est rentable pour le gestionnaire de la station. Par ailleurs, les gains sont aussi notables chez les gérants du Golf puisque le prix d'achat du m<sup>3</sup> d'eau potable est actuellement de 4DH contre 2DH pour les eaux usées épurées.

## VI- CONCLUSION

Ce projet pilote de réutilisation des eaux usées épurées de la STEP de Ben Slimane pour l'irrigation des parcours du Golf s'avère très prometteur puisqu'il permet dans l'immédiat une économie non négligeable d'eau potable tout en favorisant le développement touristique de la région et à terme de différer d'importants investissements relatifs au renforcement des équipements de production pour faire face à la demande en eau potable et industrielle de la région.

## V- ETUDE ECONOMIQUE

### Economie en eau potable

Les ressources hydriques limitées de la ville de Ben Slimane ont fait que depuis 1996 l'alimentation en potable de ce centre a été renforcée à partir du complexe du Bouregreg de la ville de Rabat ce qui a permis de porter la capacité de production de 120l/s à 170l/s. L'horizon de saturation de ce projet serait l'an 2015 dans la mesure où l'eau produite sera préservée exclusivement pour les usages de consommation humaine et industrielle.

Par ailleurs, il est à signaler que l'activité touristique est actuellement considérée comme un volet important du développement économique de la région et l'installation des terrains de Golf est l'une des composantes essentielles rentrant dans l'infrastructure du domaine touristique.

Face à cette situation, l'irrigation des terrains du Golf à partir des eaux usées épurées représentait l'unique solution pour économiser l'eau potable. Les besoins en eau pour l'arrosage des links du Golf opérationnel sont estimés actuellement à 33l/s soit 3000 m<sup>3</sup>/j et pourrait s'élever à environ 5000m<sup>3</sup>/j lors de l'extension prévue dans le futur. En considérant les débits d'entrée de la station d'épuration relevés durant le suivi (Fig.1 ci-après), il ressort que la quantité des eaux usées épurées peut largement couvrir les besoins actuels pour l'irrigation du Golf.

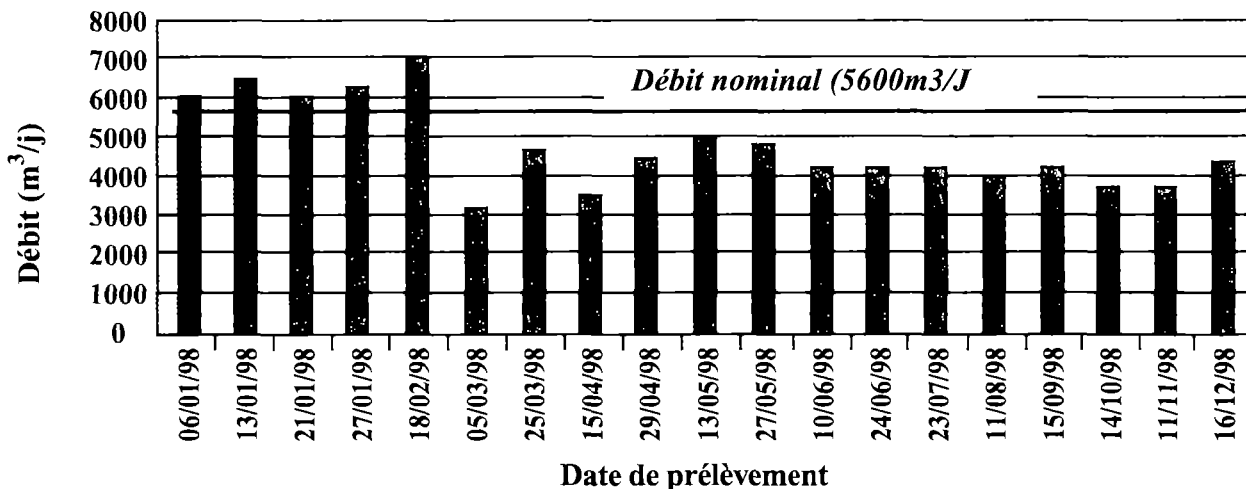


Fig.1.Valeurs de débits relevées à l'entrée de la STEP de Ben Slimane durant 1998

L'arrosage effectif des terrains du Golf de Ben Slimane à partir des eaux usées épurées n'a débuté qu'à partir du mois d'août 1998, c'est à dire après s'être assuré des performances épuratoires de la station et de la conformité de la qualité de son effluent à cette fin. Ainsi, depuis cette date une première tranche du Golf a été arrosée avec les eaux usées épurées avec un débit de 2000 m<sup>3</sup>/j au départ puis réduite à 1000 m<sup>3</sup>/j après le remplissage du lac. Le gain en eau potable au niveau du centre de Ben Slimane est estimé actuellement en moyenne à 1000m<sup>3</sup>/j.

## Mesures de prévention et de sécurité sanitaire

Il est clair que le recyclage des eaux usées ne sera une réussite que lorsqu'il prend en considération toutes les questions inhérentes à l'hygiène publique et la sécurité. En effet, il est important de souligner que même quand les objectifs d'épuration des eaux usées visés sont atteints ; celles-ci restent toujours des eaux usées à risque et des mesures de prévention et de sensibilisation du personnel pouvant être en contact avec elles s'imposent aussi bien au niveau des stations d'épuration que dans les lieux de réutilisation de ces eaux usées.

Pour la station de Ben Slimane, les eaux usées épurées sont déversées dans un lac au niveau du Golf avant d'être réutilisées pour l'arrosage. Ainsi, les plus importantes mesures préventives instaurées dans ce cadre là pour le personnel et qui s'inspirent des recommandations de l'OMS (11) peuvent être énumérées comme suit :

- l'interdiction de la réutilisation des eaux usées, même épurées pour la consommation et pour toute activité domestique ainsi que pour la baignade. Des panneaux de signalisation ont été également installés dans ce sens,
- le port d'habillement de protection spécial au cours du travail (bottes de caoutchouc, casquette, gants, combinaison de protection.) et qui doit être tenu propre et séparé de la tenue de ville,
- l'hygiène quotidienne en recommandant de se laver avec de l'eau propre après chaque contact direct de la peau avec les eaux usées et prendre tant que possible une douche avec de l'eau potable à la fin du travail,
- l'interdiction de la prise des repas dans les endroits en contact avec les eaux usées,
- l'obligation de se faire vacciner contre le tétanos et de renouveler la vaccination tous les 5 ans ( des vaccins contre la polyomyélite, la typhoïde et les maladies semblables sont également conseillés). Par ailleurs, il a été également recommandé de ne jamais négliger les écorchures même les plus petites et veiller à les désinfecter (avec un désinfectant approprié) et les panser.

Les gérants du Golf ont été invités à mettre en oeuvre les moyens nécessaires permettant le respect de ces exigences.

A noter que l'ONEP, en collaboration avec MILD et la Municipalité de la ville de Ben Slimane, a également élaboré des dépliants de sensibilisation au profit aussi bien du personnel travaillant dans la STEP que celui opérant au niveau du Golf et en contact avec les eaux usées. Les dits documents attirent l'attention sur les risques sanitaires éventuels de ces eaux usées et traitent les consignes d'hygiène à suivre et qui constituent la base de la protection la plus efficace contre les risques des maladies infectieuses.

## IV- REUTILISATION DES EAUX EPUREES POUR L'IRRIGATION

### Aspects réglementaires

Etant donné que la réutilisation des eaux épurées de la station de Ben Slimane est orientée principalement vers l'irrigation des terrains verts du Golf avec lequel le public peut être en contact, le critère principal de qualité qui a été pris en considération est la qualité microbiologique pour éviter tout problème d'ordre sanitaire. En effet, il est important dans ce contexte de prendre en considération la dose infectante et qui représente le nombre de micro-organismes nécessaires pour provoquer l'infection d'un individu vulnérable (9). Cette dose est très faible pour les parasites puisqu'il suffit de la présence d'un oeuf de parasite pour contracter une maladie et elle est par contre souvent importante pour les bactéries étant donné qu'il faut des centaines voire des milliers de germes pour être infecté (9,10). Pour ce, la qualité de l'effluent de la station de Ben Slimane a été comparée aux Directives de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) recommandées pour la qualité microbiologique des eaux usées utilisées pour l'irrigation (11) qui prennent en considération cet aspect.

Ainsi les indicateurs microbiologiques des eaux épurées de la STEP de Ben Slimane ont été appréhendés à travers les résultats des analyses réalisées sur le réservoir qui est soit en phase de vidange soit en phase avancée de maturation et il en ressort ce qui suit :

- Les valeurs des coliformes Fécaux recueillies durant la période de suivi sont toutes inférieures à 20 CF/100 ml,
- Sur le plan parasitologique, les eaux usées épurées sont exemptes d'oeufs d'Helminthes.

Les résultats ont montré que la qualité microbiologique des eaux usées épurées de la station de Ben Slimane est conforme aux directives de l'OMS recommandées pour l'usage à des fins d'irrigation des espaces verts tels que le Golf.

Il ressort ainsi que les limites d'épuration pour lesquelles cette station a été conçue permettent d'éviter toute transmission potentielle de maladies d'origine hydrique. Il est à signaler également que la station est dotée d'un système de chloration qui peut être mis en opération le cas échéant pour affiner davantage la qualité micro-biologique des eaux épurées ou en cas d'apparition de maladies contagieuses d'origine hydrique dans la région (l'hépatite, le choléra, le typhus...).

## Rendement épuratoire global de la STEP

Les rendements épuratoires moyens de la station d'épuration de Ben Slimane ont été appréciés et font l'objet du tableau 1 ci-après.

**Tableau 1: Performances épuratoires de la STEP de Ben Slimane durant 1998**

Paramètres	Entrée*	Sortie*	Abattement (%)	Prescriptions de la CEE
DBO5(mgO2/L)	130	28	78	79 – 90
DCO(mgO2/L)	450	84	79	75
MES(mg/L)	157	20	87	90
NTK(mgN/L)	51.2	12.7	75	70 – 80
Ptot(mgP/l)	9.9	5.8	41	80
Coliformes Fécaux (germes/100 ml)	6 ULog	< 20	100	-
Oeufs d'Helminths (nombre/L)	8	0	100	-

\*Valeurs moyennes

Par comparaison aux prescriptions de la CEE (6), il ressort que les performances de la station sont satisfaisantes quant à l'abattement de la DCO et l'Azote total Kjeldahl et légèrement faibles pour la DBO5 et les MES. Ces deux derniers résultats seraient principalement dus à l'arrivée des eaux usées diluées à l'entrée de la station par des eaux parasites puisque les paramètres globaux de pollution (DCO, DBO5, MES) présentent des valeurs relativement faibles par rapport à la limite inférieure de la grille des concentrations habituelles des eaux urbaines marocaines (7). Par ailleurs, l'abattement du phosphore total, opération qui requiert un traitement spécifique de déphosphatation, se présente très inférieur aux dites prescriptions.

Pour les paramètres biologiques contrôlés les performances de la station sont très bonnes et de l'ordre de 100%. Ces hauts rendements biologiques de la station sont principalement en relation avec l'intégration des réservoirs profond à la sortie du système de lagunage de la station.

Le suivi détaillé des performances de la station durant l'année 1998 a été traité par ailleurs (8).



A mentionner que ces réservoirs profonds fonctionnent en quatre temps :

- une phase de remplissage,
- de stockage ou de maturation,
- d'évacuation ou de vidange vers l'irrigation du Golf ou vers l'oued,
- une phase d'inactivité ( temps mort jusqu'à ce que le nouveau cycle commence).

Ainsi, il ressort que la technologie de cette station est basée sur une combinaison des techniques de lagunage naturel, amélioré par une légère aération en amont et associé à un système d'affinage de la dépollution par des réservoirs profonds.

### **III- PERFORMANCES EPURATOIRES DE LA STATION**

#### **Methodologie**

**Les rendements** épuratoires de la STEP de Ben Slimane ont été évalués à travers le suivi des **principaux paramètres physico-chimiques** (DCO, DBO5, MES, NTK et Ptot) et biologiques ( **Coliformes Fécaux** et parasites) à l'entrée et la sortie de la station. La fréquence de prélèvements **adoptée** était de 2 à 4 fois durant le premier semestre et mensuelle durant le deuxième semestre. Les prélèvements sont réalisés suivant un mode d'échantillonnage composite sur 24h au niveau de l'entrée de la station et ponctuel au niveau de l'effluent de la station. Pour les échantillons destinés aux analyses bactériologiques, les prélèvements se font de manière ponctuelle à l'entrée comme à la sortie de la station. Par ailleurs, les échantillons ont été analysés suivant les méthodes d'analyses en vigueur au niveau du Laboratoire central de l'ONEP et qui sont généralement équivalentes aux normes internationales (AFNOR, Standard Methods, ISO...).

## II- PRESENTATION DE LA STEP DE BEN SLIMANE

La station d'épuration de Ben Slimane, située à environ 50 Km de la ville de Rabat, est une station type lagunage conçue pour un débit de  $5600 \text{ m}^3/\text{j}$  pour permettre de satisfaire les besoins de ce centre urbain au-delà de l'horizon 2010. La population actuelle de cette ville est de 37 000 habitants.

Les principaux objectifs d'épuration visés par cette station sont :

- la protection de l'environnement et de la santé publique,
- le dégagement d'une ressource hydrique supplémentaire à travers la réutilisation des eaux épurées pour l'irrigation du Golf,
- le développement des potentialités touristiques de la région.

La filière d'épuration de Ben Slimane comporte 4 principales étapes de dépollution (5) à savoir :

- un système de pré-traitement composé de deux unités d'ouvrages fonctionnant en parallèle et disposant chacune d'un dégrilleur et d'un déssableur, et permettant d'assurer le traitement physique des eaux,
- un système de traitement primaire formé de 5 bassins anaérobies de  $3500 \text{ m}^3$  chacun et avec comme principaux paramètres de fonctionnement : une charge volumique de  $100 \text{ gDBO}_5/\text{m}^3/\text{j}$  en hiver et  $200 \text{ gDBO}_5/\text{m}^3/\text{j}$  en été et un temps de rétention de 2 à 3 jours,
- un système de traitement secondaire comprenant 4 bassins facultatifs (2 grandes lagunes de  $20000 \text{ m}^3$  chacune et de 2 petites lagunes de  $13000 \text{ m}^3$  chacune) fonctionnant avec un temps de rétention de 2 semaines et une charge surfacique de  $150 \text{ KgDBO}_5/\text{ha}/\text{j}$ .

Ces lagunes sont précédées de 4 bassins d'aération de  $5000 \text{ m}^3$  chacun (avec comme caractéristiques une concentration d'oxygène de 2 à 4 mg/L et un temps de séjour de 3 à 4 jours),

- un système de finition comportant 4 réservoirs profonds dits (opérationnels) de  $75000 \text{ m}^3$  chacun et 5m de profondeur. Le temps de rétention à ce niveau d'épuration est de 30 à 40 jours.

## I- INTRODUCTION

La réutilisation des eaux usées épurées, à divers usages et particulièrement en irrigation, est une pratique qui prend de plus en plus de l'importance de par le Monde notamment dans les pays à climat aride ou semi aride. Au Maroc, les volumes des eaux usées produits annuellement en milieu urbain sont estimés à 500 Mm<sup>3</sup> (1). De ce fait et compte tenu de la vulnérabilité du pays aux périodes de sécheresse cyclique prolongée, ces eaux usées peuvent être considérées comme une ressource hydrique précieuse dont la réutilisation pour l'irrigation est étudiée comme un moyen d'éviter le gaspillage d'une ressource qui se raréfie. Dans ce contexte, plusieurs expérimentations sont menées dans différentes régions du Maroc pour promouvoir une réutilisation rationnelle et maîtrisée des eaux usées épurées en agriculture : Ouarzazate (2), Marrakech et Rabat (3) et Agadir (4).

Ainsi, l'intérêt de l'épuration des eaux usées contribuerait non seulement à la protection de l'hygiène et de la santé publique et à la préservation des ressources hydriques mais également à la mobilisation d'une ressource hydrique dans un contexte de leur rareté. L'assainissement liquide est donc considéré comme une composante indispensable pour le développement du secteur de l'eau potable.

C'est dans cet esprit et dans le cadre d'un partenariat exemplaire en matière d'assainissement reliant la Municipalité de Ben Slimane qui est l'entité ayant la charge de l'assainissement, la société MILD (Maroc Ingénierie Loisirs Développement) en tant qu'opérateur privé chargé de l'exploitation et l'ONEP (Office National de l'Eau Potable) en tant qu'opérateur public, que le projet de réalisation d'une station d'épuration des eaux usées (STEP) de la ville de Ben Slimane a vu le jour. Cette station a été réalisée grâce au soutien financier du Gouvernement du Canada mis à la disposition du projet à travers l'ONEP.

Ce document présente succinctement les résultats des performances épuratoires de la station d'épuration des eaux usées (STEP) de Ben Slimane à travers le suivi mené conjointement entre l'ONEP et MILD durant 1998 et développe les modalités pratiques et les effets économiques bénéfiques de la réutilisation des eaux épurées de cette station pour l'irrigation des terrains du Golf de la ville de Ben Slimane.

## RESUMÉ

Mise en eau depuis juillet 1997, la station d'épuration des eaux usées (STEP) de Ben Slimane, située à environ 80 Km de la ville de Rabat, est le fruit d'un partenariat en matière d'assainissement liquide entre la Municipalité de Ben Slimane, l'Office National de l'Eau Potable (ONEP) et la société Maroc Ingénierie Loisirs Développement (MILD). Soutenu financièrement par le Gouvernement Canadien, ce projet s'inscrit dans la stratégie globale qui vise la protection de l'environnement et l'économie de l'eau à travers la réutilisation des eaux épurées à des fins d'irrigation des parcours des terrains du golf, des espaces verts de la ville de Ben Slimane et éventuellement les terrains agricoles riverains.

Le système d'épuration des eaux usées à Ben Slimane est basé sur une combinaison des techniques du lagunage naturel amélioré par une légère aération et associé à un système d'affinage de l'épuration par des réservoirs profonds.

Le suivi des performances de la STEP pendant l'année 1998 a montré que :

- les performances des ouvrages exprimées en terme d'abattement de la pollution organique et microbiologique sont suffisamment appréciables,
- les résultats des analyses bactériologiques et parasitologiques des eaux usées épurées sont très satisfaisants au regard des Directives de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) relatives à l'arrosage des terrains du golf,

Grâce à cette qualité satisfaisante relevée au niveau des eaux épurées par la station de Ben Slimane, la réutilisation de ces eaux pour l'irrigation de la première tranche des terrains du Golf de Ben Slimane, arrosée auparavant par l'eau potable, a démarré au mois de d'août 1998. Cette action a permis :

- un gain en eau potable au niveau du centre de Ben Slimane estimé à une moyenne de 1000 m<sup>3</sup>/j. Ce gain en économie d'eau potable pourra doubler ou tripler lors de l'achèvement de la deuxième tranche du golf en question,
- un retardement de la saturation du programme d'alimentation en eau potable de la ville.

Par ailleurs, il est à mentionner que les actions de sensibilisation au profit des réutilisateurs de ces eaux usées épurées (gestionnaire du Golf) ont été menées et visant principalement la mise en place et le respect des mesures préventives pour le personnel travaillant en contact avec ces eaux usées en vue d'éviter tout risque sanitaire.

# TABLE DES MATIERES

RESUME .....	15
I - INTRODUCTION .....	16
II - PRESENTATION DE LA STEP DE BEN SLIMANE .....	17
III - PERFORMANCES EPURATOIRES DE LA STATION .....	18
Methodologie .....	18
Rendement épuratoire global de la STEP .....	19
IV - REUTILISATION DES EAUX EPUREES POUR L'IRRIGATION .....	20
Aspects réglementaires .....	20
Mesures de prévention et de sécurité sanitaire .....	21
V - ETUDE ECONOMIQUE .....	22
Economie en eau potable .....	22
Evaluation des coûts .....	23
VI - CONCLUSION .....	23
REFERENCES .....	24

**REUTILISATION DES EAUX  
USEES EPUREES POUR  
L'ARROSAGE DU GOLF:  
LE CAS DE BEN SLIMAN**

*Par A. FOUJLANE & B.A. YOUNGUBI (ONEP)*

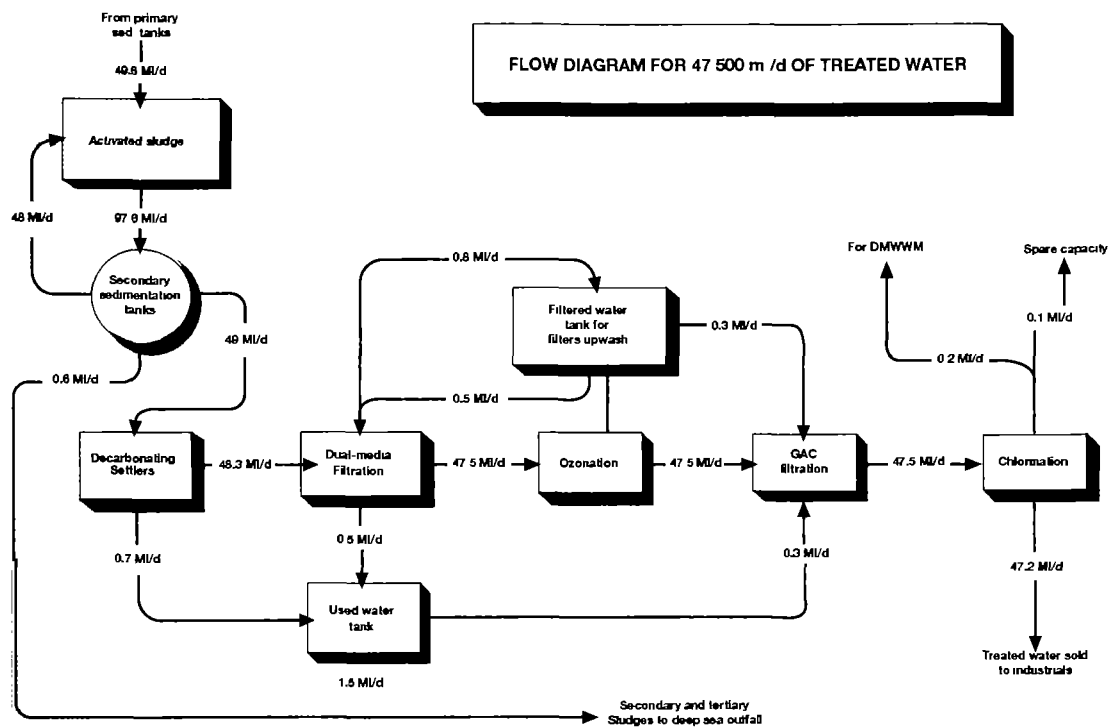


Figure 3: Durban Southern Works: Procédé de Traitement Avancé pour Réutilisation Industrielle

## REMERCIEMENTS

Cette article est en partie basé sur la recherche réalisée par la Générale des Eaux (Paris, France) et Metcalf & Eddy Inc. (Wakefield, Massachusetts) pour la Water Environment Research Foundation (Alexandria, VA, USA).

## **CAS 2: DURBAN, AFRIQUE DU SUD: PRIVATISATION & PARTAGE DES RISQUES**

Afin de mieux gérer ses ressources en eau, la ville de Durban a opté pour la mise en oeuvre d'une REU aux fins industrielles. La station d'épuration de Southern Wastewater Treatment Works y subit une expansion par ajout de procédés de traitement tertiaire avancé pour produire une eau régénérée de haute qualité, compatible avec les utilisations des industries avoisinantes, parmi lesquelles le papetier Mondi. Une pose de conduite est également nécessaire pour relier la station aux points de livraison.

Grace a une approche contractuelle innovante, la Ville a retenu le constructeur OTV pour un contrat de 20 ans afin de concevoir, construire, posséder et gérer les installations, puis les remettre à la Ville en fin de contrat. Les installations comprennent essentiellement des procédés de traitement tertiaire (coagulation, flocculation, filtration, désinfection) ajoutés aux procédés de traitement secondaires existants à la Southern Wastewater Treatment Works (voir Figure 3). Avec ce système, l'entreprise assume également la responsabilité d'une garantie de livraison et vente de 42 millions de litres-jour (MLJ) de haute qualité aux clients industriels (47 MLJ de capacité). Cette livraison permet de couvrir tous les besoins de process des industriels.

Avant de concevoir les installations, il fut nécessaire de caractériser la qualité de l'effluent secondaire pour assurer que l'eau régénérée satisfasse les très strictes spécifications de qualité établies par Mondi (le plus important client du dispositif, préalablement utilisateur d'eau potable. Sous des conditions moyennes de flux et de charge, l'entreprise détermina que ces spécifications pouvaient être respectées et garanties.

En conséquence, le projet fut conçu pour produire l'eau régénérée compatible avec les utilisations industrielles prévues pour un prix moyen de 1.79 Rand/m<sup>3</sup>, soit une économie de 0.72 Rand/m<sup>3</sup> sur les tarifs d'eau potable. Tout en s'engageant à offrir des économies significatives pour les utilisateurs, OTV récupèrera son investissement. Les recettes incluent aussi les droits de connection et des forfaits d'usage. Les forfaits d'usage incluent l'amortissement du coût d'investissement et les dépenses opératoires ainsi qu'une taxe à rembourser à la ville pour la perte en revenue d'eau potable. Des quotas de livraison d'eau, incluant des critères de qualité, de quantité et de pression, sont garantis aux utilisateurs, mais ces derniers se sont engagés à payer l'eau, qu'ils l'utilisent ou non (put or pay).

Au cas où la quantité et la qualité d'eaux primaires fournies par la ville de Durban au contracteur déclinent de façon significative (comme défini contractuellement par l'ensemble des valeurs de référence sur 24 paramètres de qualité d'eau), le stockage opérationnel et une alimentation de secours en eau potable garantiront aux utilisateurs un approvisionnement sans discontinuité. Au delà d'une franchise déductible payée par l'entreprise, les utilisateurs payent alors l'eau potable consommée au plein tarif.

Grace à ce mécanisme contractuel et de partage des risques innovants, la ville de Durban atteint ses objectifs de gestion durable des ressources en eau, tout en limitant son risque technique et financier.



## **CAS 1: OUARDANINE, TUNISIE: MISE EN OEUVRE LOCALE D'UNE POLITIQUE NATIONALE**

Depuis le début des années 80, la Tunisie a été l'un des instigateurs les plus dynamiques de la REU agricole. C'est en fait l'un des seuls pays du bassin méditerranéen qui ait élaboré et mis en oeuvre une politique nationale de réutilisation ainsi que des normes. Auparavant, les systèmes de réutilisation agricole étaient mis en oeuvre par le Ministère de l'Agriculture en collaboration avec l'ONAS et incluaient le dispositif d'irrigation de Cebela en périphérie de Tunis. L'expérience tirée de la planification et mise en oeuvre de ces premiers systèmes souligne le besoin d'études de marché approfondies et d'une parfaite adaptation du service et du produit proposés aux besoins et priorités des usagers, dans ce cas les cultivateurs (Bahri, Brissaud, 1993).

Le périmètre irrigué de Ouardanine, proche de Monastir, offre un exemple de système de REU de seconde génération. Jusqu'à 1995 la ville de Ouardanine supportait les impacts de rejets d'eaux usées non traitées dans l'Oued Guelta. La dégradation de l'environnement, et les faibles opportunités d'emploi contribuaient à l'exode rural. Chargée de remédier aux problèmes de rejet, l'ONAS rencontra de pressantes demandes de la part des agriculteurs locaux pour recycler l'eau aux fins de l'irrigation. L'ONAS mit en oeuvre un système de traitement par bassins d'oxydation, et le Commissariat Régional au Développement Agricole (CRDA) élaborait un projet d'irrigation avec les agriculteurs regroupés au sein d'une association officielle de cultivateurs (AIC). L'AIC fut responsable du choix du site, des résolutions des droits de terrain et de la sélection des cultures. Ceci a permis de faciliter les restrictions d'utilisation et d'éviter le (rejet) par les utilisateurs.

Cinquante hectares de terres irriguées en goutte à goutte sont aménagés, ainsi que des vergers et des pâturages. En l'absence de désinfection, l'irrigation de légumes ne peut être permise. Les coûts d'infrastructure furent couverts par le budget gouvernemental, incluant un pipeline de 2.5 km. Depuis le début des opérations, les coûts d'exploitation ont été couverts par le budget gouvernemental (75%) et par les cultivateurs (25%).

Le projet est considéré comme une réussite du fait qu'il a atteint les objectifs environnementaux, tout en créant une nouvelle activité économique et des emplois à Ouardanine. Le projet a non seulement créé une nouvelle ressource en eau, il a surmonté les craintes des utilisateurs quant à son utilisation par l'information et l'implication des usagers des stades de planification. La capacité limitée des bénéficiaires à payer le coût total de l'eau recyclée est supposée s'améliorer dès lors que les vergers atteignent leur maturité. L'expansion de la capacité d'irrigation et des surfaces irriguées est actuellement à l'étude.

## **Risque et responsabilité**

Malgré l'existence de lois ou directives de réglementation de la REU dans plusieurs pays, les problèmes légaux, tels que les risques et responsabilités, associés à la REU sont beaucoup moins connus du public. Historiquement, l'adhésion à des normes de qualité d'eau a été utilisée pour minimiser les risques sur la santé et la sécurité des utilisateurs et des producteurs d'eau recyclée. Les accords contractuels entre le distributeur et l'utilisateur sont le premier moyen pour limiter les risques de recours liés à la qualité et/ou à la quantité d'eau régénérée, aux problèmes de santé publique et les plaintes de préjudice personnel et de dommage privé. Les agences de REU ont également utilisé des études pilotes pour estimer leurs risques et limiter leur responsabilité, particulièrement dans les cas d'utilisations innovantes d'eau régénérée.

A ce jour, aucun cas de responsabilité professionnelle ou civile lié à la REU ne s'est matérialisé parmi les projets enquêtés. Ceci peut s'expliquer par la nature très prudente des normes de qualité d'eau appliquées. Cela s'explique aussi par la vigilance des exploitants de REU, notamment par leur examen attentif des autorisations d'utilisation, et les programmes de prévention assurant que ces utilisations sont pratiquées de manière sûre et responsable.

## **Communication de Projet**

A l'exception des projets de REU avec un utilisateur ou client unique (certains cas de REU industrielle ou municipale), la communication grand public et la formation des usagers sont des éléments essentiels de l'organisation du service de REU. Comparée aux coûts global d'un programme de REU, la communication représente un investissement décisif mais de faible coût. Une communication efficace induit une meilleure acceptation du public, renforce le soutien des décideurs, vient à bout du scepticisme instinctif de potentiels utilisateurs envers l'eau recyclée.

Différents moyens de sensibilisation (mailing, conférences, vidéos, ...) peuvent cibler des publics divers (grand public, consommateurs, politiques, presse, ...) et des objectifs distincts. Tous les projets enquêtés conviennent cependant du besoin d'initier activement de tels efforts de communication dès la phase de planification du projet.

## **Marketing et croissance**

Le marketing s'avère être l'une des clés de la réussite des projets de REU. Une vaste panoplie de stratégies est appliquée pour promouvoir l'adoption et la consommation d'eau recyclée par une base de consommateurs ciblés. Les nouveaux clients ou abonnés s'obtiennent par participation volontaire ou adhésion obligatoire. La grande majorité des projets repose sur la participation volontaire, en dépit d'un risque associé souvent important de livraisons non suffisantes ou de chutes de revenus. Faute d'adhésion obligatoire, une assistance technique et financière dynamique et flexible pour moderniser les connections du consommateur est un stimulant efficace pour sécuriser la demande en eau recyclée.

Les coûts et bénéfices spécifiques à la REU incluent :

- coûts de traitement supplémentaires
- cout de distribution et stockage de l'eau recyclée
- couts de modification des raccordements, et couts de formation du client (très souvent négligés)
- économies en coûts d'investissement et de fonctionnement de l'AEP
- économies en coûts des procédures d'autorisation de rejets ou prélèvement
- pertes de recette de vente d'eau potable.

Les bénéfices non-tangibles associés à la ressource additionnelle et la réduction de rejets de la REU sont par définition plus difficiles à quantifier. On s'aperçoit en fait que la quantification de ces bénéfices est systématiquement omise des argumentaires économiques de planification. Ces bénéfices incluent : Une fiabilité de service à l'épreuve de sécheresse, une meilleure protection du milieu naturel, un potentiel accru de développement économique. De meilleures garanties d'hygiène et de santé publique en découlent aussi, car la REU permet de réserver les ressources d'eau brute de meilleure qualité aux besoins de l'AEP.

### **Analyse financière et stratégie de fixation des prix**

L'analyse financière détermine si un projet peut être financé, et mesure si le revenu d'exploitation couvrira les coûts opératoires, l'amortissement et le service de la dette. Comme tout projet d'infrastructure hydraulique, le financement de capitaux de la REU peut provenir d'obligations, de prêts et de subventions gouvernementaux, ainsi que de contributions en capitaux de partenaires privés (promoteurs, utilisateurs industriels etc.).

Dans la plupart des projets enquêtés, la tarification de l'eau recyclée reflète une préoccupation prioritaire, à savoir le besoin d'offrir un service compétitif par rapport à celui, existant, de l'eau potable. L'eau recyclée est ainsi souvent vendue à perte, avec des remises commerciales importantes, et ne permet qu'un recouvrement partiel des coûts. Seule une minorité de projets fixe la stratégie de facturation dans un but de recouvrement global des coûts. En ne visant qu'un recouvrement partiel des coûts de REU, la plupart des projets comptent sur des transferts inter-agence ou intra-agence pour assurer leur viabilité financière. De tels transferts sont le plus souvent justifiés au vu de l'ensemble des bénéfices, monétaires et non-monétaires, qu'apporte la REU.

Les facteurs entrant en ligne de compte dans le calcul du prix de l'eau, avant remises commerciales :

- Prévisions de volumes distribués
- Coûts de distribution
- Coûts de raccordement
- Valeur attribuée au pouvoir fertilisant de l'eau recyclée (N,P)
- Valeur attribuée à la fiabilité de service (à l'épreuve de sécheresse)

Les structures de tarification rencontrées varient beaucoup : Forfait (ex : N dollars/hectare irrigué/mois) ; Prix unitaire (ex : N dollars/m<sup>3</sup>), Forfait + variable, Tarification par blocs. Dans certains cas (take or pay) les utilisateurs sont liés par un forfait, payable même s'ils n'utilisent pas l'eau.

Toutes les enquêtes révèlent des prix d'eau recyclée plus bas que les prix locaux de l'eau potable. Pour environ le tiers des projets américains de l'enquête, le prix de l'eau recyclée s'approche de celui de l'eau potable (i.e. supérieur à 75% du prix de l'eau potable).

Cette étude a également créé une nouvelle base de données pour l'industrie de la REU, sous forme d'un site internet et d'une base de données dédiés à la problématique de gestion de la REU. Initialement réservé aux agences participantes et aux membres de la WERF, le site internet inclut une base de données consultable en ligne (couvrant les huit thèmes cités ci-dessus), un résumé des résultats de l'analyse de données, des études de cas thématiques, et ainsi que de nombreuses références et liens. Le site propose également une large bibliographie des problèmes de gestion de la réutilisation et ainsi qu'une sélection de documents téléchargeables (rapports d'études, contrats, règlements, brochures, ...) offerts par les agences sondées.

La participation de nouvelles agences est possible grâce à par l'entrée de données en ligne, et permet d'accroître le contenu et la portée de cette nouvelle base d'informations.

#### **4. ASPECTS DE LA GESTION DE SYSTEMES DE (REU) NON POTABLE**

##### **Cadre institutionnel**

La réussite d'un système de REU peut fortement dépendre de la structure de l'agence responsable de sa planification et mise en oeuvre.

Quatre types d'organisations de projet de REU ont été identifiés – les projets planifiés et mis en oeuvre par une agence d'AEP, ceux menés par une agence d'assainissement, ceux menés par une agence intégrée (eau et assainissement), et les autres cas. Parmi ces derniers figurent les agences de REU régionales, recyclant les eaux de diverses agences d'assainissement, ou distribuant en gros l'eau régénérée à divers services municipaux locaux. La plupart des systèmes de REU enquêtés relevaient d'une d'agence eau et assainissement.

En dépit des motivations et intérêts souvent divergents de ces divers types de structure responsable du la mise en oeuvre et de la gestion de systèmes de REU, la plupart partagent le besoin de recourir à la REU pour éviter le coût de développement de nouvelles ressources en eau. Quel que soit l'agence qui pilote un projet de REU, la coordination avec les autres agences locales d'AEP ou assainissement est primordiale pour minimiser ou compenser les impacts indésirables, tels que notamment la perte de recettes en eau potable. Les agences intégrées, ainsi que certaines agences régionales de REU, possèderaient sur ce point un avantage intrinsèque. De nombreux projets réussis ont néanmoins été développés par des agences non intégrés. Une des clés du succès est la communication entre les agences municipales ou régionales touchées directement ou indirectement dans le projet de réutilisation.

##### **Analyse économique, estimation des coûts et bénéfices**

L'analyse économique a pour but de déterminer si un projet de REU est économiquement justifié, en comparant quantitativement coûts et bénéfices du projet. Pour les projets de REU non potable, une telle évaluation en termes économiques est souvent difficile à formuler, en raison de :

- difficultés de prévision des ventes d'eau régénérée
- difficultés de prévision des pertes de recettes de vente d'eau potable
- difficultés d'estimation des coûts et bénéfices des agences environnantes
- difficultés d'optimisation de la taille et zone de desserte du projets
- difficultés d'estimation des bénéfices non tangibles, ou non mesurables en termes financiers (milieu naturel, développement économique, santé publique,..)

Des réponses validées furent obtenues pour des systèmes en Australie (3), Canada (1), Espagne (9), Etats Unis (40), France (1), Israel (1), Japon (3), Namibie (1), Oman (1), Portugal (2) et Tunisie (3).

Toutes les principales applications de la REU non potable furent abordées, incluant l'irrigation agricole, l'arrosage d'espaces verts, la recharge de nappe, l'aménagement de plans d'eau, les systèmes de refroidissement et de process industriels, les systèmes de chasse d'eau de lutte anti-incendie. Les capacités de production s'échelonnent entre moins de 4 millions litres par jour (MLJ) à plus de 400 MLJ. Les systèmes de recyclage sur site industriel et les systèmes d'épuration par le sol ne sont pas inclus dans cette enquête.

L'étude avait en particulier pour but de documenter les solutions établies et innovantes en matière de planification et de gestion, en se focalisant sur huit thèmes :

- cadre institutionnel et structures de gestion
- procédés de planification, y compris études de marché
- conformité réglementaire et autorisations
- analyse économique et principes de répartition des coûts et des bénéfices
- faisabilité financière et tarification
- problèmes légaux et de responsabilité, y compris droit de l'eau
- programmes pour l'instruction et la participation des communautés
- marketing de croissance et pérennité de la réutilisation.

Les données rassemblées furent analysées pour extraire les tendances et les exceptions. Etant donnée les hétérogénéités de l'échantillon, l'analyse quantitative n'a pas de valeur statistique.

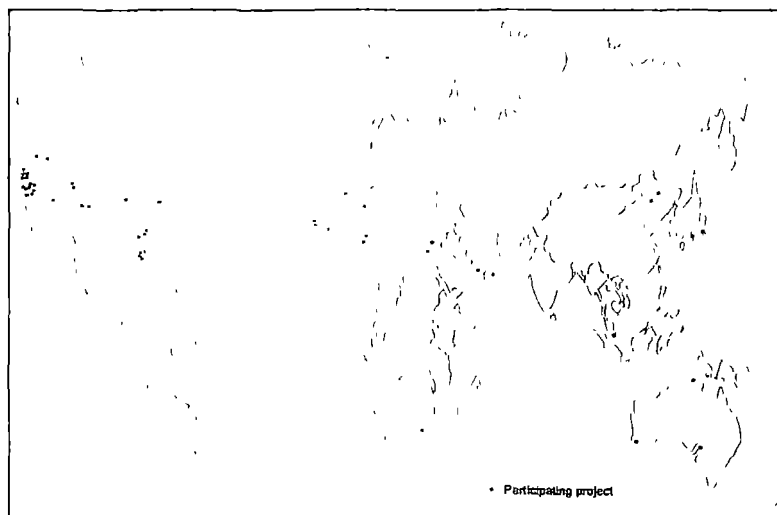


Figure 2: Répartition des systèmes de REU non potable étudiés

En ordre décroissant de volumes de consommation, ces applications non potables incluent l'irrigation agricole, l'irrigation d'espaces verts, les utilisations industrielles (refroidissement, process et lavage) et les utilisations environnementales (recharge des aquifères, aménagement de lacs, étiage de rivières). D'autres utilisations municipales, commerciales et domestiques peuvent aussi inclure les systèmes de chasse d'eau, de protection d'incendie, et la création de plans d'eau d'agrément. La recharge d'aquifères, au sein des zones de capture de puits d'AEP relève de la REU indirecte aux fins de la potabilisation, ou (REU indirecte potable).

La REU non potable présente des avantages très significatifs. Elle permet notamment de:

- Se substituer à l'eau potable pour satisfaire diverses demandes en eau non potable,
- Préserver les ressources d'eau (douce) pour les usages à plus haute exigence de qualité, telles que l'AEP,
- Réduire le rejet d'effluents au milieu naturel.

L'eau recyclée est en outre disponible à proximité des centres urbains et représente une ressource à l'épreuve de sécheresse. Dès lors que l'on évite toute ingestion humaine, les systèmes de REU correctement exploités sont également très sûrs, et l'on ne dénombre aucun cas documenté d'impact sur la santé publique aux Etats-Unis.

Hormis les restrictions d'usage, les deux contraintes majeures de la REU non potable incluent :

**Les coûts de la distribution séparative** : Des conduites spécifiques sont requises pour transporter l'eau recyclée de la production à la consommation. Les coûts d'investissement et d'exploitation de tels systèmes sont extrêmement variables, dépendant du volume, des distances et des applications servies par la REU. Ils représentent le plus important coût dans un système de REU non potable. Pour les applications urbaines, l'installation de systèmes de distribution séparative est requise, dans lesquels les conduites d'eau recyclée sont adjacentes aux conduites d'eau potable. L'investissement de distribution séparative peut être réduit de façon significative dans les zones en cours de lotissement, par la pose simultanée des conduites d'eau potable et non potable.

**Les challenges du développement commercial** : la plupart des systèmes de REU non potable reposent sur la vente de l'eau recyclée pour atteindre leurs objectifs de rentabilité. Cependant, la constitution d'une base de consommateurs suffisante et stable représente un défi majeur pour toute nouvelle agence de REU. Au delà des programmes de sensibilisation nécessaires pour convaincre des utilisateurs potentiels du bien fondé et de la sécurité du service d'eau recyclée, les agences ont besoin de (déloger) la consommation d'eau potable. Une tarification compétitive, des programmes de marketing et d'aide au raccordement sont nécessaires à cet effet.

### **3. ENQUETE DES PRATIQUES DE GESTION**

Afin de promouvoir la durabilité de systèmes de REU non potable, la "Water Environment Research Foundation" (WERF) (Alexandria, Virginia, USA) a financé une étude internationale des expériences de planification et gestion de la REU non potable.

Menée par Générale des Eaux, en collaboration avec Metcalf & Eddy Inc., l'Université de Californie, et l'Université de Caroline du Nord, ce projet de recherche a comporté une enquête de gestion englobant 65 systèmes (cf. Figure 2) et le développement d'études de cas thématiques.

En créant une nouvelle ressource tout en réduisant les rejets d'effluents, la REU est une composante émergente de la gestion intégrée des eaux urbaines. Du fait d'une bonne acceptation par le public, de risques sanitaires bien maîtrisés et de solides bases règlementaires, les applications de la REU non potable ont été jusqu'à présent privilégiées par rapport à la REU aux fins de la potabilisation (ou REU potable).

Une grosse expérience des technologies et de l'exploitation propres aux applications non potables a été acquise au cours des trente dernières années (USEPA, 1992). Les planificateurs et gestionnaires des services de REU restent néanmoins toujours confrontés à de complexes problèmes institutionnels, législatifs et de responsabilité, inhérents à la distribution d'eaux recyclées. En outre, à cause des contraintes commerciales et territoriales, les retombées économiques et les résultats financiers de projets de REU non potable demeurent difficiles à estimer et à maximiser. Le service de REU a été justement décrit comme un troisième service, à la fois hybride et distinct des services d'AEP et d'assainissement pré-existants.

Pour les agences traditionnelles d'AEP et d'assainissement, la mise en oeuvre d'une REU représente une importante diversification. A travers le monde, les risques associés aux incertitudes de planification et de gestion sont devenus plus cruciaux pour la durabilité des projets que leur conception technique. Des hypothèses de planification inadaptées, un choix non-optimal des zones et clients desservis, un prix non compétitif d'eau régénérée, voire, une mauvaise communication de projet, sont de communes raisons d'échec de projets de REU.

## 2. LA REUTILISATION DES EAUX (NON POTABLE)

La figure 1 illustre les concepts et les applications courantes de la REU. La REU non potable est définie comme la valorisation d'effluents d'eaux usées domestiques épurées aux fins d'usages ne requérant pas une eau potable.

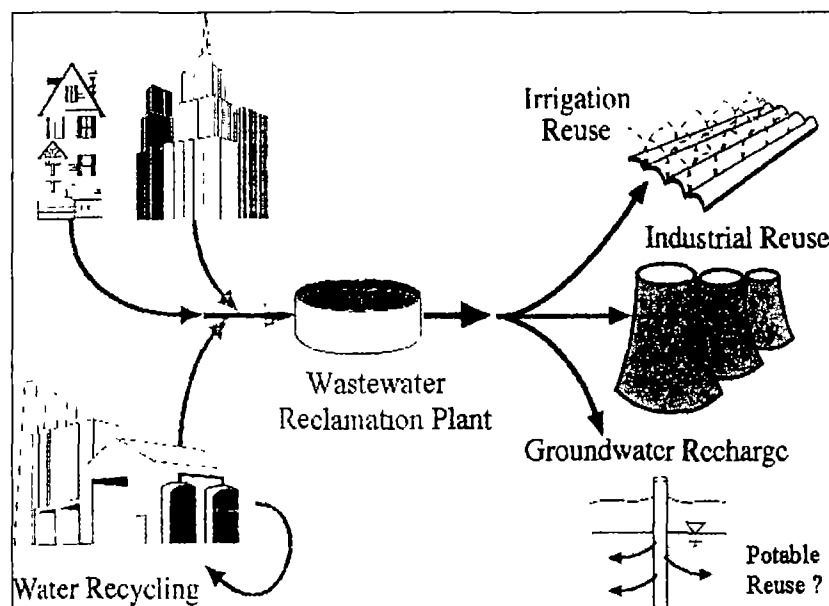


Figure 1: Concepts et applications de la REU non potable

Après passage en revue des principaux résultats et conclusions de l'étude, deux cas d'étude africains sont proposés pour illustrer la diversité des approches techniques, commerciales, institutionnelles et financières envisageables pour assurer la conduite à long terme de projets industriels ou agricoles de REU :

Le premier cas est celui d'un petit système de REU agricole en Tunisie. Faisant partie du programme national de REU, le projet Ouardanine (Monastir) associe une station de traitement d'eaux usées à 50 ha de terres et vergers irrigués. Bénéficiant de 10 ans d'expériences tunisiennes en matière d'organisation et de gestion de la REU, ce projet de seconde génération débuta en 1995. Il a supprimé les rejets directs d'eaux usées brutes, tout en soutenant une forte nouvelle activité économique pour une association d'agriculteurs.

La seconde étude de cas s'inscrit dans un contexte totalement différent : le projet Southern Works à Durban (Afrique du Sud) consiste en un REU à grande échelle pour usages industriels. Mis en oeuvre en tant que concession privée pour le service des eaux de la ville de Durban (Durban Metro Water Service), ce projet fournira 47 ML/jour d'eau de haute qualité pour les besoins de process de diverses usines locales, dont une papeterie. Suite au démarrage prévu en l'an 2000, ce projet diminuera les rejets d'effluents au milieu naturel et libèrera un volume important d'eau potable pour la consommation domestique. Il apporte également aux industriels d'importantes économies pour leur alimentation en eau de process. La viabilité de long terme de ce projet est favorisée par des solutions contractuelles novatrices, dont le partage des risques, qui lient la collectivité, l'entreprise concessionnaire privée, et les usagers.

## **MOTS CLES**

Réutilisation des eaux, réutilisation non potable, réutilisation agricole, réutilisation industrielle, eau régénérée, recyclage des eaux, planification et gestion, Tunisie, Afrique du Sud

## **1. INTRODUCTION**

La demande en eau des villes s'accroît de par le monde, entraînée par une urbanisation et un développement économique sans précédents. De plus en plus, les prélèvements d'AEP atteignent voire excèdent la capacité de renouvellement des ressources. La mise en oeuvre de nouvelles ressources plus distantes se heurte quant à elle à des surcoûts et impératifs de plus en plus contraignants de protection du milieu naturel. Qui plus est, les villes sont amenées à réduire la charge, voire le volume de leurs rejets, pour éviter d'inacceptables impacts sur le milieu naturel et la santé publique. Plusieurs villes africaines subissent déjà des pénuries d'eau saisonnières ou chroniques, et voient s'accroître leur risques de déficit et contamination de leurs sources d'AEP.

Jadis restreinte aux zones semi-arides frappées de déficits extrêmes, ou aux villes confrontées à des contraintes de rejet extrême strictes, la REU constitue une option stratégique de gestion de l'eau de plus en plus souhaitable pour soutenir la croissance urbaine.



# **Pratiques de Gestion de Réutilisation des Eaux Usées: Applications Agricoles et Industrielles en Afrique**

## **RESUME**

La rapide expansion des communautés urbaines et sub-urbaines de par le monde se trouve confrontée à une disponibilité limitée des ressources en eau pour satisfaire les demandes croissantes. Ce phénomène n'est pas restreint aux contextes semi-arides. Déjà de nombreuses villes africaines souffrent de pénuries saisonnières ou chroniques d'approvisionnement en eau potable (AEP), et courent le risque de surexploitation et dégradation des ressources existantes. Pour ces communautés, une réutilisation des eaux usées (REU) permet de créer une ressource d'eau économiquement valorisable tout en atténuant les déficits. Cela a aussi pour effet de protéger l'environnement en limitant à la fois la surexploitation des ressources et le rejet d'effluents. La REU s'annonce donc comme une composante importante de toute stratégie de gestion intégrée des ressources en eau.

La REU pour des usages non-potables reste à ce jour la pratique la plus courante. La réutilisation aux fins de la potabilisation demeure une pratique controversée, aux risques sanitaires imparfaitement maîtrisés, et limitée à des situations de pénurie extrême. Les applications courantes de la REU non potable comprennent l'irrigation agricole et municipale, les utilisations industrielles et les utilisations environnementales. La REU non potable présente des coûts de traitement modérés, et ses usages sont très bien acceptés par les utilisateurs puisque les risques sanitaires sont parfaitement identifiés et maîtrisés. L'installation de systèmes de REU non potable est facilitée par l'existence de repères réglementaires ainsi que de procédés fiables, tels que ceux recommandés pour l'irrigation par l'Organisation Mondiale de la Santé en 1989. La REU non potable présente également une complexité de planification unique en son genre en raison des impératifs de distribution et vente de l'eau régénérée. Ces challenges incluent l'identification et le développement de marchés durables pour un produit "eau régénérée" parfois mal perçu, le financement et l'amortissement du lourd investissement nécessaire aux réseaux de distribution séparatifs, et la mise en place d'une troisième service empiétant sur les services pré-existants d'AEP et d'assainissement.

Partant de ce constat, la "Water Environment Research Foundation" (WERF) a lancé une évaluation des pratiques de gestion et planification de la REU non potable. L'étude englobe soixante cinq projets internationaux de REU non potable, afin d'y documenter les approches de planification et gestion de systèmes de REU agricole, urbaine et industrielle, que ce soit pour les pays industrialisés ou en voie de développement. Les conclusions confirment qu'au delà de la performances opérationnelle, la réussite de tels projets relève aussi de montages institutionnels viables, d'estimations de coûts et de ventes prudentes, et d'une bonne communication de projet.

# PRATIQUES DE GESTION DE LA RÉUTILISATION DES EAUX USÉES: APPLICATIONS AGRICOLES ET INDUSTRIELLES EN AFRIQUE

*Contributeurs : Générale des Eaux/  
Durban Metro Water & Waste  
Pier Mantovani, Générale des Eaux*

LIBRARY IRC  
PO Box 93190, 2509 AD THE HAGUE  
Tel.: +31 70 30 689 80  
Fax: +31 70 35 899 64  
BARCODE: 16035  
LO

## COMMUNICATIONS

08h35 - 08h50

Présentation: **PRATIQUES DE GESTION DE LA RÉUTILISATION DES EAUX USEES: APPLICATIONS AGRICOLES ET INDUSTRIELLES EN AFRIQUE.**

*Par Pier MANTOVANI (DMWW/CGE)*

08h50 - 09h05

Présentation: **RÉUTILISATION DES EAUX USEES EPUREES POUR L'ARROSAGE DU GOLF: LE CAS DE BEN SLIMAN**

*Par A. FOURLANE & B.A. YOUNGUBI (ONEP)*

09h05 - 09h20

Présentation : **RÉUTILISATION DES EAUX USEES ET DE LEURS SOUS PRODUITS**

*Par Cissé GUELADIO (EIER)*

**THÈME No.2**

*Library*  
IRC International Water  
and Sanitation Centre  
Tel . +31 70 30 689 80  
Fax +31 70 35 899 64

**REUTILISATION DES EAUX USEES ET DES  
SOUS PRODUITS D'EPURATION**