

Vers une optimisation de la gestion intégrée en temps réel des ressources hydriques

par

*Ben sassi, salim, LAREQUAD (laboratoire de recherche en économie quantitative de
développement)-Tunis, Tunisie-*

INTRODUCTION

La Tunisie demeure un pays aride à semi-aride sur les trois quart de son territoire. Elle se caractérise par la rareté de ses ressources en eau et par une variabilité accentuée du climat dans l'espace et dans le temps. Le maintien de la croissance économique reste tributaire du facteur eau qui est cependant un facteur limitant et limité, alors que les usages de l'eau ne cessent de croître. Cependant, les procédés de concordance entre l'offre et le demande sont souvent lourds et peu efficaces, mais en tant que système intégré, ils sont conçus d'une manière conséquente et fonctionnelle. C'est pourquoi, le système de gestion de ressources en eau existant nécessite une optimisation et non une nouvelle conception.

D'autre part, la Tunisie pourrait être soumise à des pressions dues à des sécheresses accentuées, à des problèmes de pollution, à une surexploitation des ressources les plus facilement exploitables et même à des risques de surabondance limités dans le temps et dans l'espace qui compliquait davantage la gestion des ressources. Ainsi, une meilleure approximation des niveaux optimaux de gestion sera celle qui tienne compte des incertitudes et de l'aléa hydrologique. Il est toutefois indispensable d'appréhender les usages de l'eau et de formuler convenablement les différentes demandes correspondant à ces usages afin de mettre en place les consignes de gestion de la ressource en eau.

Ces risques et incertitudes qui peuvent être de nature démographiques, sociales, culturels, économiques et écologiques, nous appelle à approfondir les offres et les demandes de façon plus spécifique et technique, tant en ce qui concerne les quantités que les qualités des eaux. Ce sont ces incertitudes que la mise en œuvre de développement durable demande de prendre en compte au nom du principe de précaution, car la gestion durable des ressources en eau se réfère à un système de gestion ayant comme objectif la préservation de la ressource à long terme en quantité et en qualité.

1. Etat des ressources hydriques

1.1 Disponibilité en eau

La Tunisie se place dans la catégorie des pays les moins dotés en ressources en eau dans le bassin méditerranéen. En effet, pour une population de dix millions d'habitants, la dotation moyenne par habitant et par an est estimée à 450m³. Ce chiffre est appelé à diminuer progressivement pour atteindre 350m³ par habitant en l'an 2030 pour une population de 12 millions d'habitants.

Tableau 1 : Ressources en eau

Types des ressources en eau	Moyenne annuelle à long terme
Précipitation	36000
Evapotranspiration et écoulement vers les zones humides de la mer	19700
Ressources internes	4240
Apport externe réel	420
Flux sortant réel	420
Total des ressources en eaux douces	4240
Eaux souterraines renouvelables disponibles	1550
Ressources en eaux de surface disponibles à 95% du temps ou potentiel facilement mobilisable	2100
Eaux souterraines non renouvelables exploitées	610

Source : Direction des Etudes, SONEDE 2002

Les ressources en eau de surface sont très variables dans le temps et dans l'espace. Dans le sud où il pleut rarement, les apports en eau de surface sont très faibles et très irréguliers alors que dans le nord du pays, ces apports sont plus importants et plus réguliers. La moyenne interannuelle des apports en eau de surface est estimée à 2,7 milliards de m³ par an dont 80% proviennent des régions du nord du pays.

Les ressources en eau souterraines moyennes annuelles sont estimées à 2,1 milliards de m³ dont 71,7% des ressources renouvelables et 28,8% des ressources non renouvelables.

La recharge naturelle des nappes à ressources renouvelables est très variable à l'échelle du temps suivant la pluviométrie. Mais grâce aux importantes réserves en eau des nappes d'eau souterraines, les ressources exploitables annuellement sont estimées sur la base des apports moyens annuels. Ainsi, le total des ressources eau de la Tunisie est estimé en moyenne à 4860 millions de m³ dont 2160 millions de m³ comme eaux souterraines soit 44,4% et 2700 millions de m³ comme eaux de surface soit 55,6%.

Les prélèvements d'eau se font soit par le secteur public ou le secteur privé. Les prélèvements publics sont assurés par les sociétés de distribution d'eau telles que la société nationale d'exploitation et de distribution d'eau (SONEDE) et la société d'exploitation du canal et des adductions des eaux du nord (SCEADENORD) et aussi les groupements de développement agricole (GDA). Les prélèvements du secteur privé se font essentiellement par des ouvrages et des équipements individuels tels que les puits, les forages et les équipements de pompage sur les oueds et les lacs des barrages.

1.2 Demande et évolution

1.2.1 Croissance globale : La pression démographique s'exercera dans les années à venir surtout autour des centres urbains littoraux. L'amélioration des conditions socio-économiques des couches défavorisées et l'accès des populations rurales à l'eau potable se traduiront par un accroissement de la demande en eau potable et en services d'assainissement.

1.2.2 Croissance sectorielle :

Tableau 2 : Accroissement de la demande en eau 1996-2030 (Mm³/an)

Secteur	1996	2010	2020	2030
Agriculture	2115	2141	2083	2035
Eau potable	290	381	438	491
Industrie	104	136	164	203
Tourisme	19	31	36	41
Total	2528	2689	2721	2770

Source : Direction des Etudes, SONEDE 2002

Ces chiffres globaux traduisent un accroissement de la demande urbaine et rurale. Mais le développement économique et les mutations profondes que connaît le pays génèrent également une demande additionnelle en eau sectorielle : c'est le cas du secteur touristique dont les besoins seront probablement multipliés par deux en 2030, ainsi que la demande industrielle qui devrait presque doubler dans le même temps. La demande agricole, quant à elle, continuera à augmenter légèrement jusqu'en 2010 pour diminuer plus tard.

Les besoins en eau potable sont couverts actuellement à 100% dans les agglomérations urbaines et à 87,5% dans les zones rurales.

Si la priorité est toujours donnée à l'alimentation en eau potable, le secteur agricole reste le principal utilisateur des ressources en eau (80% de la demande en 2010).

1.2.3 Bilan hydrique : Grâce aux efforts de mobilisation des ressources (construction des grands barrages, de barrages collinaires et lacs collinaires et des ouvrages de recharge de nappes, des travaux de conservation des eaux et du sol, etc.), en plus du recours aux ressources non conventionnelles (valorisation des eaux usées épurées, dessalement des eaux de saumâtres et salées) et à une politique d'économie d'eau et de contrôle des pollutions, le bilan ressources-demandes sera encore excédentaire à l'horizon 2030 et la sécurité en eau du pays assurée.

Tableau 3 : Bilan hydrique (unité : millions de m³/an)

	1996	2010	2020	2030
Ressources en eau disponibles au prélèvement	2767	3300	3106	3121
Demande d'eau globale	2528	2689	2721	2770

Source : Direction des Etudes, SONEDE 2002

Bien que ces chiffres et ces prévisions semblent être rassurants, peuvent aussi nous induire en erreur car les ressources en eau connaissent plusieurs menaces que nous devons en faire face.

1.3 Menaces principales pour les ressources en eau

- La surexploitation des ressources en eau souterraine entraîne la baisse des niveaux piézométriques, assèchement des sources, etc., qui peuvent engendrer une intrusion d'eaux saumâtres ou d'eau de mer dans les aquifères côtiers, avec des effets négatifs sur les écosystèmes et l'environnement.
- La pollution des ressources eau (cours d'eau, nappes,...) par rejets solides ou liquides dans le milieu, les cours d'eau et les nappes d'eau souterraines vulnérables.
- L'envasement des retenues des barrages, des lacs collinaires de même que l'engravement des cours d'eau naturels suite à la multiplication des ouvrages de rétention en amont : ces cours d'eau ne sont plus en mesure d'évacuer les débits de crue qu'ils évacuaient auparavant.

- La fréquence d'années sèches successives qui entravent le renouvellement annuel des ressources en eau.
- Le gaspillage d'eau et les pertes
- Impact des changements climatiques : les changements climatiques se traduiront pour la Tunisie, par une augmentation de la température moyenne annuelle (+1,1°C en 2030 et +2,1°C en 2050 sur l'ensemble du pays), une baisse modérée des précipitations (-5% au nord et -10% au sud) et une variabilité accrue du climat.

En particulier les phénomènes extrêmes (sécheresse, inondation, vent) augmenteront en fréquence et en intensité, les années sèches devant se succéder plus souvent à l'avenir. Les ressources en eau à titre principal au niveau des nappes phréatiques de forte salinité, des nappes littorales et des aquifères non renouvelables diminueront de 28% en 2030. La diminution des eaux de surface sera d'environ 5% au même horizon. L'eau exploitable diminuera légèrement et le bilan hydrique sera affecté. La diminution des précipitations estivales augmentera le manque hydrique du sol.

2. Gestion intégrée des ressources en eau avec incertitudes :

La gestion intégrée des ressources en eau apparaît comme une notion fort complexe du fait de l'interaction de nombre de facteurs et de préoccupations dont le gestionnaire doit tenir compte. Elle peut revêtir également plusieurs significations.

Communément, la gestion intégrée se base sur le circuit de l'eau ou système hydraulique dans son intégralité. Le gestionnaire gère en commun les différentes composantes du système hydraulique soit au niveau de la mobilisation/production soit au niveau de l'utilisation.

Au niveau de la mobilisation/production, la classification la plus utilisée distingue les eaux conventionnelles (eaux de surface mobilisées par les barrages,

barrages et lacs collinaires, ou ouvrages d'épandage des eaux de crue, eaux des nappes profondes mobilisées par forages, eaux des nappes phréatiques mobilisées par les puits de surface, les sources et captages) et les eaux non conventionnelles (eaux usées traitées, eaux dessalées). Au niveau de l'utilisation, on distingue l'eau d'irrigation, l'eau potable et l'eau industrielle.

La gestion intégrée se rapporte à la gestion de l'ensemble des ressources de façon alternative ou combinée pour la satisfaction des besoins spécifiques ou non des utilisateurs à un coût acceptable. Les trois principales variables à maîtriser dans cette gestion intégrée sont la quantité, la qualité et le coût. On parlera alors de gestion de la quantité, gestion de la qualité et gestion des coûts qui décrivent des sous-systèmes de gestion ayant comme objectif principal la maîtrise de l'une des variables.

C'est à ce niveau qu'on parle alors de gestion optimale des ressources en eau. L'optimisation ne peut se faire que pour une variable, considérant les autres comme une contrainte.

2.1 Gestion de l'offre

La gestion de l'offre (tel que définit par la banque mondiale en 1994) traite des activités nécessaires pour repérer, mettre en valeur et exploiter de nouvelles sources (d'eau), et la gestion de la demande porte sur les mécanismes permettant d'obtenir des niveaux et des modalités plus indiquées de l'utilisation de l'eau. La planification réunit les deux aspects et assure la base analytique nécessaire pour procéder à un choix.

La gestion de l'offre considère le développement aussi bien des ressources hydriques conventionnelles que non conventionnelles. Les ressources conventionnelles pourraient inclure la construction des barrages, les réservoirs, les puits, les pompes, les canaux d'irrigation, les nappes d'eau, etc. Les ressources non conventionnelles incluent le traitement des eaux usées, l'importation de l'eau et le dessalement des eaux.

Il est également mentionné que la gestion de l'offre pourrait inclure une meilleure exploitation conjointe d'installations à l'échelle du bassin, une utilisation commune des eaux de surface et des eaux souterraines ou bien un renforcement de l'exploitation et de la maintenance au niveau du projet qui peut constituer un moyen très économique d'augmenter l'apport en eau douce.

2.2 Gestion de la demande

Selon le document de la Banque, «la gestion de la demande peut prendre de nombreuses formes, depuis des mesures directes de régulation de l'utilisation de l'eau, aux mesures indirectes visant les comportements volontaires (mécanismes du marché, mesures d'incitation financières, programmes de sensibilisation du public). Ce sont les distorsions des prix qui amplifient souvent les problèmes tant de pénurie que de qualité de l'eau. De faibles redevances d'eau encouragent la consommation et le gaspillage. Elles grèvent également les budgets d'exploitation et de maintenance avec pour conséquence un traitement défectueux de l'eau et une détérioration accrue de la qualité de l'eau. »

Le document va jusqu'à lister un nombre de mesures de gestion de la demande telles que:

2.2.1 La sensibilisation du public

Les appels lancés au public dans le cadre de campagnes de sensibilisation peuvent aboutir à de profondes modifications dans les comportements humains à l'égard de la conservation et de l'utilisation de l'eau.

2.2.2 Le perfectionnement pour une meilleure utilisation de l'eau

La réduction des pertes en eau, les programmes de détection des fuites et de réparation, la détection de branchements illégaux et la réduction de la pression dans le réseau sont autant d'interventions qui ont un rôle à jouer dans un programme de gestion de la demande.

En plus, les interventions techniques, les revêtements des canaux et l'amélioration des techniques de transport, le nivellement des sols, l'instauration de pratiques plus performantes ou des techniques d'irrigation améliorées

(irrigation par aspersion ou goutte à goutte) peuvent jouer un rôle dans la réduction de la consommation d'eau.

2.2.3 Les mesures réglementaires

- a) Les mesures réglementaires peuvent inclure des restrictions quantitatives, toutefois difficiles à appliquer sous forme d'interdictions spécifiques, bien que ces dernières soient plus faciles à mettre en œuvre sous forme de supervision;
- b) le rationnement ou l'approvisionnement par roulement;
- c) le contrôle direct sur les cultures, bien que cette solution préjudiciables sur la valeur ajoutée agricole;
- d) le règlement de l'exploitation des eaux souterraines.

2.2.4 Les mesures d'incitations financières

Les redevances d'eau sont en règle générale considérées comme un mécanisme de financement des coûts d'exploitation et de maintenance de l'organisme chargé de l'eau plutôt qu'une mesure de gestion de la demande visant à encourager une utilisation efficace de l'eau ou à redistribuer l'eau pour passer d'une utilisation de faible rendement à des utilisations à fort rendement. Tout relèvement significatif des redevances d'eau encouragerait les économies de consommation d'eau, par exemple en poussant les agriculteurs à investir dans des appareils et des technologies permettant d'économiser l'eau ou bien changer de systèmes de culture pour abandonner les cultures fort consommatrices en eau.

2.2.5 Les marchés de l'eau

L'existence des marchés de l'eau « devra être facilitée dans la mesure du possible partout où ils répondent à un besoin déclaré. La redistribution des ressources par la voie de mécanismes du marché en plus grande quantité, sur de plus grandes distances ou entre des secteurs plus importants pose des problèmes totalement différents ».

2.3 Différents aspects de la gestion intégrée des ressources en eau

L'eau étant un élément vital pour l'homme et pour les autres êtres vivants et facteur de production pour les activités humaines, la gestion intégrée inclut également les aspects sociaux, économiques, environnementaux et de développement durable ainsi que les aspects législatifs et institutionnels.

Les aspects sociaux peuvent inclure un approvisionnement satisfaisant en eau potable pour toute la population ainsi que l'élévation du niveau de vie des populations rurales par une intensification de la production agricole amenant une augmentation des revenus et la création d'emplois.

Les aspects économiques incluent les investissements que la communauté est prête à investir dans le secteur, compte tenu des objectifs de développement et des équilibres généraux, ainsi que les charges de production des différents opérateurs dans le secteur de l'eau et les coûts économiquement et socialement supportables par les utilisateurs. Ils visent une augmentation de la valorisation du potentiel en eau et sol du pays pour la production de denrées alimentaires stratégiques (auto suffisance, exportation) ou de grande valeur ajoutée, ainsi que la valorisation économique des ressources en eau par les autres secteurs économiques (industrie, tourisme, agriculture).

Les aspects environnementaux couvrent aussi bien la préservation de la santé humaine contre les maladies et la pollution hydrique que celle des milieux naturels sensibles particulièrement les zones humides ayant un intérêt écologique à l'échelle nationale et internationale.

Dans le cadre de la politique de développement, on utilise le terme de gestion durable des ressources en eau et des infrastructures qui se réfère à un système de gestion ayant pour objectif la préservation de la ressource en eau et des infrastructures en quantité et en qualité à long terme comme un droit pour les générations actuelles et futures. Il en est ainsi de la gestion des aquifères dont la salinisation par surexploitation ou la pollution peut être irréversible ainsi que le

phénomène de l'envasement des retenues par les transports solides provenant de l'érosion qui diminuent leurs capacités et leur durée de vie.

Les aspects législatifs et institutionnels constituent l'enveloppe générale de l'ensemble car ils fixent les règles de jeu des relations des différents intervenants à propos de l'eau ainsi que le cadre réglementaire opérationnel et territorial.

3. Optimisation de la gestion intégrée des ressources en eau avec incertitudes

La prise en compte du caractère aléatoire des données hydrologiques dans l'analyse des systèmes de ressources en eau nous amène à considérer les modèles stochastiques. Il s'agit donc d'un système où les variables suivent une loi de probabilité (Yakowitz S, 1982).

Plusieurs modèles stochastiques de planification ont été développés pour incorporer la notion d'incertitudes dans la procédure d'optimisation. En effet, il faut adopter la gestion à une incertitude, c'est l'objet même des méthodes d'optimisation en avenir incertain. On peut toutefois, classer les grands types d'incertitudes au niveau d'un problème de gestion de réservoirs d'eau en trois classes (Parent, 1990) :

3.1 Les incertitudes stratégiques

Elles interviennent lors de la discussion sur l'opportunité d'un aménagement et par suite d'un investissement. Il arrive qu'on soit incapable de prédire les objectifs futurs de l'ouvrage hydraulique et d'élaborer une planification correcte qui tient compte de cette vision dynamique de définition des objectifs.

3.2 Les incertitudes physiques:

Les phénomènes hydrologiques sont variables dans le temps et dans l'espace. Pour cerner l'incertitude due à la variabilité des paramètres hydrologiques, on se sert d'outils statistiques dans les modèles mathématiques de gestion de l'eau.

3.3 Les incertitudes technologiques:

A la méconnaissance des processus physiques (relation entre la pluie et le débit qui ruisselle vers le barrage, évaluation correcte des besoins en eau, fonction de production reliant la quantité d'eau fournie à la plante et son rendement,...) et économiques (comportement de l'agriculteur face au marché, choix de cultures moins consommatrices en eau et plus rémunératrices,...), s'ajoute la nature de l'information moins disponible (information incomplète et limitée dans le temps, entachée d'erreurs,...).

Elles ont une conséquence directe sur les erreurs de la modélisation. En effet, on peut disposer d'une série chronologique d'apport d'eau observée mais qui peut être brève. Ceci peut entraîner une incertitude qui intervient lors de l'établissement de la fonction de répartition (ou de distribution de probabilité) utilisée pour représenter les apports. Ces incertitudes techniques sont les plus difficiles à appréhender.

La nature stochastique des aléas hydrologiques (apports...) peut être incorporée dans la procédure de programmation stochastique par deux voies (Milutin, 1992) : par une approche implicite et une autre explicite.

Dans l'approche implicite, le modèle de la série temporelle est utilisé pour générer plusieurs séquences d'apports synthétiques afin de les considérer dans la suite, comme des variables déterministes. La règle de gestion est dérivée pour chaque séquence d'apport et la règle optimale est choisie parmi ces règles évalués. Mais, cette approche stochastique pose des problèmes dans un système à multi-réservoirs, ceci est dû à la complexité de la génération des séquences d'apports.

L'approche explicite, considère une distribution de probabilité des apports au lieu de générer les séquences. La règle de gestion optimale est obtenue pour chaque état d'apport et de stocks et pour chaque période.

CONCLUSION :

Une meilleure optimisation de la gestion intégrée des ressources hydriques est celle qui tiennent compte de tous les aspects et incertitudes susmentionnés, la programmation dynamique stochastique semble la meilleure méthode d'optimisation mais qui doit remédier à certaines contraintes.

Bibliographie

AMPITIYA H.K. 1995 — STOCHASTIC DYNAMIC PROGRAMMING BASED APPROACHES FOR THE OPERATION OF A MULTIRESERVOIR SYSTEM . MSC THESIS. WAGENINGEN AGRICULTURAL UNIVERSITY, THE NETHERLANDS, 119P.

B ESSLER F.T. ET AL. 2003 — WATER RESERVOIR CONTROL WITH DATA MINING. JOURNAL OF WATER RESOURCES PLANNING AND MANAGEMENT. (26-34).

C AMPBELL J.E. ET AL. 2002 — WATER QUALITY OPERATION WITH A BLENDING RESERVOIR AND VARIABLE SOURCES. JOURNAL OF WATER RESOURCES PLANNING AND MANAGEMENT. 128: 4(288).

MILUTIN D. & BOGARDI J.J.2002, RISK, RELIABILITY, UNCERTAINTY AND ROBUSTNESS OF WATER RESOURCES SYSTEMS, INTERNATIONAL HYDROLOGY SERIES, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, PP.199-208.

MILUTIN D. 1998 — MULTIUNIT WATER RESOURCES SYSTEMS MANAGEMENT BY DECOMPOSITION, OPTIMIZATION AND EMULATED EVOLUTION , PHD DISSERTATION, WAGENINGENAGRIC. UNIV., WAGENINGEN, NETHERLANDS.

YAKOWITZ S. 1982 — DYNAMIC PROGRAMMING APPLICATIONS IN WATER RESOURCES. WATER RESOURCES RESEARCH, 18(4): 673-696.

YEH W.W-G. 1985 — RESERVOIR MANAGEMENT AND OPTIMIZATION MODELS: A STATE OF THE ART REVIEW. WATER RESOURCES RESEARCH, 21(12), 1797-1818.