

PLAN D' ACTION POUR  
LA MEDITERRANEE



# DIRECTIVES

pour l'approche intégrée au  
développement, à la gestion  
et à l'utilisation  
des ressources en eau

---

PROGRAMME D' ACTIONS PRIORITAIRES  
CENTRE D' ACTIVITES REGIONALES  
SPLIT 1998

**Rédigé par: Jure MARGETA**

**Contributions de:**

**Jure MARGETA**

**Iacovos IACOVIDES**

**Ernest AZZOPARDI**

**Révision de:**

**Mohamed ENNABLI**

© 1998 Programme d'Actions Prioritaires  
Split, Croatie

ISBN 953-6429-12-8

Cette publication peut être reproduite intégralement ou partiellement à des fins pédagogiques et non lucratives sans autorisation spéciale de la part du propriétaire des droits d'auteur, à condition que sa source soit proprement mentionnée. Le PAP serait reconnaissant de recevoir un exemplaire de toutes les publications qui ont utilisé ce matériel comme source.

Cette publication ne peut être vendue ni utilisée à quelque fin commerciale que ce soit sans autorisation préalable de la part du PAP.

*A des fins bibliographiques, citer le présent document comme suit:*

PAP/CAR: Directives pour l'approche intégrée au développement, à la gestion et à la utilisation des ressources en eau. PAP-3/1998/G.1. Split, Centre des activités régionales pour le Programme d'actions prioritaires, 1998. pp vi + 158.

# SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES .....	iii
LISTE DES TABLEAUX .....	iii
LISTE DES ENCADRES .....	iii
<b>PREFACE .....</b>	<b>V</b>
<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
1.1 Justification .....	1
1.2 Développement durable.....	4
1.3 Gestion des eaux – une approche intégrée.....	6
1.4 Gestion des ressources .....	11
<b>2. L'APPROCHE INTEGREE AU SERVICE DU DEVELOPPEMENT, DE LA GESTION ET DE L'UTILISATION DES RESSOURCES EN EAU .....</b>	<b>13</b>
2.1 Le concept .....	13
2.2 Système de ressources en eau .....	15
2.3 Système d'activités humaines.....	19
2.4 Système de gestion des ressources en eau.....	30
2.5 Le processus d'approche intégrée.....	32
<b>3. RESSOURCES EN EAU DES ZONES COTIERES MEDITERRANEENNES .....</b>	<b>39</b>
3.1 Eléments et caractéristiques d'un système de ressources en eau côtières .....	39
3.2 Eléments et caractéristiques d'un système d'eau artificiel. Systèmes des activités humaines .....	49
3.3 Ressources en eau côtières comme élément d'un système global régional.....	59
<b>4. ASPECTS DE DEVELOPPEMENT, DE GESTION ET D'UTILISATION DES RESSOURCES EN EAU COTIERES.....</b>	<b>63</b>
4.1 Processus de planification et relations interdisciplinaires dans le cadre de l'approche intégrée d'étude des ressources en eau côtières.....	63
4.2 Cadre légal, économique et législatif .....	69
4.3 Aspects institutionnels .....	74
4.4 L'information au service de l'utilisation, du développement et de la gestion des ressources en eau des zones côtières .....	75
4.5 L'évaluation des ressources en eau .....	76
4.6 Evaluation des demandes en eau.....	82
4.7 Qualité de l'eau .....	85
4.8 Considérations environnementales.....	89
<b>5. PROCEDURES POUR UNE APPROCHE INTEGREE DU DEVELOPPEMENT, DE LA GESTION ET DE L'UTILISATION DES RESSOURCES EN EAU COTIERES.....</b>	<b>99</b>
5.1 Introduction .....	99
5.2 Utilisation, développement et gestion durables des ressources en eau côtières .....	101
5.3 Préparation de schémas directeurs .....	106
5.4 Techniques et méthodes de gestion des ressources en eau côtières.....	116
5.5 Gestion des données.....	123
5.6 Eléments d'un plan directeur des ressources en eau.....	132
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>155</b>

## LISTE DES FIGURES

Figure 1.1	Gestion intégrée des ressources en eaux: cadre proposé (UNESCO, 1993) .....	6
Figure 1.2	Représentation schématique du système d'alimentation en eau de Malte .....	7
Figure 1.3	Modèle hydrologique conceptuel MIKE SHE .....	8
Figure 1.4	Cycle de vie d'un système d'eau, capacités et coûts .....	9
Figure 1.5	Aspects des systèmes d'eau à prendre en considération .....	10
Figure 2.1	Représentation schématique du développement, de la gestion et de l'utilisation intégrés des ressources en eau côtières .....	14
Figure 2.2	Ressources en eau sur la Terre .....	15
Figure 2.3	Estimations du bilan d'eau global.....	16
Figure 2.4	L'étendue des problèmes de gestion des eaux côtières .....	23
Figure 2.5	Cadre général de réponse à la sécheresse .....	25
Figure 2.6	Une typologie d'adaptation de l'homme aux inondations .....	26
Figure 2.7	Interaction entre l'utilisation des sols et les ressources en eau .....	27
Figure 2.8	Entrées/sorties d'un système de gestion des ressources en eau .....	29
Figure 2.9	Une approche simplifiée à la planification stratégique .....	30
Figure 2.10	Le processus de gestion des ressources en eau .....	34
Figure 2.11	La phase de planification .....	34
Figure 2.12	La phase de mise en œuvre .....	35
Figure 3.1	Evaluations environnementales: section de bassin versant. Tableau de vulnérabilité.....	40
Figure 3.2	Le bassin versant méditerranéen .....	42
Figure 3.3	Bilan d'eau dans le bassin méditerranéen .....	43
Figure 3.4	Subdivision des ressources en eau méditerranéennes et prospective de gestion .....	45
Figure 3.5	Bilan et utilisation d'eau en Israël .....	46
Figure 3.6	Précipitations moyennes annuelles dans le bassin méditerranéen .....	47
Figure 3.7	Profondeur de l'eau de mer en aquifères côtières poreux. ....	48
Figure 3.8	Zone côtière et activités .....	51
Figure 3.9	Croissance démographique dans la région méditerranéenne .....	52
Figure 3.10	Population et tendances démographiques dans la région méditerranéenne .....	56
Figure 4.1	Vue d'ensemble du processus de planification .....	64
Figure 4.2	Planification de la mise en œuvre en termes d'opérations de gestion .....	65
Figure 4.3	Chaîne du "service de l'eau" .....	66
Figure 4.4	"Les échanges de données" .....	67
Figure 4.5	Le cycle décisionnel .....	68
Figure 4.6	Ressources en eau naturelles comparées du bassin méditerranéen. ....	78
Figure 4.7	Représentation schématique des composants hydrologiques.....	82
Figure 4.8	Flux d'informations sur les prévisions de la demande.....	83
Figure 4.9	Sources de contamination de la qualité de l'eau .....	87
Figure 4.10	l' "Agenda" qualité de l'eau.....	88
Figure 4.11	Diagramme simplifié de déroulement d'une EIE .....	95
Figure 5.1	Les étapes du processus de planification du projet .....	103
Figure 5.2	Représentation schématique de la gestion intégrée des ressources en eau.....	105
Figure 5.3	Relations entre les composantes de l'environnement et les activités de développement dans les zones côtières .....	107
Figure 5.4	Objectifs d'un plan directeur des ressources en eau .....	110
Figure 5.5	Procédure de planification à quatre étapes.....	112
Figure 5.6	Présentation graphique du processus de simulation .....	120
Figure 5.7	Présentation graphique du processus d'optimisation.....	121
Figure 5.8	Composantes de base d'un système d'aide à la décision.....	122
Figure 5.9	Le système agricole, son environnement et principales interrelations de ses sous systèmes. Principales entrées et sorties.....	136
Figure 5.10	Modèle d'un système de retour des eaux d'irrigation .....	138
Figure 5.11	Interrelations des éléments fonctionnels d'un système urbain d'approvisionnement en eau .....	140
Figure 5.12	Interrelations des éléments fonctionnels d'un système.....	150

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1	Les données hydrologiques globales moyennes du bassin méditerranéen .....	41
Tableau 3.2	Alimentation et demandes en eau dans le bassin versant méditerranéen .....	44
Tableau 3.3	Demandes en eau sectorielles .....	58
Tableau 4.1	Source et type de contamination .....	85
Tableau 4.2	Réversibilité de changements dans l'environnement .....	90
Tableau 4.3	Exemples de changements de l'environnement naturel .....	91
Tableau 5.1	Données hydrologiques indispensables à un projet de ressources en eau .....	125
Tableau 5.2	Catégorisation des fonctions naturelles et de l'utilisation de l'eau.....	133
Tableau 5.3	Éléments fonctionnels d'un système public d'approvisionnement en eau.....	140
Tableau 5.4	Les éléments fonctionnels d'un système d'eaux usées urbaines .....	151

## LISTE DES ENCADRES

Encadré 1	Éléments d'un plan de gestion intégrée des ressources en eau .....	19
Encadré 2	Quelques objectifs d'intervention humaine dans les systèmes de ressources en eau.....	20
Encadré 3	Questions concernant les ressources en eau et en sol.....	28
Encadré 4	Éléments essentiels d'exploitation des ressources en eau des zones côtières .....	50
Encadré 5	Utilisation fonctionnelle type des ressources en eau.....	53
Encadré 6	Une exemple de législation .....	72
Encadré 7	Une exemple d'évaluation des ressources en eau s'appuyant sur le schéma directeur de gestion des eaux de l'île de Rhodes.....	81
Encadré 8	Déroulement d'une EIE à Malte .....	97
Encadré 9	Points à souligner dans le développement durable des ressources en eau .....	104
Encadré 10	Critères à satisfaire pour la planification de projets de développement durable des ressources en eau .....	108
Encadré 11	Contenu des plans directeurs des ressources en eau .....	117
Encadré 12	Liste générale des données de base pour les besoins des projets relatifs aux ressources en eau .....	127
Encadré 13	Développement d'une base de données sur les ressources en eau.....	131



# PREFACE

## **Informations de base**

Une grande partie du bassin méditerranéen, îles et zones côtières isolées particulièrement, connaît depuis des années une pénurie d'eau persistante. Les problèmes liés à l'alimentation en eau se sont aggravés par suite d'une forte poussée démographique, d'un développement désordonné et d'un tourisme de masse qui ont contribué à une exploitation limite des ressources.

L'impact négatif de ces changements sur les écosystèmes et sur les caractéristiques naturelles de ces derniers a été fortement ressenti dans les franges littorales exposées à une urbanisation rapide, à une pression démographique et à un développement anarchique. Cela s'est traduit par des conflits d'intérêt entre les utilisations concurrentes de ressources naturelles limitées et fragilisées, qui ont inévitablement conduit à de sérieuses conséquences socio-économiques et politiques.

De toutes les ressources côtières, les ressources en eau sont les plus vulnérables et les plus menacées du fait que les conditions climatiques, hydrologiques et hydrogéologiques rendent leur gestion très complexe. La frange littorale est également le lieu où l'eau potable se mélange à l'eau de mer, de sorte que des implications écologiques et économiques aggravent les problèmes de gestion et de développement de ces ressources en eau.

## **PNUE/PAM/PAP et gestion des eaux côtières**

Le Centre d'Activités Régionales pour le Programme d'Actions Prioritaires (CAR/PAP) du Plan d'Action pour la Méditerranée (PAM) du PNUE a, parmi les premiers, reconnu comme prioritaire la gestion des eaux côtières. Afin de propager et d'aider à la mise en œuvre d'une approche pluridisciplinaire de la gestion des ressources eau, le PNUE/PAM/PAP a activement soutenu une approche intégrée au service de la planification et de la gestion de ces ressources, à travers les actions prioritaires effectuées en Méditerranée. Les activités du PAP, qui ont commencé par de nombreux séminaires, ateliers, réunions de travail, se sont prolongées par la réalisation de plusieurs projets dont le plus important est celui de la gestion des eaux à Malte. Comme résultat de cette activité, le PAP a organisé à Malte conjointement avec l' "Institute of Water Technology" et le "Water Services Corporation" cinq stages réussis de formation à l'intention de ressortissants des pays méditerranéens.

Le PAP continue à centrer ses efforts sur l'assistance aux pays méditerranéens dans la réalisation des objectifs généraux précisés dans le Chapitre 18 *Action 21*, document de politique générale traitant des questions de ressources en eau, qui a été adopté par un grand nombre de gouvernements. Les recommandations de la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement (Rio, 1992) ont fourni les bases de la Charte Méditerranéenne de l'Eau (Rome, 1992) et ont été pleinement appuyées et adoptées par la Conférence de Tunis (1994) dans l'*Action MED 21*.

## **Directives et public-cible**

Une des activités du PAM/PAP menée durant la période 1995/1996 – en totale cohérence avec les principes généraux d'*Action 21*, de la Charte Méditerranéenne de l'Eau et d '*Action MED 21* – a été la préparation des Directives du PAP concernant l'approche intégrée au service du développement, de la gestion et de l'utilisation des ressources en eau côtières. Les Directives sont destinées à la formation des ingénieurs, des experts en sciences sociales et naturelles et des cadres moyens œuvrant dans le domaine du développement, de la gestion et de l'utilisation des ressources en eau.

## **Buts**

- Aider les pays à remplir leurs obligations découlant d'*Action 21*, de la Charte Méditerranéenne de l'Eau et d'*Action MED 21*, en pratiquant, de manière uniforme et systématique, une

approche intégrée au service du développement, de la gestion et de l'utilisation des eaux afin de parvenir à un développement durable des zones côtières méditerranéennes.

- Favoriser une meilleure compréhension des ressources en eau dans la région méditerranéenne.
- Approfondir le concept d'intégration dans le développement, la gestion et l'utilisation des ressources en eau et en reconnaître les avantages.
- Mettre en évidence les technologies et méthodes utilisées dans les différentes disciplines liées aux ressources en eau, sur lesquelles repose le concept d'approche intégrée au service du développement, de la gestion et de l'utilisation de ces ressources.
- Assurer un cadre général de travail en matière d'approche intégrée, d'élaboration de schémas directeurs et d'activités de suivi.

### **Objectifs immédiats**

- Présenter une approche précise susceptible d'améliorer l'utilisation, le développement et la gestion des eaux côtières afin de pouvoir satisfaire durablement les besoins en eau douce.
- Présenter une méthodologie standard visant une approche plus systématique du développement et de la gestion des ressources en eau.
- Identifier les points faibles dans la pratique courante et les activités en cours, et envisager la mise en œuvre de leur correction appropriée.
- Promouvoir le besoin de comprendre le rôle, l'importance et la nécessité de chaque discipline dans l'étude des problèmes de l'eau.
- Améliorer la communication entre les experts dans les différentes disciplines.
- Encourager la coopération entre tous les collaborateurs œuvrant dans le domaine de l'eau.

### **Structure et contenu des Directives**

Le thème et le but des directives, ainsi que le bien-fondé de leur rédaction, sont précisés dans le Chapitre 1. Par ailleurs, le concept de base de développement durable et d'approche intégrée appliquée à la gestion des ressources en eau est également présenté dans le même chapitre.

L'approche intégrée au service du développement, de la gestion et de l'utilisation des ressources en eau et les problèmes pertinents sont ensuite élaborés dans le Chapitre 2. Y a été aussi développé le concept d'approche intégrée par rapport aux trois systèmes d'activités de base, qui concernent les activités humaines, les ressources en eau, et la gestion de ces ressources. Le processus d'approche intégrée y a de même été introduit.

Le Chapitre 3 souligne les éléments et les caractéristiques des ressources en eau côtières dans la région méditerranéenne, traitant le sujet en trois systèmes séparés: celui des ressources en eau côtières elles-mêmes, celui des systèmes physiques côtiers conditionnés par l'homme et celui des ressources en eau côtières en tant qu'élément d'un système global régional.

Le Chapitre 4 examine les problèmes et les aspects les plus importants dans le cadre d'une approche intégrée du développement, de la gestion et de l'utilisation des eaux tels que: les processus de planification, les relations interdisciplinaires, le cadre légal, économique et législatif, l'appui à l'information, l'évaluation des ressources et des besoins en eau, la qualité des eaux et les considérations environnementales.

Le Chapitre 5 présente brièvement les procédures fondamentales de gestion intégrée telles que: l'élaboration de plans directeurs, les techniques et méthodes de gestion des ressources en eau côtières, la gestion des données et les éléments de plan directeur des ressources en eau.

Les Directives sont enrichies de représentations graphiques, tableaux et, pour certains aspects, d'encadrés, d'illustrations détaillées et d'exemples se rapportant à certains pays. Les directives comprennent aussi la liste des références.

# 1. INTRODUCTION

Les ressources en eau et en sol dans la région méditerranéenne sont généralement peu abondantes et font souvent l'objet de vifs débats politiques, économiques, sociaux et environnementaux. Les caractéristiques de ces ressources varient énormément d'une zone particulière à l'autre. Leurs traits spécifiques découlent des différentes conditions climatiques, géologiques, hydrogéologiques et topographiques. Le climat méditerranéen est caractérisé par des étés secs et chauds, et des hivers humides et froids. Du Nord vers le Sud de la région, les températures montent et les précipitations baissent. Les parties Nord et Sud du bassin méditerranéen se différencient également du point de vue géologique et pédologique. La région entière, et sa partie Nord-Est notamment, est caractérisée par un relief karstique, les terres vastes et fertiles étant pratiquement inexistantes. La végétation est très rare dans le versant méridional africain.

La croissance rapide de la population et l'urbanisation, ainsi que le tourisme de masse et le transport aggravent le problème, surtout dans les zones côtières méditerranéennes, modifiant leurs caractéristiques naturelles et imposant des défis quasi insurmontables. Par ailleurs, les besoins croissants en nourriture imposent des contraintes à la production agricole de sorte que le sol est de plus en plus affecté aux cultures au détriment de la végétation et des forêts originelles. Une utilisation intensive du sol, ainsi que les incendies de forêts provoquent une érosion considérable du sol et des pertes en terre ayant des conséquences économiques et écologiques à long terme.

A l'exception de certaines vallées fluviales et de quelques zones comme l'Italie du Nord, les Balkans de l'Ouest et la Turquie où l'approvisionnement en eau est abondant, on exploite de manière intensive les ressources renouvelables, et les prélèvements d'eau sont considérables tant au Sud (Libye 100%, Malte 100%, Egypte 92%, Tunisie 70%, Maroc 40%, Algérie 32%) et à l'Est (Chypre 42%, Israël 100%, Syrie 47%) que sur la rive Nord (Espagne 41%, Italie 30%).

Dans l'avenir, du fait de facteurs économiques et sociaux, les ressources rares seront de plus en plus sollicitées, jusqu'aux limites critiques de leur utilisation. Différents secteurs économiques seront confrontés à des graves problèmes. Des difficultés opposeront de même les zones urbaines au monde rural. La gestion des ressources en eau deviendra extrêmement complexe et difficile. On prévoit que des moyens financiers considérables et des technologies nouvelles seront indispensables pour faire face à cette tâche difficile.

Un tel scénario renforce le besoin urgent des Etats méditerranéens d'entreprendre des actions concrètes dans le but de parvenir à un développement durable. La solution se trouve dans une approche intégrée de la planification et de la gestion des ressources en eau. Il est question de développer et mettre en œuvre une approche intégrée de la gestion des ressources en eau pouvant s'opposer à la détérioration des conditions complexes qui régissent les zones côtières des pays méditerranéens. Les gouvernements nationaux et les organisations internationales ont, en principe, accepté la gestion intégrée. La gestion intégrée des ressources en eau requiert cependant un engagement plus profond dans l'évaluation, le développement et l'utilisation des ressources en eau côtières. Elle implique une participation interdisciplinaire active de tous les acteurs concernés.

## 1.1 Justification

L'eau douce est un élément essentiel de systèmes mondiaux, terrestres et de hydrosphère. Elle est exposée à maints conflits d'intérêt qui, dans certaines parties du monde, ont probablement conduit à la détérioration quantitative et qualitative de cette ressource vitale pour l'environnement, y compris sa composante humaine.

Ces influences comprennent les changements d'utilisation de la terre, la pollution de l'environnement, la surexploitation et l'utilisation inadéquate des ressources disponibles en eau douce, ainsi que l'impact des changements climatiques. L'homme est cependant capable, grâce aux technologies appropriées, à la planification et à la coopération entre les différents bailleurs de

fonds, ainsi qu'à travers l'utilisation raisonnable des ressources disponibles, de satisfaire les besoins des parties concernées, l'homme et la nature. La gestion des eaux comprend:

- les aspects hydrauliques des eaux de surface et souterraines;
- les conflits d'utilisation qui concernent l'alimentation en eau, l'assainissement, l'irrigation, la production d'énergie hydroélectrique, la gestion des inondations, etc.;
- les questions d'alimentation et de demande en eau, y compris la conservation et la réduction des pertes;
- les aspects socio-politiques de la gestion globale des bassins versants, y compris les bassins transfrontiers nationaux et locaux.

Les questions de gestion des ressources en eau doivent comprendre les eaux marines côtières qui sont soumises à l'influence des ressources en eau douce et *vice versa*.

### 1.1.1 Action 21

Une des initiatives d'*Action 21*, produit de la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement (Rio de Janeiro, 1992) est de s'occuper de ces problèmes. Sept programmes de gestion des eaux ont été proposés:

1. Le développement et la gestion intégrés des ressources en eau.
2. L'évaluation des ressources en eau.
3. La protection des ressources en eau, de la qualité des eaux et des écosystèmes aquatiques.
4. L'alimentation en eau potable et l'assainissement.
5. L'eau pour un développement urbain durable.
6. L'eau pour une production alimentaire durable de la nourriture et le développement rural.
7. L'impact de changements climatiques sur les ressources en eau.

Lors de l'examen de la question du développement et de la gestion intégrés des ressources en eau, il fut reconnu:

- que l'eau douce est essentielle pour la productivité économique et le bien-être de la société;
- qu'elle fait partie intégrante de l'écosystème;
- que c'est une ressource naturelle, limitée et vulnérable;
- que c'est un bien social et économique;
- que la qualité et la quantité de l'eau douce déterminent la nature de son utilisation; et
- que les besoins en eau douce augmentent rapidement.

Malgré tout, la multiplication d'agences sectorielles des eaux s'avère être un obstacle considérable à la gestion intégrée des ressources en eau. *Action 21* s'attaque à ce problème en énumérant un certain nombre d'objectifs-clés de la GIRE:

- La priorité doit être accordée à la satisfaction des besoins fondamentaux de l'homme et de l'écosystème; en dehors de ces exigences, l'eau doit être considérée comme un bien économique impliquant une récupération entière des coûts.
- La GIRE devrait être conçue à l'échelle du bassin versant. Tous les aspects pertinents seront examinés, y compris:
  - une approche multisectorielle (socio-économique, environnementale, de santé);
  - une approche durable et rationnelle dans le cadre des politiques économiques nationales;
  - des programmes économiquement et socialement appropriés;
  - des mécanismes institutionnels, légaux et financiers à même d'assurer la réalisation des programmes.

- Dans les zones recelant des ressources en eau transfrontières, les stratégies de ressources en eau devraient être coordonnées et concertées avec les états riverains.
- La préparation des programmes nationaux d'action et d'utilisation durable de l'eau devrait être faite avant 2000, tandis qu'à l'horizon 2025, tous les pays devraient avoir atteint les objectifs de leurs programmes en matière d'eau douce.

Pour pouvoir réaliser ces objectifs, *Action 21* cite 19 activités qui seraient mises en œuvre dans l'intention de promouvoir la GIRE dans d'autres domaines tels que:

- l'étude, la recherche et la formulation de plans pertinents;
- la mise en œuvre de différentes initiatives de gestion des eaux;
- la recherche d'appuis et de contributions de la part des différentes composantes de la société; et
- le développement et le renforcement des arrangements institutionnels.

La mise en œuvre de ces activités est sensée résulter d'un effort des Etats à titre individuel, ou à travers une coopération bilatérale et multilatérale.

Quant aux moyens de mise en œuvre de la GIRE, *Action 21* formule un certain nombre de remarques et de suggestions. Elle recommande des systèmes d'information appropriés pour aider à la prise des décisions, des techniques innovatrices pour une meilleure gestion des eaux, l'examen détaillé des aspects économiques, sociaux et environnementaux, ainsi qu'une vue à long terme. Par-dessus tout, pour le programme de GIRE, *Action 21* préconise en particulier qu'une approche globale soit adoptée, traitant de tous les aspects de la gestion du cycle de l'eau, y compris toutes les parties concernées au delà des frontières entre les Etats, vu que l'eau ne connaît pas de frontières. Les autres programmes vont dans la même direction et donnent un certain nombre de suggestions et recommandations concernant l'application des approches intégrées au développement, à l'utilisation et à la gestion des ressources en eau douce.

L'application d'*Action 21* aux ressources en eau dans les zones côtières est particulièrement complexe, du fait des caractéristiques socio-économiques et environnementales spécifiques de ces zones et de l'intensité des changements qu'elles connaissent. Il est bien évident que les zones côtières sont confrontées à un développement et à une poussée démographique intensifs et que ces tendances se poursuivront dans l'avenir. De ce fait le conflit entre les exigences du développement et la protection des ressources en eau naturelles est constamment présent.

### **1.1.2 La Charte Méditerranéenne de l'eau**

La Charte Méditerranéenne de l'Eau (Rome, 1992) constitue un point de repère pour les Etats méditerranéens, en cela que les ministres responsables de l'eau dans les Etats du bassin méditerranéen ont officiellement convenu que:

- Les ressources en eau sont au service de l'homme et sont plus un moyen de coopération que de conflit entre les Etats.
- Les ressources en eau ont une importance vitale pour un développement équilibré et durable.
- Le développement des ressources en eau requiert une approche intégrée de leur gestion si l'on veut atteindre les objectifs actuels de la société, sans pour autant compromettre les besoins des générations à venir.

Les ministres ont également convenu d'adopter et de mettre en œuvre un certain nombre de mesures concernant:

- la planification des eaux;
- la gestion des eaux;
- la coopération régionale; ainsi que
- la coopération internationale et euro-méditerranéenne.

Un résultat important de la Charte Méditerranéenne de l'Eau a été l'établissement du Réseau Méditerranéen de l'Eau pour assurer le succès de la nécessaire coopération en matière d'eau, en conformité et en collaboration avec les programmes en cours tels que le Plan d'Action pour la Méditerranée. La Charte Méditerranéenne de l'Eau cite en particulier les projets exigeant un examen spécial:

- le renforcement des institutions et des organisations de gestion des eaux;
- le développement des capacités nationales de gestion;
- l'identification et le développement des approches appropriées au contexte méditerranéen;
- l'adaptation et la mise en œuvre des normes et de la réglementation;
- l'organisation et la circulation de l'information entre les pays; et
- le développement du partenariat.

### 1.1.3 Action MED 21

La Conférence *MED 21* sur le Développement Durable en Méditerranée (Tunis, 1994) s'est explicitement centrée sur le besoin urgent des pays méditerranéens d'adopter une approche intégrée pour la gestion des ressources en eau.

*Action MED 21* réitère, de manière claire et concise, que:

- les ressources en eau douce sont partie intégrante de l'infrastructure d'un pays, indispensable à son développement;
- le développement, la croissance démographique, les conditions hydrologiques et climatiques, ainsi que la pollution atmosphérique limiteront à l'avenir les ressources en eau déjà rares et convoitées; et
- le recours coûteux aux ressources en eau non conventionnelles (dessalement) et au traitement de l'eau exige des sacrifices nationaux sans cesse plus grands, et souligne la menace exercée sur le développement durable dans les pays de la rive Sud de la Méditerranée.

*Action MED 21* exprime le point de vue général que le Développement Durable devrait être conduit de manière à atteindre les objectifs globaux de la société, comprenant, entre autres, la santé humaine, les activités économiques et la qualité de l'environnement. Elle réaffirme que la gestion intégrée des ressources en eaux s'appuie sur le fait que l'eau constitue:

- une partie intégrante de l'écosystème;
- une ressource naturelle; et
- un bien économique et social.

Sur le plan national, *Action MED 21* recommande l'élaboration d'une politique nationale de développement durable dans le même ordre d'idées qu'*Action 21* de Rio.

Sur le plan régional, *Action MED 21* souligne la nécessité d'une meilleure coopération et de plus de coordination Nord-Sud. Elle préconise de nouveaux mécanismes afin de promouvoir:

- l'échange et la diffusion de l'information, des technologies appropriées et des programmes d'éducation et de formation;
- la sensibilisation du public à la nécessité de protéger et d'économiser l'eau, en la considérant comme partie du patrimoine commun; et
- l'appui et l'assistance à la réhabilitation et au renouvellement de l'infrastructure d'alimentation en eau et au développement de nouvelles technologies, visant à augmenter les approvisionnements existants et à réduire les pertes d'eau.

## 1.2 Développement durable

Le rapport de la Commission Brundland "Notre Avenir Commun" (WCED, 1987) définit le concept général de développement durable des ressources comme un processus visant à satisfaire les besoins actuels de la société, sans mettre en danger l'aptitude des générations futures à répondre à leurs propres besoins.

Le développement durable des ressources en eau requiert que nous respections le cycle hydrologique en utilisant des ressources en eau renouvelables qui ne seront pas réduites du fait d'une exploitation prolongée.

La durabilité du développement des ressources d'eau douce ne doit pas être réduite aux aspects physique et écologique; elle doit englober les volets socio-économiques dans le processus de

concrétisation des objectifs globaux de la société, sans aliéner les aspirations légitimes des générations futures (Dixon et Fallon, 1989).

La gestion durable des ressources en eau peut donc être considérée comme l'implication des facteurs de production tels que le sol, la main d'œuvre, le capital et les entrepreneurs dans les activités de coordination visant la réalisation des objectifs d'ensemble de la société, sans sacrifier les aspirations légitimes des générations à venir (Hufschmidt et Tejiwani, 1993). Cette idée de gestion durable des ressources en eau souligne le fait que le principal but du service de l'eau doit être de maintenir, si non d'augmenter, la valeur que la société attache à ce service. De telles valeurs pourraient comprendre la qualité de l'environnement, la santé humaine, la productivité économique et l'équité sociale.

Il est évident que l'état des ressources physiques – l'eau, le sol, les biotopes terrestres et marins, ainsi que les écosystèmes côtiers – joue un rôle critique dans le maintien de la valeur sociale des services produits par les ressources. Par exemple, la pollution des aquifères souterrains du fait de la fuite ou de l'injection de substances organiques ou inorganiques d'origine urbaine, industrielle et agricole peut provoquer de sérieuses dégradations à grande échelle de la ressource.

Le service de l'eau est physiquement limité par des restrictions économiques. Même dans les cas de non dégradation de l'environnement et de possible augmentation par les ressources en eau non conventionnelles, le stockage en réservoirs, l'utilisation plus efficace, le recyclage, le traitement et la réutilisation des eaux usées – les contraintes économiques limiteraient la disponibilité de l'eau nécessaire pour assurer un service durable.

Par ailleurs, il est impossible d'éliminer entièrement la détérioration de l'environnement dans les systèmes de ressources en eau. Une certaine détérioration naturelle est inévitable. Bien que, au sens physique du terme, la durabilité à long terme ne soit pas réalisable pour toutes les composantes d'un système de ressources en eau, il est impératif d'éviter de sacrifier en permanence la valeur sociale de l'eau pour satisfaire des besoins immédiats, au détriment des exigences des générations futures. Les exemples abondent, tels les aquifères fortement pollués dont l'épuration aurait un prix exorbitant, la surexploitation des eaux souterraines jusqu'au l'épuisement de l'aquifère, ou encore l'augmentation des coûts du pompage au point de devenir extrêmement prohibitifs.

Surmonter le défi de la durabilité des ressources en eau, dans les zones déficitaires en particulier, nécessitera de mettre en application une gestion de haut niveau: la "**gestion intégrée des ressources en eau**". Le concept de base d'une telle gestion, c'est à dire les principes généralement adoptés, comprend la gestion visant des utilisations multiples (alimentation en eau des ménages, irrigation, amélioration de la pêche et de la faune sauvage), des objectifs multiples (productivité économique, environnement de qualité, équité sociale et, avant tout, santé humaine) et utilisant des moyens multiples tels que les infrastructures physiques, la réglementation et les incitations économiques (Hufschmidt et Tejiwani, 1993).

### **Approche de la gestion recommandée pour le développement durable**

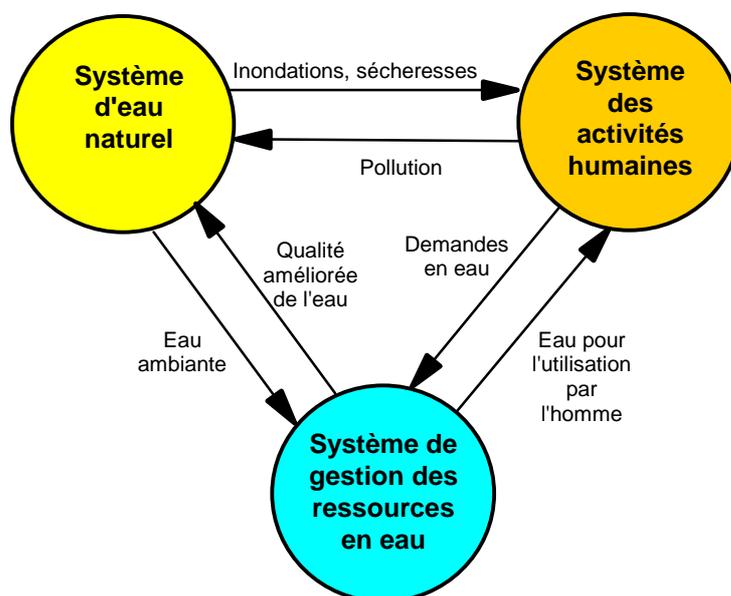
1. L'équipe doit comprendre des gestionnaires compétents et qualifiés, des ingénieurs et techniciens responsables d'un groupe de travailleurs consciencieux et sérieux à même de faire fonctionner les équipements et de maintenir efficacement le système en état de marche. Lorsque les projets sont d'envergure, sociologues et experts en sciences sociales devraient assister l'équipe de gestionnaires et de techniciens afin d'atténuer les impacts sociologiques sérieux et de réduire toute interférence non souhaitée du système avec son environnement.
2. Une alimentation, permanente et ininterrompue en eaux salubres sera assurée équitablement à tous les consommateurs en fonction des normes sanitaires établies et de la réglementation en matière d'approvisionnement.
3. L'augmentation de l'efficacité est un processus continu qui doit être adapté en fonction du temps.
4. Il s'ensuit que la surveillance est un processus essentiel, continu. La gestion doit surveiller de près performance et efficacité afin de réduire au minimum les frais de fonctionnement et d'assurer à la communauté une alimentation en eau douce, au moindre coût économique.

5. Un projet d'aménagement des eaux doit fonctionner en conformité avec les spécifications conçues et il doit recouvrir tous les frais d'exploitation et de fonctionnement afin qu'il soit financièrement durable.
6. Le développement durable des ressources en eau exige un engagement résolu des politiciens en faveur des efforts de gestion et de planification devant aboutir à la réalisation des objectifs visés.

### 1.3 Gestion des eaux – une approche intégrée

#### 1.3.1 Gestion des ressources en eau

La gestion intégrée des ressources en eau concerne trois systèmes essentiels: le système d'eau naturel, le système d'activités humaines et le système de gestion des ressources en eau (Figure 1.1).



**Figure 1.1: Gestion intégrée des ressources en eaux: cadre proposé (UNESCO, 1993)**

Le système d'eau naturel comporte le cycle hydrologique avec ses composantes: précipitations, évaporation et évapotranspiration, ruissellement de surface et écoulement souterrain, y compris le biotope, sol, atmosphère et eau. Ce système est une "dotation" en eau et en ressources naturelles liées à l'eau à la disposition et au service de l'homme.

Le système des activités humaines a une influence sur le système d'eau naturel ou en est affecté. Ces activités humaines comprennent la demande d'utilisation de l'eau (alimentation en eau potable, irrigation, assainissement, production de l'énergie hydroélectrique, navigation, pêche, récréation) ainsi que la réduction des dommages causés par les inondations, la pollution de l'eau et la sécheresse.

Le système de gestion des ressources en eau comprend les activités et les relations entre les secteurs publics et privés concernés par la concertation sur les différents volets de l'alimentation et de la demande pour atteindre les objectifs de la société. Un appui essentiel au système de gestion des ressources en eau est le cadre institutionnel de gestion, comprenant les organisations, les règlements et codes gérant l'utilisation et le contrôle des ressources en eau.

L'intégration consiste à agencer et à unifier ces éléments en un ensemble, ou à incorporer plusieurs sous-systèmes dans un système global plus large (Figure 1.1).

L'approche intégrée de la gestion des ressources en eau est présentée dans un certain nombre de publications. Pour Hufschmidt et Kindler, 1991:

*"Bien qu'il soit absolument nécessaire de faire plus de recherches sur certains aspects techniques négligés, la plus haute priorité devrait maintenant être donnée à*

*l'intégration des résultats techniques avec les facteurs pertinents non techniques. Sans cette intégration, les résultats techniques acquis ne peuvent être appliqués avec un risque d'échec inférieur au risque élevé, déjà existant. Ceci est particulièrement vrai pour les pays en développement des zones arides, semi-arides et tropicales humides, où l'innovation doit être adaptée à de nombreux contextes culturels, sociaux et économiques, fort anciens mais soumis à de rapides changements. Il y a un besoin incontestable d'approcher de façon plus large la gestion des ressources en eau dans ces zones."*

Cette situation est également vraie pour les zones côtières de la région méditerranéenne. De nombreux ouvrages ont été écrits en matière de méthodologies et d'approches intégrées, soulignant différents aspects, mais suggérant tous l'adoption d'une approche systémique aux questions abordées. Une approche systémique veut dire résoudre les problèmes posés en prenant en considération tous leurs aspects, et pas seulement celui qui semble poser problème sur le moment. Dans l'optique systémique, le tout est beaucoup plus qu'une simple addition des parties et si les parties séparées sont étudiées de manière indépendante, les interactions cruciales seront négligées ou mal comprises. Les parties du système consistent une entité indissoluble, de sorte qu'aucune partie ne peut être modifiée sans affecter les autres. Les sous-systèmes devraient contribuer à atteindre les objectifs de leur système principal plutôt que leurs propres objectifs. Cette partie s'occupe de l'approche systémique en abordant deux questions:

- Quels problèmes devraient être examinés dans la gestion intégrée des ressources en eau?
- De quelle façon seraient-ils examinés?

### 1.3.2 Un problème multi-dimensionnel

Pour essayer de mettre en perspective les aspects de gestion intégrée nous pouvons les considérer comme un problème à dimensions multiples. On considère pour cela qu'il existe trois dimensions importantes: celle du système particulier (par exemple, un système d'alimentation en eau, un système d'irrigation, etc.); celle du temps qui concerne la gestion de ces entités; et en troisième lieu, celle des aspects multidisciplinaires de chaque système.

#### La dimension localisation

L'échelle géographique d'un projet d'eau peut être celle de la localité, de la région, du bassin fluvial, du territoire national, d'une zone plus large s'étendant à travers deux ou plusieurs Etats, ou toute autre échelle appropriée selon la demande des intervenants de planification des ressources en eau.

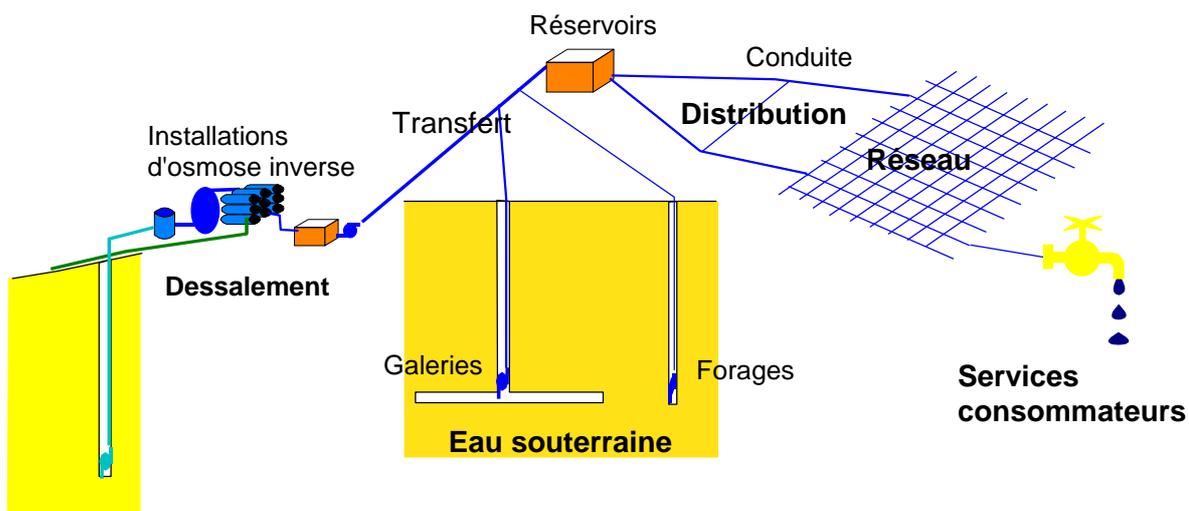


Figure 1.2: Représentation schématique de système d'alimentation en eau de Malte

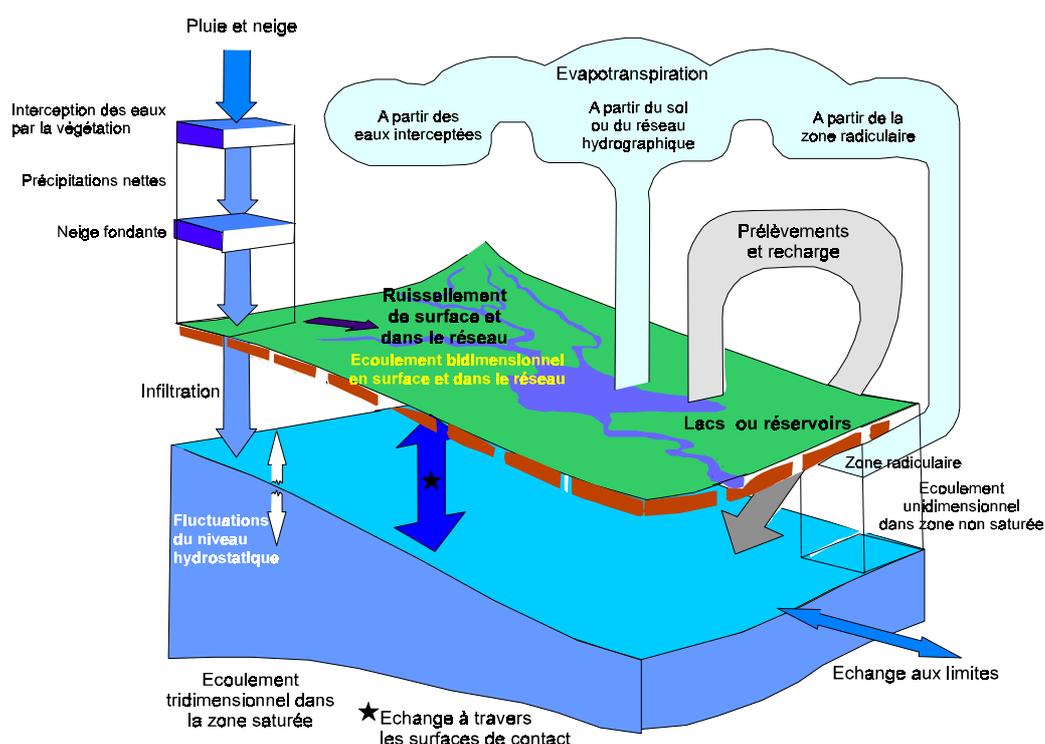
Un système d'eau particulier comprend différentes composantes. Par exemple, le système d'alimentation en eau à Malte (Figure 1.2) comporte d'abord des sources variées de production, puis des système de transfert, d'alimentation et de distribution jusqu'à ce que l'eau aboutisse finalement au robinet du consommateur. De semblables diagrammes peuvent être construits pour les systèmes d'eaux usées, d'assainissement et de protection contre les inondations, d'irrigation, etc. Dans de tels sous-systèmes, l'eau est transférée d'un point à un autre, exerçant les fonctions assignées mais produisant aussi des impacts socio-économiques et écologiques. L'approche intégrée est nécessaire pour examiner un système donné dans son ensemble. Une agence de l'eau doit être fonctionnelle dans son ensemble de sorte que l'on puisse disposer des systèmes complets pouvant répondre à tous les besoins du consommateur à un prix optimal accessible.

### La dimension multidisciplinaire

Un plan intégré de gestion des ressources en eau ne s'occupe pas seulement des questions techniques comme on pourrait le croire d'après les commentaires ci-dessus. Il doit traiter d'un grand nombre d'autres questions y relatives.

Comme déjà dit (Figure 1.1), chaque système de gestion des eaux est composé de trois unités de base: un système d'eau naturel, un système d'activités humaines et un système de gestion, lesquels comportent par ailleurs différentes unités ou sous-systèmes moins importants. La solution de ce problème exige donc l'engagement de nombreux experts en différents domaines pour traiter tous les aspects du problème.

Les systèmes d'eau naturels peuvent être considérés comme partie du cycle hydrologique. La Figure 1.3 présente un modèle conceptuel du système hydrologique MIKE SHE (Danish Hydraulic Institute, 1994). Ce diagramme montre de manière appropriée les interactions entre les nombreux sous-systèmes du système hydrologique. Il comprend les aspects quantitatifs et qualitatifs ainsi que l'interaction entre la géologie, le biotope, le sol et l'atmosphère. Il pose la question de la continuité hydrologique pour travailler dans les limites du système d'eau naturel (afin d'éviter par exemple la surexploitation des ressources en eaux souterraines); la nécessité d'examiner le système dans son ensemble (la totalité du bassins versant) de façon à vérifier que les travaux dans un point du système n'influencent pas négativement d'autres lieux. Cela concerne en particulier les systèmes d'eau côtiers qui s'étendent au pied des reliefs ainsi que les parties aval des nappes d'eaux souterraines. Cette présentation montre clairement le grand nombre de disciplines nécessaires pour décrire un tel système.



**Figure 1.3: Modèle hydrologique conceptuel MIKE SHE (Danish Hydraulic Institute, 1994)**

La même chose s'applique au système des activités humaines. Les activités des hommes influent sur le système d'eau naturel ou subissent son influence. Cela inclut les infrastructures (barrages, dérivations de rivière, prélèvements d'eaux souterraines, ouvrages de protection contre les inondations, etc.). Hufschmidt et Tejwani considèrent que "l'essentiel dans la gestion intégrée des ressources en eau est d'influencer les activités humaines de manière à réduire les impacts négatifs sur le système d'eau naturel et de minimiser les pertes économiques et sociales résultant des risques naturels". (Hufschmidt et Tejwani, 1993).

Le troisième système est le moins technique, et les solutions aux problèmes impliquent le plus souvent différentes disciplines non techniques. Le troisième système comprend les activités et relations des différents secteurs (publics et privés) qui concernent l'offre et la demande pour atteindre les objectifs sociaux. Une partie essentielle de cette action est l'appui au cadre institutionnel. Le système de gestion des ressources en eau est nécessaire pour préserver l'intégrité du système d'eau naturel et pour influencer les activités humaines liées à l'eau. Un certain nombre d'actions sont données comme exemples d'illustration de la gestion intégrée.

### La dimension temps

Les systèmes d'eau, les demandes des consommateurs et les conditions économiques changent avec le temps. Comme le montre la Figure 1.4, les systèmes nécessitent d'importants investissements initiaux et leur "capacité" baisse avec le temps. Le rythme de détérioration d'un système (ou d'un ensemble de systèmes) dépend en partie du système initial lui-même (exemple, d'une conduite sans revêtement protecteur dans un environnement agressif,) et en partie de l'entretien dont il bénéficie durant sa vie (activités d'exploitation et de maintenance). Ce que l'on qualifie parfois de gestion du "cycle de vie" des systèmes. Les demandes des consommateurs changent aussi avec le temps du fait de changements socio-économiques ou culturels, etc. Les changements des demandes des consommateurs sont peut être les plus difficiles à prévoir. Les aspects temporels concernent également les questions de "durabilité": Le système sera-t-il capable de satisfaire les demandes qu'on attend de lui sans porter atteinte aux demandes futures, de tenir compte des fluctuations financières et de l'équité entre les générations?

La gestion des ressources en eaux s'effectue progressivement par pas successifs. Le processus de planification est divisé en étapes. En général, les problèmes dynamiques de planification et de gestion à long terme sont étudiés par des modèles de systèmes dynamiques discrétisant le temps. La discrétisation sera fonction de la variabilité dans le temps du processus à examiner. L'horizon de planification de 30 à 50 ans peut être discrétisé en périodes de un an, à 5 ou 10 ans. Les modèles de gestion peuvent utiliser des pas de temps mensuels pour les décisions de gestion à l'échelle annuelle. Une opération en temps réel utilise des pas de temps plus petits en fonction de la dynamique du processus concerné. Toutes ces questions de temps doivent être abordées lors de l'élaboration d'un plan de gestion intégrée.

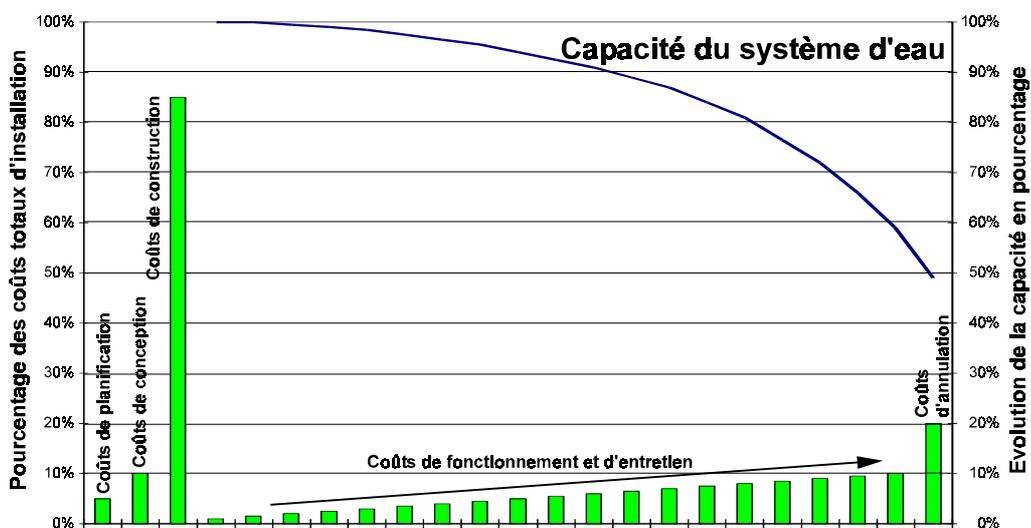


Figure 1.4: Cycle de vie d'un système d'eau, capacités et coûts

### Les différents aspects de la question

Les demandes et les objectifs d'un projet de ressources en eau peuvent être d'ordre: économique (financier), social, politique, légal, ou se rapporter à des questions de contrôle et de protection de l'environnement, de santé, de loisirs, etc. (Figure 1.5). La priorité est donnée à l'examen des aspects politiques du projet. Il est nécessaire d'avoir une idée claire sur les besoins, buts, objectifs et attentes du système socio-économique et culturel, susceptibles d'être influencés par l'infrastructure. Le principal aspect des systèmes de ressources en eaux est leur efficacité économique. Tous les autres aspects sont également importants en fonction de la situation locale et des caractéristiques du projet. L'important est de prendre en considération tous ces aspects lors de la gestion intégrée: aspects physiques, impacts sociaux, problèmes d'organisation, aspects financiers, y compris l'impact sur les systèmes plus larges (milieu naturel et autres écosystèmes terrestres et aquatiques).

En règle générale, le projet est sélectionné sur une base économique satisfaisant toutes les contraintes. Des études doivent déterminer les besoins financiers du projet, ainsi que les revenus et subventions, après la mise en exploitation du projet.

Le prise de décisions concernant les projets de ressources en eau est un processus multi-objectifs et multi-critères exigeant des stratégies de gestion des conflits afin d'obtenir un consensus sur les objectifs et d'aboutir raisonnablement à des alternatives réalisables.

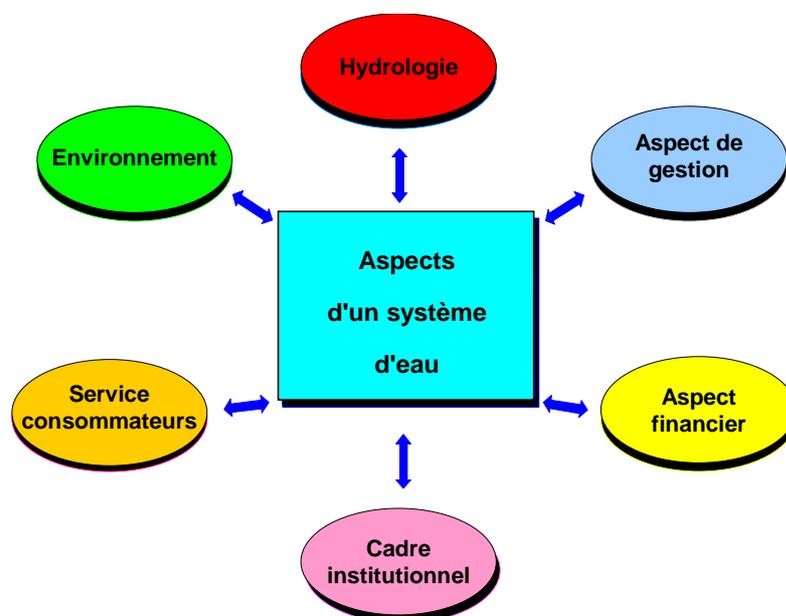


Figure 1.5: Aspects des systèmes d'eau à prendre en considération

### Plan d'action

S'appuyant sur ce qui précède, un plan d'action pour les zones côtières méditerranéennes doit chercher à:

- établir les objectifs et priorités nationaux en matière de gestion des ressources en eau;
- adopter des critères de formulation et d'évaluation des projets qui impliquent l'analyse coûts-bénéfices, l'évaluation des risques et la pluralité des objectifs;
- établir un équilibre approprié entre les interventions nouvelles et l'utilisation plus efficace des équipements existants;
- adopter les approches qui reconnaissent l'interdépendance des utilisations d'eau et des politiques de tarification;
- garantir un financement adéquat à l'exécution et à l'entretien du projet;
- prévoir un suivi efficace des projets; et
- assurer une formation à la gestion des eaux, surtout en matière d'intégration durant le processus entier de gestion. (Danish Hydraulic Institute, 1994).

## 1.4 Gestion des ressources

### Gestion intégrée du littoral

Les ressources des zones et régions côtières assurent un flux de biens et de services, mais elles impliquent souvent des activités variées complémentaires et incompatibles. Si l'on n'y prend garde, les forces sociales et économiques en action dans les zones côtières et qui s'y disputent les rares ressources se traduiraient en surexploitation des ressources, en effets négatifs sur l'environnement, en problèmes d'injustice et en pertes de bien-être social. La gestion des zones et régions côtières est de ce fait nécessaire.

La gestion des zones côtières s'exerce dans le cadre plus large de la gestion des ressources. La gestion des ressources pourrait être définie comme un processus conscient de prise de décisions permettant l'allocation spacio-temporelle des ressources naturelles et culturelles. Cette allocation vise à optimiser la réalisation des objectifs d'une société, dans son contexte institutionnel, politique et social, technologique, légal et réglementaire.

Ce qui différencie la gestion des zones côtières des autres types de gestion des ressources réside (1) dans le fait que le champ d'activité de la gestion des zones côtières est un espace géographique particulier, et (2) dans les problèmes qui s'y rapportent. Par ailleurs, la riche interférence d'activités humaines, de ressources naturelles et de processus écologiques étroitement liés, ainsi que les problèmes et les conflits qui en résultent, ne peuvent être traités à travers l'approche sectorielle traditionnelle. La gestion multi et trans-sectorielle, ou gestion intégrée des zones côtières, devient alors nécessaire.

Un grand nombre de définitions se rapporte à cette activité. L'une d'elles qui la définit comme un processus de réalisation des buts et objectifs du développement durable des zones côtières du point de vue environnemental, prenant en considération les contraintes physiques, sociales, économiques, légales, institutionnelles, financières et administratives, semble la plus globale (PNUE-PAP, 1995).

De ce fait la gestion de ressources en eaux implique une interaction étroite entre les plans de gestion des zones côtières et tous les autres plans de développement, raison pour laquelle elle fait partie intégrante du plan plus large de gestion de toutes les ressources.

### Directives en matière de gestion des ressources

En s'appuyant sur les considérations précitées, il est possible de recommander un ensemble de directives pour une gestion efficace des ressources en eau dans les régions côtières de la Méditerranée.

La mer littorale et son influence sur les ressources en eaux douces (*et vice versa*) doivent être pris en considération dans chaque activité de gestion des ressources en eau.

- Relier le secteur des ressources en eaux à l'économie nationale, comme cela a été proposé par (Rogers, 1993). Orienter les investissements nationaux vers le développement des ressources en eau par le biais des budgets et programmes, ainsi que par une répartition des coûts, des prêts, des dons internationaux ou bilatéraux, et de l'investissement privé, entre les agences au niveau national, régional et local.
- Préserver de bons rapports transfrontiers en développant des accords internationaux appropriés entre les pays voisins, en particulier.
- Etablir une législation nationale unifiée, ainsi que des objectifs prioritaires dans l'utilisation de l'eau et résoudre les conflits par la négociation et la médiation.
- Centraliser la planification et la mise en œuvre dans les cas où la décentralisation est un obstacle à l'efficacité.
- Maximiser l'efficacité des équipements existants avant de recourir à des investissements lourds par de nouveaux projets.
- Evaluer les nouveaux projets par l'analyse coûts-bénéfices à long terme et l'étude de leur faisabilité économique.

- Encourager l'engagement et la participation du public et reconnaître le rôle des femmes dans les stratégies de gestion rationnelle.
- Dédommager tout inconvénient, perturbation sociale ou perte financière causée aux tiers du fait du développement.
- Adopter des politiques de tarification qui reflètent les coûts de traitement des déchets. Le financement de l'exploitation et de l'entretien du projet devrait être partiellement assuré par les utilisateurs, surtout lorsque les projets sont à remettre aux utilisateurs locaux.
- Former les planificateurs à l'esprit et à la pratique de la gestion intégrée des ressources en eau.
- Créer des réseaux de suivi efficaces et appliquer les technologies de l'information pour stocker les données générées par les nouvelles installations.

## 2. L'APPROCHE INTEGREE AU SERVICE DU DEVELOPPEMENT, DE LA GESTION ET DE L'UTILISATION DES RESSOURCES EN EAU

### 2.1 Le concept

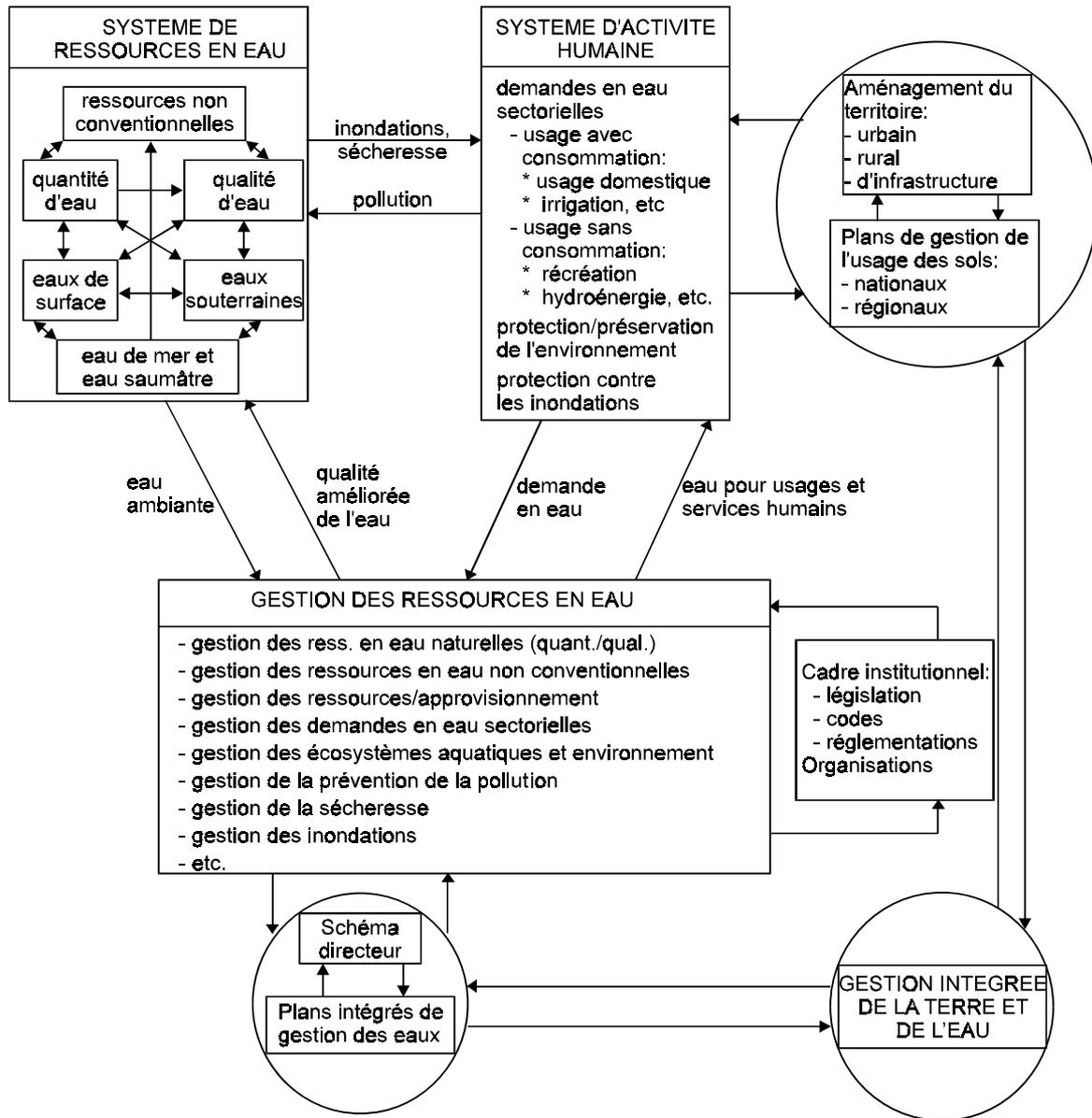
L'approche intégrée en service du développement, de la gestion et de l'utilisation des ressources en eau a, ces dernières années, gagné du terrain. Véritable concept interdisciplinaire qui vise à prendre simultanément en compte les problèmes de qualité et de quantité des eaux souterraines et superficielles, il exige une coopération soutenue de divers spécialistes. La gestion des ressources en eau, est entrée maintenant dans une ère nouvelle marquée par un changement incontestable vers la fonctionnalité des systèmes existants, et des tentatives pour dépasser la réflexion sectorielle en matière de gestion des ressources qui caractérisait et entravait les réalisations précédentes. Cela devrait être accompli à travers l'approche intégrée du développement, de la gestion et de l'utilisation des ressources en eau, difficile à définir strictement.

La gestion des ressources en eaux intègre toutes les activités connues de la phase préparatoire (démarrage et planification), ainsi que celles de la phase de mise en œuvre (conception, construction et fonctionnement) d'un système de ressources en eau. La question qui se pose alors est pourquoi ajouter le mot "intégrée"? La réponse pourrait être que le terme "intégrée" crée une atmosphère de hautes aspirations, annonçant très clairement de nouvelles approches vis-à-vis des pratiques précédentes et soulevant finalement des espoirs de décisions "meilleures" et d'utilisation plus réfléchie de la ressource en eau. Le mot "intégrée", employé en liaison avec le développement et la gestion des ressources en eau, souligne le caractère multisectoriel et multidisciplinaire de ces processus. Il les distingue nettement de l'approche sectorielle plus traditionnelle du développement et de la planification. Linguistiquement et mathématiquement parlant, le mot "intégrée" suggère la notion de totalité puisque la gestion intégrée des ressources en eau peut être considérée comme l'intégration dans l'espace et dans le temps des conséquences sociales des activités de gestion des ressources en eau, et de leurs utilisations sectorielles. Des considérations philosophiques peuvent argumenter contre l'emploi du mot "intégrée" puisqu'il ne suggère par lui-même aucune limite définie. Cette difficulté peut être dépassée si l'on admet que, dans la pratique, ce sont les impératifs de viabilité qui imposent des limites raisonnables à l'importance des efforts à mettre en œuvre dans le domaine de l'intégration. Donc, l'ajout du mot "intégrée" à gestion des ressources en eau, est donc justifié non pas tant par le fait que le problème est examiné à travers sa nature multisectorielle que par celui que les décisions prises dans le cadre de la gestion intégrée des ressources en eau ont été concrétisées grâce à l'incorporation systématique des aspirations contradictoires des différents décideurs, en impliquant les agences concurrentes, les institutions et les représentants du public dans le processus.

L'approche intégrée du développement, de la gestion et de l'utilisation des ressources en eau s'efforce à réunir l'ensemble des conditions et moyens d'évaluation, de planification et de développement des ressources en eau dans le but de satisfaire les demandes en eau de manière rationnelle. Elle implique le suivi global, la protection efficace et la conservation des ressources en eau par le biais d'une mise en œuvre efficace et d'une utilisation rationnelle. Elle tend à agir dans le meilleur intérêt de la société et de son développement durable, prenant en considération le rôle de l'eau dans la mise en place et la régulation des processus socio-économiques et environnementaux aux niveaux local et régional (Figure 2.1).

Autrement dit, cette approche:

- tâche d'intégrer les connaissances en matière de sciences naturelles, techniques et sociales et de créer les fondements théoriques et pratiques de leur adaptation et de leur application aux ressources en eau; et



**Figure 2.1: Représentation schématique du développement, de la gestion et de l'utilisation intégrés des ressources en eau côtières (Margeta, 1994)**

- cherche à modifier le système, ainsi que le mode d'utilisation des eaux et des sols, par des mesures structurelles et institutionnelles pour atteindre un objectif spécifique ou pour améliorer le fonctionnement des systèmes existants.

La gestion des ressources en eau, surtout dans les pays en développement, s'exerce dans le cadre d'une planification et d'une politique complexes qui changent au fur et à mesure que le développement s'affirme. En général, les ressources en eau se développent dans le contexte des plans et programmes nationaux de développement économique et social. L'expérience montre cependant que la plupart des problèmes de conciliation du développement des ressources en eau avec d'autres objectifs proviennent du fait qu'ils n'ont pas été examinés dans le même cadre. Les activités de ressources en eau sont habituellement de la compétence d'un grand nombre de ministères, départements, commissions et autres, qui rendent la coordination difficile. La gestion des ressources en eau est une question complexe qui demande non seulement un effort interdisciplinaire mais aussi un cadre institutionnel approprié bénéficiant du soutien législatif et d'attributions juridiques précises. Pour assurer une approche conséquente vers la gestion intégrée des ressources en eau, un cadre de prise de décisions devra être établi, car les effets rétroactif et les mécanismes de négociation impliquent le pouvoir politique, les agences d'exécution et le public

concerné. Les planificateurs, à l'échelle régionale, les ingénieurs et les décideurs ont besoin de se familiariser avec les concepts d'analyse systémique et autres méthodes pertinentes à utiliser dans la gestion des ressources en eau. Leur capacité de servir d'intermédiaires et de résoudre les conflits propres au développement et à la protection des ressources en eau doit être renforcée. Simultanément les techniques quantitatives en matière de prise de décisions multicritères sont à développer. L'eau est absolument cruciale à chaque pays. C'est pourquoi une multitude de personnes et de groupes s'intéressent à son développement et à sa gestion. Dans chaque région il y a des groupes de pression, des objectifs politiques, des facteurs locaux et des faits sociaux à prendre en considération lors de la formulation d'une politique de développement des ressources en eau. Il existe dans tous les pays une nécessité évidente de gérer plus efficacement les ressources en eau renouvelables en appliquant une approche intégrée au service du développement, de la gestion et de l'utilisation des eaux au niveau régional. Le but de l'approche intégrée est la préparation d'un plan rationnel où tous les secteurs de développement sont évalués selon leurs effets sur les autres ressources dans une zone géographique donnée (Figure 2.1). Elle implique une coordination considérable entre les secteurs concernés et la possibilité de modifier des activités pour empêcher l'épuisement des ressources et assurer une productivité économique durable. Elle suppose également une intégration systématique des questions environnementales.

Une illustration de l'approche intégrée du développement, de la gestion et de l'utilisation des ressources en eau, ainsi que de l'interaction des ressources en eau et des systèmes d'activités humaines est présentée dans la Figure 2.1.

## 2.2 Système de ressources en eau

### 2.2.1 Système de ressources en eau et ses caractéristiques

Le système naturel de ressources en eau (hydrosphère) fait partie du système global naturel qui comprend le cycle hydrologique reliant tous les éléments de l'hydrosphère: précipitations, évaporation, ruissellements superficiels, lacs et écoulement souterrains, y compris l'eau atmosphérique, le sol et le biotope (Figure 1.3). C'est un système d'eau et de ressources naturelles liées à l'eau à la disposition des utilisations humaines, y compris l'utilisation de la ressource dans son état naturel.

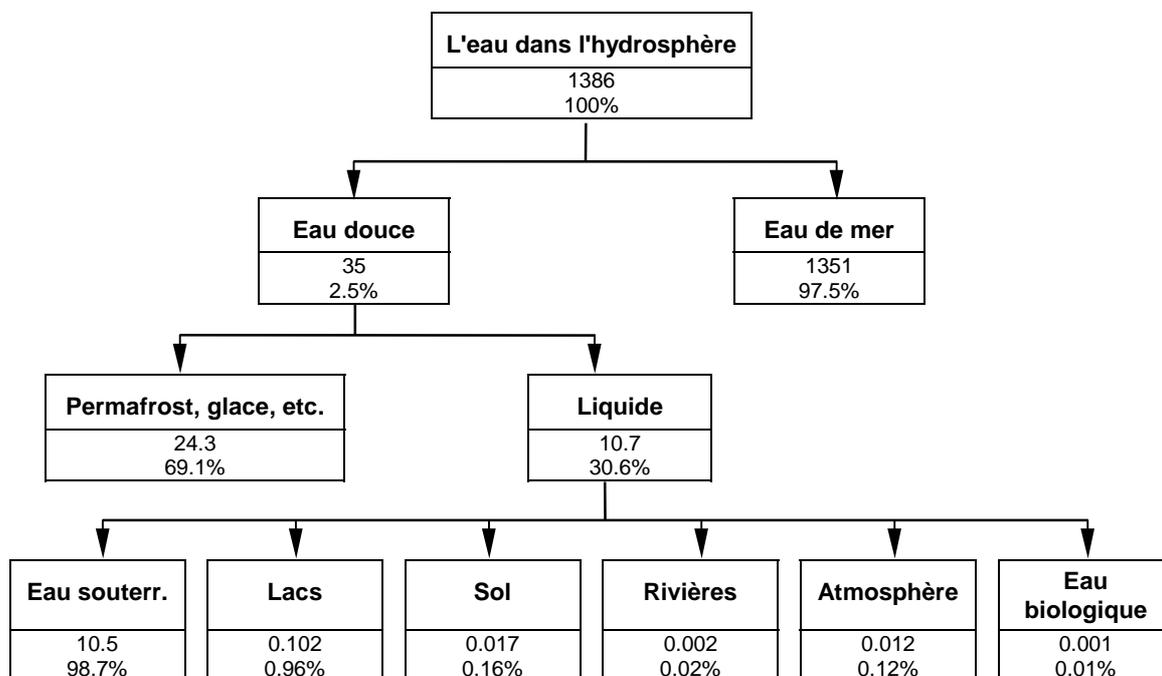


Figure 2.2: Ressources en eau sur la Terre (1000 km<sup>3</sup>) (UNESCO, 1978)

Avec un volume total de quelque  $1386.1000 \text{ km}^3$ , l'eau est le composé chimique le plus abondant de la croûte terrestre. 70% de l'ensemble de la surface terrestre, sont actuellement couverts par les océans qui contiennent 97,5% de la totalité de l'eau sur la terre (Figure 2.2). Seuls 2,5% de l'eau sur terre sont de l'eau douce sous forme de rivières, de lacs, permafrost des calottes polaires ou de glaciers de montagne, d'eaux souterraines, d'eau dans le sol et l'atmosphère et d'eau biologique. Quelque 69,4% de cette quantité représentent le permafrost et la glace, etc., et seulement 30,6% représentent l'eau liquide, dont 98,7% sous forme d'eaux souterraines. Le volume de l'eau douce dans les lacs et les rivières est d'environ 1% de l'eau liquide disponible sur la terre. Ce volume se remplit constamment par des précipitations. L'eau est la ressource naturelle la plus exploitée. L'homme utilise environ  $100 \cdot 10^9 \text{ t/an}$  de matières premières, et presque  $4000 \cdot 10^9 \text{ t/an}$  d'eau douce. Non seulement l'homme mais la vie entière sur la terre ont besoin de l'eau (UNESCO, 1978). L'eau est une ressource naturelle renouvelable. Le cycle hydrologique naturel est un processus permanent et complexe comprenant nombre de phénomènes naturels (Figure 1.3). L'énergie solaire et la gravitation sont les principales forces motrices du cycle hydrologique. Suite aux variations de température, l'eau prend différents aspects (glace, liquide, vapeur), et la gravitation la mobilise. A l'échelle du globe c'est une ressource naturelle inépuisable. Cela n'est pas le cas à l'échelle régionale et locale. A l'échelle globale, nous sommes confrontés aujourd'hui à un manque apparent d'eau utilisable du fait d'une pollution intense.

L'utilisation durable de l'eau douce signifie que le volume des ressources utilisées ne dépasse pas celui par lesquels ces ressources se renouvellent à travers les précipitations. De manière globale, la terre reçoit environ  $110\,000 \text{ km}^3$  de précipitations chaque année, dont la moitié est perdue par évaporation (Figure 2.3). De ce fait, seuls  $45\,000 \text{ km}^3$  par an au maximum restent disponibles. De la même façon, il est possible de calculer les quantités maximales disponibles pour toute zone ou région plus petite.

Les eaux douces de surface ou souterraines renouvelées naturellement constituent les ressources en eau d'une région. Elles constituent des potentiels naturels d'énergie, de transport, d'auto-purification, et aussi un potentiel écologique, etc. Les apports en eau de surface et souterraine sont constitués par l'eau douce existant dans une zone particulière pour une période spécifique de temps, comme élément du cycle hydrologique.

Quantitativement les apports d'eau d'une zone donnée peuvent être subdivisés en:

- apports potentiels (différence à long terme entre précipitation et évapotranspiration moyennes);
- apports stables (apports potentiels moins le ruissellement, c'est à dire l'écoulement d'eau souterrain ou le débit de base); et
- apports réguliers (l'eau obtenue par destockage).

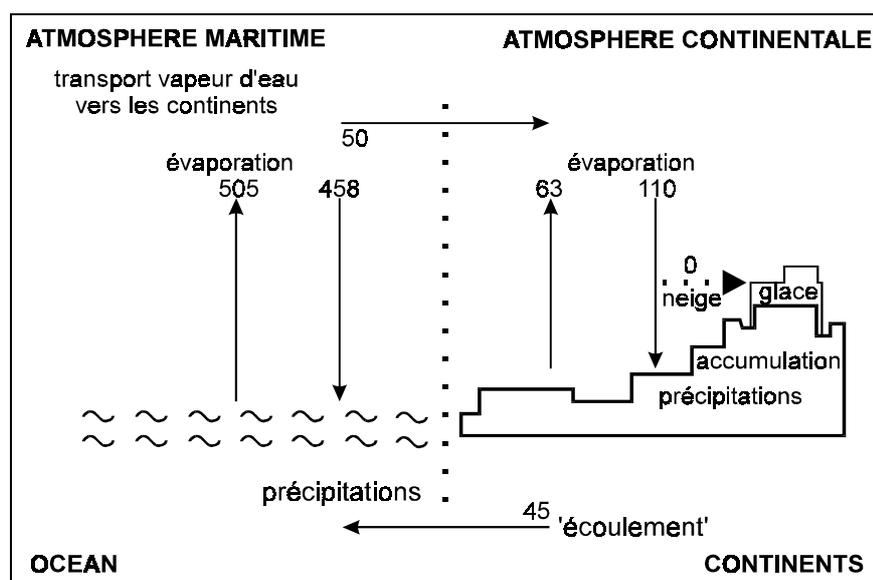


Figure 2.3: Estimations du bilan d'eau global ( $\times 1000 \text{ km}^3/\text{an}$ ) (UNESCO, 1978)

Par rapport aux apports bruts, les apports d'eau nets utilisables correspondent aux quantités qui restent après la prise en compte des contraintes hydrologiques, écologiques, technologiques, économiques et géopolitiques. Cet apport net n'est pas constant. Il varie avec le temps, à mesure que les restrictions hydrologiques, écologiques, économiques et techniques changent en fonction du développement global, de sorte qu'il doit être souvent recalculé.

L'existence d'une source d'eau ne la définit pas automatiquement comme une ressource en eau utilisable; elle doit être disponible ou apte à être mise à disposition en un lieu donné, en quantités et en qualité suffisantes, durant une période de temps correspondant à une demande identifiable (UNESCO/WMO, 1988).

La distribution de l'eau douce varie d'une zone à l'autre et d'un pays à l'autre selon le climat, l'hydrologie, la géologie et l'utilisation locales. Parmi les aires caractéristiques, les zones côtières et les systèmes d'eau côtiers sont d'une importance particulière pour l'homme. La côte est une zone naturelle où la terre, l'eau douce et la mer s'influencent et réagissent les uns aux autres, générant maintes transitions et gradations résultant de la variété des conditions (géologie, sol, humidité et salinité), des processus géomorphologiques et autres, ainsi que des microclimats, etc.

Les systèmes d'eau côtiers présentent la particularité d'englober les ressources d'eau de mer et saumâtre, en plus de celles en eau douce. En termes de bilan d'eau global, cette distinction n'a pas d'importance, mais au niveau local, du fait des contacts directs et indirects et de leurs effets sur le bilan d'eau douce et sur la possibilité d'utilisation de l'eau douce, saumâtre et marine, toutes ces ressources nécessitent un traitement intégré. L'intégrité de l'entité hydrologique est essentielle à l'utilisation durable du système naturel de ressources en eau (douce et marine). Cela concerne particulièrement les pays méditerranéens dont les zones côtières constituent les plus importantes ressources naturelles.

Pour ce faire, une connaissance détaillée et fiable du système de ressources en eau est une condition première. L'évaluation des ressources en eau veut dire leur identification, la détermination de leur extension, de leur degré de dépendance, et de leur qualité comme base pour apprécier les possibilités de leur utilisation et de leur contrôle (UNESCO, 1978; UNESCO/WMO, 1988). Des données sont nécessaires, préalablement mais aussi une approche adéquate d'analyse. Il est certain que la meilleure façon d'analyser les ressources en eau utilise le bassin versant entier comme unité de base pour la collecte et l'interprétation des données. Ce bassin peut-être subdivisé selon les caractéristiques locales telles que la géologie, le climat, l'utilisation des sols et des eaux, le type de sol, la couverture végétale, etc. Dans ce cas, le système est examiné intégralement dans ses limites naturelles, permettant un calcul plus sûr et plus facile de ses bilans. Les composantes individualisées du système naturel de ressources en eau tels les aquifères souterrains ou les estuaires peuvent également être utilisés comme unités d'analyse.

Une évaluation quantitative devrait utiliser l'approche bilan d'eau complet qui comptabilise débits, prélèvements et stocks d'eau, mettant l'accent sur l'interaction des eaux de surface et souterraines, de la qualité et des quantités d'eau. L'évaluation de la zone côtière devrait comprendre l'interaction entre les eaux de surface et la mer, entre les eaux souterraines et la mer, en termes de quantité et de qualité. C'est une tâche très difficile exigeant une analyse complexe des données et processus hydrologiques et océanographiques.

### **Ressources en eau non conventionnelles**

Les ressources en eau non-conventionnelles sont de plus en plus utilisées dans maints pays, et tout particulièrement ceux connaissant des pénuries d'eau. L'eau saumâtre, l'eau de mer, l'eau usée épurée, l'eau de seconde catégorie (eau d'orage et eau d'inondation), l'eau importée en bouteilles et celle fournie par citernes sont de plus en plus utilisées comme nouvelles sources d'eau.

Dans la région méditerranéenne, on utilise le plus souvent deux types de sources non conventionnelles: la réutilisation des eaux usées et le dessalement.

La réutilisation des eaux usées n'est pas généralisée dans la région, mais dans certains pays, elle est utilisée de manière importante, comme par exemple en Israël (eaux usées), en Egypte (eau de drainage) et en Tunisie (eaux usées). Cette ressource en eau n'est pas utilisée plus largement à cause du manque de réseaux d'assainissement pour leur collecte eau et leur transport jusqu'aux stations d'épuration. La réutilisation des eaux usées est considérée comme une des ressources en eau auxiliaires les plus rentables et, dans l'avenir, elles devraient représenter la principale

ressource complémentaire par rapport aux eaux naturelles. De grandes quantités d'eaux usées sont collectées constamment dans les villes et leur importance sera de plus en plus grande, pour différents usages. Il ne faut pas oublier que la réutilisation des eaux usées peut aussi être une mesure efficace de contrôle et de protection des eaux, le préalable à la réutilisation étant un traitement efficace des eaux usées.

Contrairement à la réutilisation des eaux usées, le dessalement est une procédure coûteuse. Cependant, à mesure que les coûts de production d'eau baissent, l'application de cette méthode augmente. En Méditerranée, le dessalement est essentiellement appliqué à Malte et en Libye. Le dessalement des eaux saumâtres souterraines est particulièrement favorable.

Il est totalement irrationnel que l'eau produite au moyen d'un processus coûteux de dessalement ou payée à un prix élevé, soit rejetée en mer de manière irréversible, comme lorsque l'eau, après utilisation, finit dans les émissaires sous-marins.

En plus de la possibilité de leur utilisation directe pour différentes fins, les ressources en eau non-conventionnelles sont utilisées pour régénérer la capacité des aquifères. Cela concerne en particulier les eaux d'orages et d'inondations qui, en Méditerranée du Sud, se produisent rarement mais avec de grandes intensités. Une rétention appropriée et un détournement de ces quantités énormes d'eau permettraient leur utilisation efficace pour la réalimentation artificielle des nappes souterraines (Tunisie). D'autres sources non-conventionnelles moins coûteuses (eaux usées traitées) sont aussi utilisées pour la recharge des ressources en eau souterraines.

Tous les pays souffrant d'un manque de ressources en eau naturelles renouvelables disposent de ressources non-conventionnelles comme composantes du système de ressources en eau. Ainsi la gestion intégrée des ressources en eau et de l'approvisionnement concerne aussi bien les ressources en eau non-conventionnelles, que la gestion des ressources en eau naturelles.

## **2.2.2 Utilisation des ressources en eau à des fins multiples**

Le maintien d'un système hydrologique durable est compliqué à cause du grand nombre et de la variation des utilisations des ressources en eau qui ont des effets complémentaires et conflictuels les uns sur les autres. Cela concerne en particulier les zones côtières où la gestion des ressources en eau douce se complique ultérieurement par suite de contacts et d'interactions avec la mer. La gestion des ressources en eau doit donc, être faite de manière intégrée qui requiert une approche équilibrée des différents usages et services de l'eau et, dans les zones côtières, une approche appropriée de gestion intégrée des ressources en eau, douce et marine. L'approche intégrée permet de mettre en évidence les effets complémentaires et d'examiner d'un œil critique les conflits d'usages. De plus, une telle approche met en œuvre des compromis entre les utilisations concurrentes dans le but de parvenir à la solution la plus acceptable, tenant compte tant des bénéfices économiques directs que des autres bénéfices qu'on peut directement mesurer économiquement parlant.

Les plus grandes difficultés sont rencontrées dans l'intégration et la valorisation adéquates des objectifs environnementaux comme la préservation et l'amélioration des écosystèmes biologiques, des poissons et de la faune sauvage, des eaux douces et des eaux marines côtières adjacentes. Au commencement même de la phase de planification et d'évaluation, les conséquences environnementales des interventions dans le domaine de l'eau doivent être attentivement examinées. Les études d'impact de ces interventions sur l'entité ou continuum hydrologique doivent être élaborées. Ces études doivent prendre en considération les conséquences écologiques des interventions précitées sur les eaux côtières marines. Les conséquences environnementales typiques des interventions en matière d'eau sont:

1. Les impacts négatifs sur les écosystèmes d'eau douce et de mer, par suite de la pollution, de l'érosion et des changements des régimes fluviaux;
2. Les impacts négatifs sur les écosystèmes de l'eau de mer du fait de la pollution, de la sédimentation et d'autres impacts de l'eau douce;
3. La sédimentation et l'eutrophisation des cours d'eau et des réservoirs;
4. L'eutrophisation des eaux de mer côtières;
5. La salinisation des sols et le colmatage; et
6. La salinisation des eaux côtières superficielles et souterraines.

### Encadré 1

#### Éléments d'un plan de gestion intégrée des ressources en eau

1. Approvisionnement en eau des ménages
2. Approvisionnement en eau des équipements touristiques
3. Approvisionnement en eau industrielle
4. Irrigation
5. Drainage
6. Contrôle de la salinité
7. Contrôle des inondations
8. Contrôle de la pollution
9. Préservation d'écosystèmes aquatiques
10. Usage de l'eau aux fins de récréation
11. Navigation
12. Énergie hydrique
13. Contrôle des sédiments
14. Gestion des bassins versants, conservation du sol et contrôle de l'érosion
15. Contrôle des insectes
16. Production piscicole
17. Contrôle de la pollution marine
18. Préservation des écosystèmes marins côtiers
19. Aquaculture
20. Utilisation des eaux côtières marines aux fins de récréation
21. Érosion côtière
22. Maintien de l'interface eau douce/eau de mer
23. Dessalement
24. Réutilisation des eaux usées épurées et autres utilisations et services concernant la mer et les eaux côtières.

Les critères d'environnement peuvent rarement être mesurés en termes économiques et financiers (non mesurables), ce qui complique leur valorisation et leur comparaison avec d'autres critères mesurables. Une bonne solution à ces problèmes peut être la mise en application d'une approche multi-objectifs qui constitue une vraie synthèse des conséquences écologiques, de l'équité sociale et des valeurs économiques. Malheureusement, le rôle d'une telle analyse multi-objectifs est particulièrement difficile quand il s'agit d'éléments non structurels pour lesquels les coûts, bénéfices et risques ne peuvent être facilement quantifiés en termes monétaires, comme dans le cas d'éléments plus structurés.

La solution se trouve dans l'Étude d'Impact sur l'Environnement (EIE), au cours de laquelle l'on mesure et évalue les impacts majeurs des projets concernés sur le continuum hydrologique, y compris les eaux de mer côtières. L'EIE doit précisément examiner à la fois les effets négatifs et positifs, vu que les projets hydrologiques devraient avoir des effets sociaux et environnementaux positifs. Il faut accorder à ces questions une attention particulière dès la phase préparatoire de planification et en tenir compte jusqu'à la sélection d'une solution appropriée.

Lors de l'analyse de l'utilisation des ressources en eau, il y a lieu de considérer que les phénomènes hydrologiques sont aléatoires et que certains événements hydro-météorologiques sont imprévisibles, de sorte que les planificateurs et leurs solutions doivent prendre en compte les éléments de risque et d'incertitudes. Une autre source de risque et d'incertitude sont les erreurs de mesure et la variabilité des situations complexes du point de vue social et économique. La question de risque total est abordée à travers le processus d'évaluation et de gestion des risques.

### 2.3 Système d'activités humaines

Le système d'activités humaines est composé de nombreuses activités qui affectent le système de ressources en eau naturelles ou en sont affectées. L'homme a toujours essayé de contrôler le système des ressources en eau naturelles dans l'intention de satisfaire ses besoins (approvisionnement en eau des ménages, irrigation, élimination des déchets, pêche, navigation, récréation, approvisionnement en eau industrielle, énergie hydroélectrique) et de se protéger des

effets nocifs des eaux (inondations, pollution, et érosion hydrique, sécheresse et maladies liées aux insuffisances d'approvisionnement en eau et/ou d'assainissement.

Dans les zones côtières, les activités humaines concernent également l'usage de la mer littorale et des ressources en eaux côtières, ainsi que la protection contre les effets nocifs des eaux et de la mer côtière. Pour cette raison, les activités humaines y sont plus nombreuses et plus complexes. En fait, ces activités concernent les ressources en eau douce, l'eau de mer côtière, ainsi que les zones de transition entre ces deux ressources naturelles.

Dans le bassin méditerranéen, comme dans le reste du monde, c'est la zone côtière qui porte le plus lourd fardeau. Dans l'avenir prévisible, les zones côtières seront même exposées à une plus forte pression démographique ainsi qu'à l'expansion et à la diversification des économies nationales. On estime que la plus grande partie de la croissance démographique, dans les pays en développement, surtout, sera concentrée dans les aires urbaines, et en premier lieu, dans les villes côtières. La région méditerranéenne est une destination touristique populaire, qui reçoit 100 millions d'arrivées par an, de sorte qu'en été le nombre d'habitants augmente considérablement. Pour ces raisons, la région méditerranéenne est un grand utilisateur de ressources, y compris les deux ressources fondamentales: le sol et l'eau.

Un système de gestion intégrée s'avère nécessaire pour préserver l'intégrité du système des ressources en eau naturelles et maîtriser les activités humaines liées à l'eau. La principale tâche de la gestion intégrée des ressources en eau est d'influencer les activités humaines dans la zone concernée de manière à utiliser les ressources en eau en réduisant les effets négatifs sur le système d'eau naturel, à minimiser les pertes économiques et sociales du fait des risques naturels, et à renforcer tous les effets positifs.

Cette tâche exige un certain nombre d'actions ayant trait:

1. A la demande en eau pour différents usages et services;
2. A la pollution causée par les activités humaines;
3. A la lutte contre les inondations;
4. A la lutte contre la sécheresse; et
5. Aux interventions dans le système naturel (expansion urbaine, etc.).

## **Encadré 2**

### **Quelques objectifs d'intervention humaine dans les systèmes de ressources en eau**

- alimentation en eau pour les usages domestique, commercial, municipal, industriel, etc.;
- santé publique, protection de biens récréatifs, forêts et récoltes;
- production alimentaire;
- alimentation en électricité pour le développement économique et l'élévation du niveau de vie;
- transport des biens et des personnes;
- prévention et réduction des dommages causés par des inondations;
- protection du développement économique, conservation des stocks, régularisation des rivières, protection de la biodiversité, etc.;
- amélioration de l'habitat des poissons et de la faune sauvage, réduction des pertes en poissons ou en faune sauvage, associées au développement;
- encouragement des opportunités de sport;
- lutte contre l'intrusion saline dans le sol et les eaux souterraines;
- conservation du sol, réduction de l'envasement, amélioration des forêts et prairies, protection de l'alimentation en eau, etc.

### 2.3.1 Gestion de la demande en eau

Les usages de l'eau comprennent toutes les activités individuelles et collectives de la société humaine qui affectent les ressources en eau et modifient leur qualité et leur quantité. Ce sont, entre autres:

1. L'usage au fil de l'eau (navigation, énergie hydroélectrique, etc.) et *in situ* (plan d'eau, etc.), sans prélèvements de ressources.
2. Les prélèvements d'eau, c'est à dire la dérivation d'une partie des ressources en eau de surface ou souterraines, pour une utilisation locale (*in situ*) ou une utilisation collective à travers un réseau compliqué d'approvisionnement, de distribution et de drainage.

La méthode d'utilisation ou de distribution des eaux dépend surtout du degré de développement et d'organisation du système social. Les réseaux de transfert, de distribution, d'utilisation et de drainage des eaux sont plus larges, plus coûteux et plus compliqués, s'étendant graduellement mais systématiquement comme conséquence du développement agricole, social et industriel.

Un des plus graves problèmes auxquels sont confrontés les gestionnaires des eaux est la répartition efficace de ressources en eau finies entre des utilisations croissantes et concurrentielles. Cela est particulièrement accentué dans le bassin méditerranéen. L'augmentation de l'approvisionnement en eau pour répondre aux besoins croissants est une tâche difficilement réalisable dans la région méditerranéenne. Dans l'ensemble de la région méditerranéenne, les ressources en eau sont relativement rares, exception faite pour certaines vallées fluviales, comme le Nil et le Rhône, ou pour quelques zones septentrionales riches en eau. Vu la croissance démographique permanente et l'importance du développement urbain et économique, la gestion sérieuse des ressources en eau devient hautement prioritaire. Cela concerne en particulier les villes et les zones rurales (surtout en Méditerranée du Sud et de l'Est) où les pertes d'eau dans les réseaux d'approvisionnement sont très grandes.

Parmi les principaux objectifs il faut citer:

- la réduction de la demande;
- la réduction des pertes d'eau;
- le contrôle des gaspillages; et
- la modification des types et des systèmes d'utilisation de l'eau.

Les mesures à prendre en considération sont:

- Les économies d'eau qui doivent être une préoccupation permanente dans les processus de planification et de gestion des ressources en eau. Cela implique que les coûts induits soient comparés avec ceux de la mobilisation des ressources en eau supplémentaires.
- L'élargissement des connaissances sur la demande en eau, en tenant compte de ses différents aspects: captage, consommation nette et exigences de qualité.
- La variabilité de la demande qui peut changer selon le progrès technologique, le climat ou les conditions de l'offre d'eau.
- La sensibilisation aux économies d'eau, et l'éducation/formation qui sont des éléments essentiels de la gestion de la demande en eau.
- L'évaluation de la demande pour réduire les coûts et éviter des investissements avant terme. Il est impératif d'appliquer une meilleure approche de cette évaluation pour toutes les utilisations, ainsi que de meilleurs paramètres de variation et de ratios (demandes de pointe, taux de pertes, etc.), et d'éviter les approximations aléatoires.

La gestion des eaux devrait utiliser le prix comme outil de gestion de la demande, tarification de l'approvisionnement en eau potable et de l'évacuation des eaux usées sur la base du coût marginal et des coûts de l'assainissement avec des taux progressifs. Si nécessaire, une tarification saisonnière et des impositions temporaires en cas de sécheresse devraient être appliquées. On peut arriver à de bons résultats par le recyclage, la réutilisation et les autres moyens techniques pour réduire les taux de prélèvements d'eau en industrie, pour le refroidissement particulièrement.

La gestion des eaux devrait comprendre:

- les économies d'eau dans le réseau urbain de distribution (audit du système de distribution d'eau, détection des fuites dans le système et réparation, programme de formation dans le domaine de l'eau comme partie du processus d'éducation, information du public, etc.);
- les mesures d'économies d'eau concernant le consommateur urbain (chasse d'eau à double action, marqueurs de détection de fuites, têtes de douche à faible débit, régulateurs de débit de douche, toilettes économisatrices d'eau, etc.);
- l'utilisation des moyens techniques de réduction de l'eau agricole, y compris l'irrigation goutte à goutte et par aspersion, le nivellement de terrain, utilisation des tuyaux au lieu des rigoles à ciel ouvert, l'établissement d'un service de conseils aux agriculteurs sur leurs programmes d'irrigation, y compris aussi d'autres moyens institutionnels (modification du système des droits d'eau et introduction de pratiques et de techniques agricoles appropriées) pour encourager l'utilisation efficace de l'eau;
- l'utilisation de l'eau de qualité inférieure pour certains usages ménagers, commerciaux, industriels et agricoles (eau saumâtre, eaux usées épurées, etc.); et
- l'amélioration et l'encouragement à l'utilisation des eaux *in situ* (collecte des eaux de pluie et autres sources traditionnelles d'alimentation en eau).

La gestion de la demande en eau concerne non seulement l'aspect quantitatif mais aussi la qualité de l'eau ainsi que toutes mesures susceptibles de réduire la pression sur l'utilisation de la ressource. Toutes ces activités doivent être accomplies de manière organisée dans le cadre d'un programme global de conservation de l'eau.

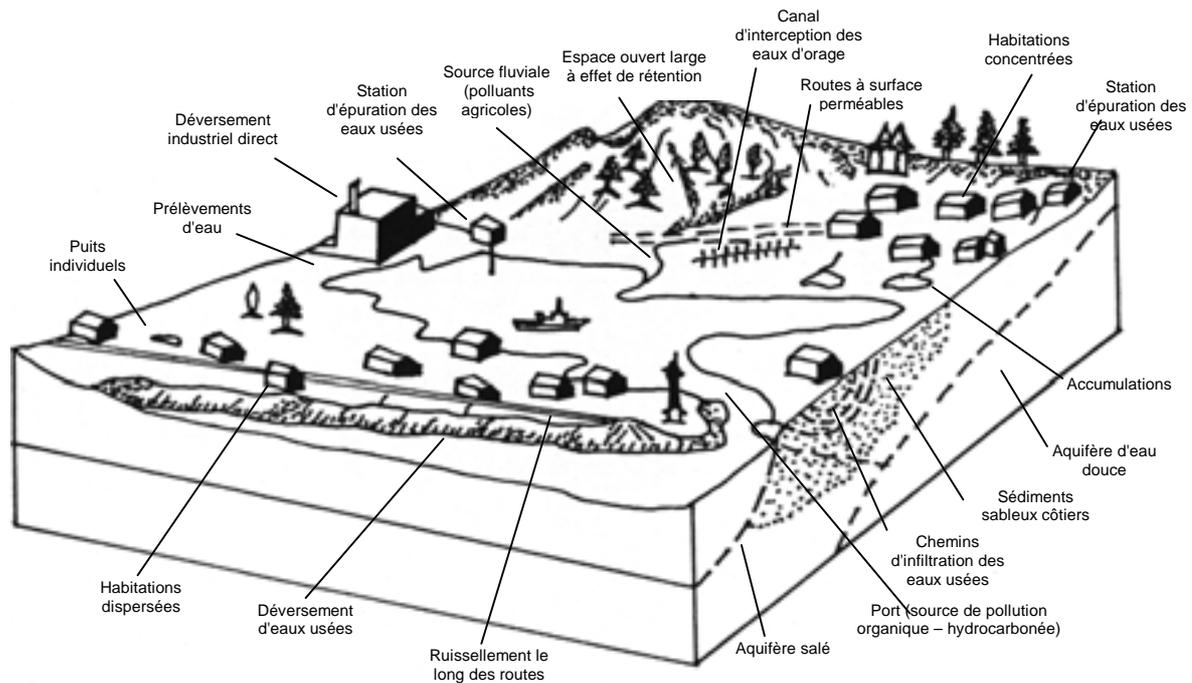
### **2.3.2 Réduction de la pollution**

Le contrôle de la pollution des eaux est une activité des plus importantes dans le concept de gestion intégrée des ressources en eau, d'autant plus que les zones souffrent de pénurie d'eau, comme c'est le cas traditionnellement dans la plus grande partie de la région méditerranéenne. En circulant dans la nature, l'eau recueille la pollution de l'air, du sol et du sous-sol, la transporte à l'état liquide pour la déposer dans les réservoirs. D'autre part, circulant dans les systèmes d'eau artificiels, l'eau devient polluée après usage et affecte les ressources en eau et la mer littorale. Le faible potentiel de ressources en eau renouvelables sera réduit d'autant par la pollution, surtout dans la zone Sud de la Méditerranée, mettant ainsi en danger la sécurité future de l'approvisionnement. La menace pèsera alors sur le seul système naturel sûr d'approvisionnement en eau en cas d'accident (catastrophes naturelles, guerres, etc.).

Une condition préalable à la protection efficace des ressources en eau et de la mer littorale contre la pollution est la préparation d'un plan global et détaillé de protection qui devra prendre en considération toutes les sources de pollution (ponctuelles et diffuses), les processus et la propagation de la pollution, les conséquences ainsi que toutes les mesures structurelles et administratives de protection contre la pollution. Le plan prendra en considération:

- les mesures de réduction de la production de polluants à la source (changements des processus de production industrielle, matières premières utilisées et produits; recyclage dans le processus de production; politiques des prix; et avantages fiscaux);
- les mesures de réduction des déchets après leur collecte (récupération des produits secondaires, recyclage de matières dans les eaux usées, réutilisation des effluents, traitement des effluents); et
- les mesures d'augmentation de la capacité assimilatrice des ressources en eau (dilution, mixage, aération, redistribution du polluant, etc.).

Par ailleurs, tous les aspects institutionnels devront être examinés du point de vue de la législation, de l'organisation, du suivi et même de la répression. Cela concerne en particulier les sources de pollution diffuses comme dans l'agriculture où la situation ne peut être changée que par une application combinée de répression et d'assistance visant l'amélioration des techniques agricoles et l'utilisation de produits chimiques à plus faible taux de pollution environnementale.



**Figure 2.4: L'étendue des problèmes de gestion des eaux côtières**

Quand on parle des ressources en eau côtières, les plans doivent comprendre la protection de la mer littorale contre la pollution ramenée soit indirectement – par les ressources en eau douce, soit directement – par les rejets provenant de sources de pollution côtières, ponctuelles ou diffuses. Dans ce cas, il est également nécessaire d'analyser la pollution des ressources en eau côtières par l'intrusion marine et de prendre les mesures nécessaires pour leur protection (exploitation limitée des aquifères côtiers, utilisation combinée des eaux de surface et souterraines, construction de barrières, etc.).

### 2.3.3 Gestion de la sécheresse

Comme déjà dit, le manque d'eau est une caractéristique d'une grande partie de la région, et tout particulièrement des îles et zones côtières. Par ailleurs, on peut s'attendre dans l'avenir à une situation pire.

L'expérience montre que le manque d'eau dans la région est essentiellement le résultat d'un ou de plusieurs des facteurs suivants:

- a) La grande demande causée par:
  - la croissance démographique;
  - le progrès technologique;
  - l'élévation du niveau de vie; et
  - le développement, surtout touristique.
- b) Le potentiel insuffisant des ressources en eau
- c) Les changements environnement par suite de:
  - la pollution;
  - des dévastations et;
  - des modifications des conditions hydrologiques.

C'est un problème naturel et socio-économique complexe qui ne peut être considéré en tant que désastre classique ou comme risque naturel. La gestion de la sécheresse est donc une tâche difficile englobant les questions de gestion globale des eaux, les interdépendances des écosystèmes et des approches s'appuyant sur la gestion des risques.

La pénurie d'eau (sécheresse) s'exprime de différentes façons:

- **La sécheresse météorologique** (période de pluie insuffisante), définie par la localisation, le début, l'importance des précipitations et leur variations dans le temps. Dans la région méditerranéenne, la sécheresse météorologique est un phénomène saisonnier, mais elle

présente des conditions historiquement récurrentes. Telle est fréquemment la situation pour d'autres types de sécheresse.

- **La sécheresse hydrologique** – qui se traduit par une diminution de l'écoulement de surface, de l'emménagement dans les réservoirs et les aquifères.
- **La sécheresse agricole** – qui dépend du taux d'humidité dans le sol en fonction des précipitations et de la végétation.
- **La sécheresse socio-économique**, résultat d'une pénurie d'eau, elle est fréquemment due plus à une mauvaise préparation et à une demande excessive qu'à un manque de pluie. Une planification inappropriée, le manque de moyens financiers, le nombre insuffisant de personnel et l'organisation inefficace conduisent à niveau insuffisant de l'approvisionnement en eau, surtout durant la période estivale.

Les gestionnaires de l'eau doivent surmonter la complexité du problème et des conflits d'usages dans le but de réussir l'application des méthodes de gestion. Les travaux préparatoires de la gestion des eaux sont la planification, la conception et la mise en œuvre d'un système de contrôle des eaux, y compris le fonctionnement et l'entretien, la surveillance réglementaire et la coordination. La gestion du manque d'eau intègre tous les aspects de la gestion des ressources en eau, y compris l'approvisionnement en eau, la gestion de la qualité de l'eau, l'irrigation drainage, la production d'énergie, la promotion de la pêche, les questions de loisirs et d'agrément, ainsi que le contrôle des inondations.

Dans une entreprise d'une telle complexité, il existe une ambiguïté quant à la répartition des tâches à accomplir pour résoudre le problème posé. Cela est surtout vrai pour les îles et zones côtières isolées, éloignées du pouvoir central. La gestion des eaux est généralement la responsabilité directe ou indirecte de plusieurs organismes, ce qui complique encore plus le problème. La sécheresse, phénomène particulier, implique de grandes incertitudes et pose de redoutables problèmes de gestion. Il s'ensuit qu'une gestion efficace requiert souvent des mesures de prévention, des capacités de prévision et des plans de mobilisation urgente des ressources nécessaires pour les opérations d'atténuation, de secours et de réhabilitation. Dans la pratique courante, il existe deux approches caractéristiques: la gestion des situations critiques qui implique une approche fragmentaire à court terme et la gestion des risques qui regarde plus loin et de façon systématique.

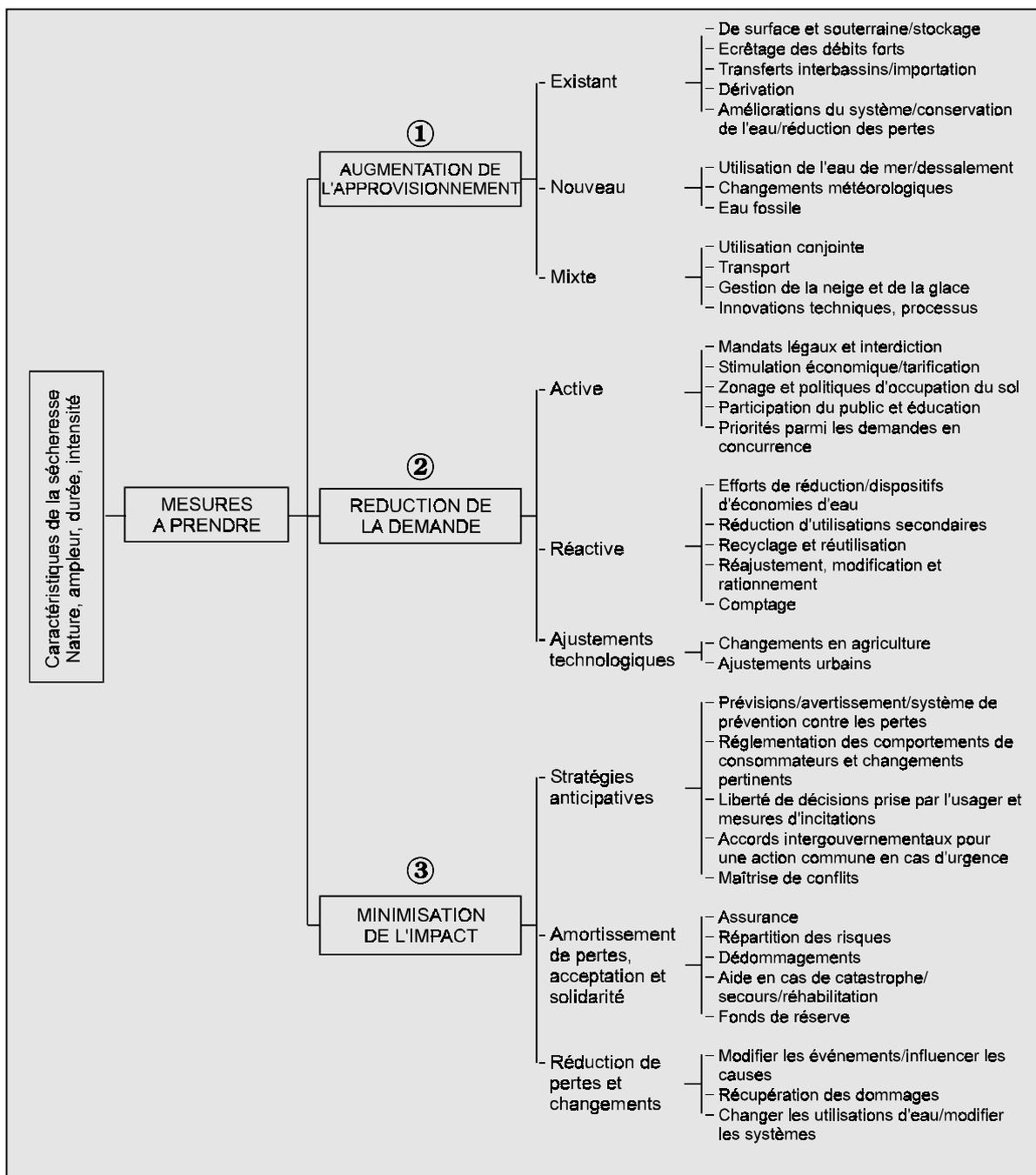
Tout ce qui précède implique la nécessité de rester attentif à la variété des conditions et des réponses plutôt que de promouvoir un schéma simple de gestion des situations critiques, adaptable à la fois aux conditions de temps et de ressources. Le rôle le plus important est à jouer par des institutions particulières capables de s'occuper, durant de longues périodes de temps, des circonstances changeantes de l'environnement social et physique. Des discussions, études et programmes d'atténuation, entamés au moment de l'apparition de la sécheresse, doivent être remplacés par des améliorations permanentes des mesures prises (pratiques de conservation, utilisation durable de l'eau en agriculture et dans les autres secteurs, assurance, etc.), y compris l'établissement de politiques à long terme.

Les nombreux travaux théoriques et plans de gestion de la sécheresse ont souligné une série d'activités imbriquées tournant autour des six étapes suivantes:

1. La réparation et la planification;
2. Les prévisions;
3. Les mesures d'atténuation;
4. Les secours;
5. La réhabilitation;
6. Les mesures post-sécheresse.

Pour chacune des ces étapes, on peut recommander une série de mesures spécifiques, détaillant les stratégies et tactiques. Elles, aboutissent habituellement à quatre politiques différentes qui ne s'excluent pas réciproquement:

- le secours en cas de catastrophes;
- le contrôle des événements naturels;
- la réduction des dommages potentiels; et
- la gestion combinée des risques multiples.



**Figure 2.5: Cadre général de réponse à la sécheresse (adapté de Grig, 1989)**

La mise en œuvre des politiques de lutte contre la sécheresse requiert également une mobilisation organisationnelle sous forme d'approche de planification globale. Les réponses optionnelles types à la sécheresse sont présentées dans la Figure 2.5.

Il existe trois options pour une meilleure gestion de la sécheresse:

1. La première option invite les municipalités à élaborer les plans locaux de conservation, dotés d'un mécanisme de déclenchement et d'un système de classification.
2. La deuxième option nécessite une législation encourageant la gestion conjointe des eaux de surface et souterraines.
3. La troisième option, la plus globale, incorpore la planification des pénuries d'eau dans le schéma directeur national de gestion des eaux, et nécessite une gestion régionale de l'ensemble des ressources en eau, basée sur concept d'intégration.

### 2.3.4 Gestion des inondations

Les inondations sont un désastre naturel pouvant causer des endommagements considérables et très graves. Le phénomène n'est pas particulièrement prononcé dans l'ensemble de la Méditerranée, mais il a une grande importance pour certaines zones. Les inondations dans la partie Nord de la région diffèrent de celles se produisant au Sud. Dans les zones du Sud, les inondations sont plus rares mais elles arrivent brusquement et intensivement et affectent des zones comparativement moins étendues, de sorte que les conséquences sont pires. C'est à dire qu'il est plus difficile d'y mettre en œuvre les mesures d'atténuation des effets négatifs. D'autre part, dans les zones du Nord, les inondations sont plus fréquentes et moins considérables en termes d'importance et d'intensité et affectent des zones plus grandes, de sorte que les conséquences sont moins importantes et les mesures d'atténuation plus efficaces. Les impacts négatifs des inondations peuvent être considérablement réduits si les hommes prennent des dispositions de manière à:

1. Construire des ouvrages de contrôle des inondations (barrages, endiguement, canaux, stations de pompage, etc.).
2. Adopter des stratégies réduisant les dégâts, comprenant les ouvrages résistants aux inondations, l'assurance contre les inondations, les systèmes d'avertissement ainsi que les plans d'évacuation et de remise en état.
3. Adopter des pratiques d'occupation du sol incluant un contrôle efficace des habitats humains dans les aires inondables et mettre en vigueur des règlements encourageant les usages conciliables des sols (tel que la récréation), en limitant pour ce faire ceux qui ne le sont pas.

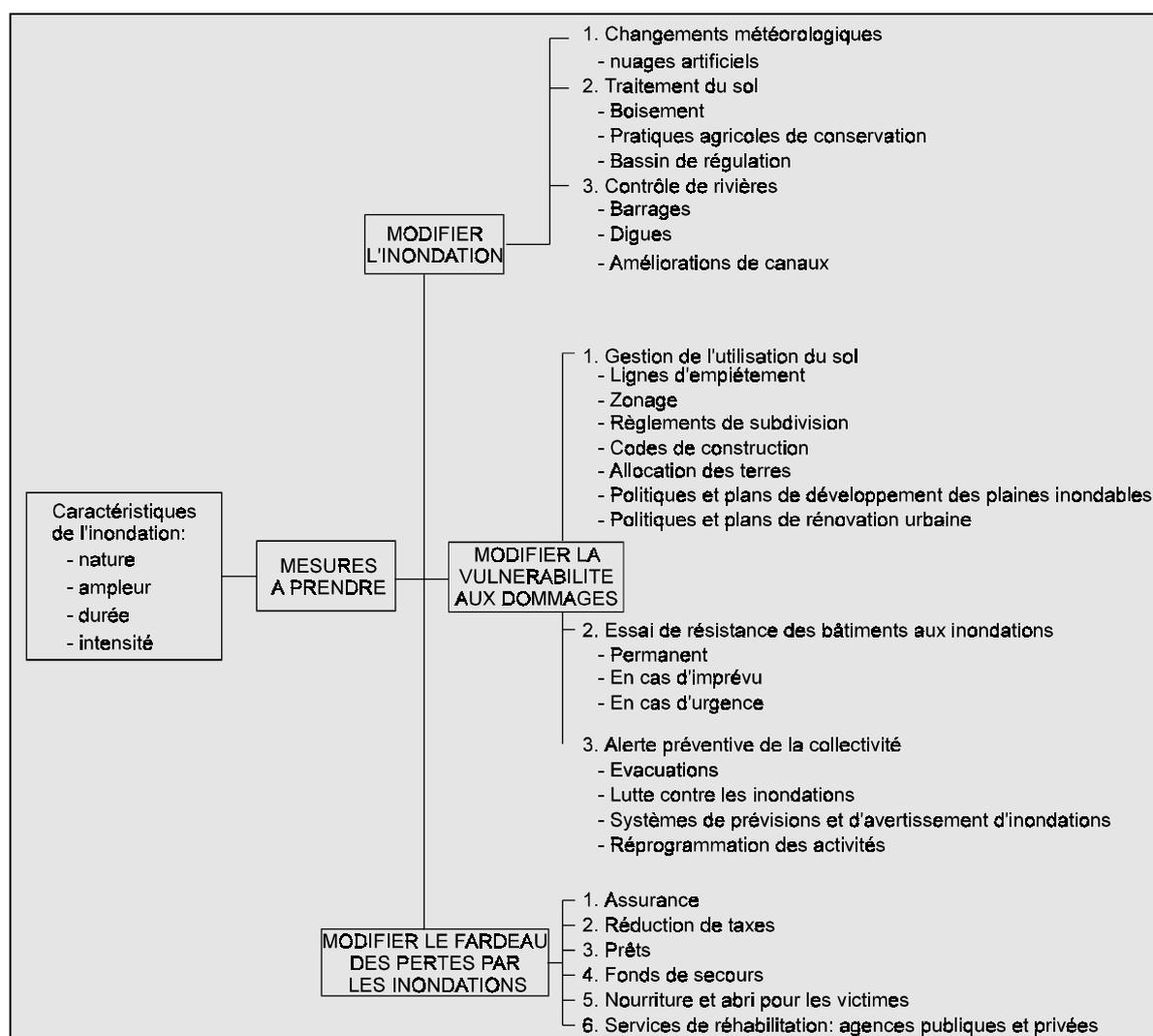


Figure 2.6: Une typologie d'adaptation de l'homme aux inondations

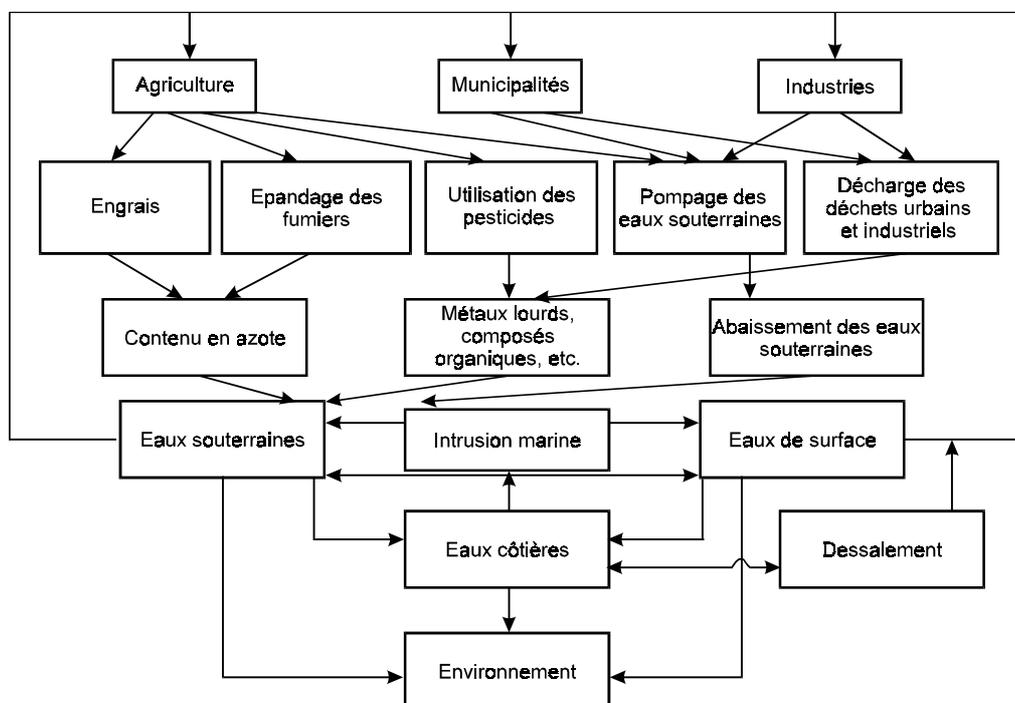
4. Baser les programmes de développement post-inondations sur la réduction des risques, le contrôle de l'occupation des sols et les stratégies de gestion (subventions, investissements publics, etc.)

La liste des dispositions à prendre est présentée dans la Figure 2.6.

Les mesures à appliquer dépendent de la situation locale, ainsi que des caractéristiques d'inondations, de sorte que les mesures de protection contre les inondations peuvent différer considérablement d'une zone à l'autre. Dans les zones du Sud, les crues constituent une importante ressource en eau supplémentaire qu'on devrait utiliser au maximum. Un bon exemple de leur utilisation est la réalimentation des ressources en eau souterraines (Tunisie). Une partie des eaux de crues subit une rétention dans les réservoirs (redistribution dans le temps), et une partie est utilisée pour la recharge des aquifères dans les régions moins sujettes aux inondations.

Les eaux d'inondation urbaines générées par les importantes modifications des caractéristiques du bassin versant et par l'absence de systèmes de drainage posent un problème particulier. Dans les zones déficitaires, ces eaux constituent une ressource de seconde classe qui peut être utilisée à différentes fins, depuis la lutte contre l'intrusion marine dans les aquifères côtiers jusqu'à l'irrigation.

En plus des dommages habituels qu'elles causent aux biens et aux hommes, les inondations ont d'importants impacts écologiques, à savoir: érosion du sol, propagation de pollution, changement de caractéristiques des écosystèmes, approvisionnement des plages en sédiments, etc. Dans la partie Sud de la Méditerranée, des inondations provoquent une érosion intense du sol et un transport sédimentaire qui endommage considérablement les ouvrages hydrauliques. L'horizon pédologique le plus productif est enlevé par l'érosion et ensuite déposé au fond des retenues, raccourcissant ainsi relativement leur durée de vie (10 à 20 ans). D'autre part, les apports de sédiments aux rivages sont très importants pour la préservation des caractéristiques morphologiques des plages côtières, ainsi que pour l'établissement d'écosystèmes d'estuaires, vu que, outre les sédiments, les quantités de nutriments nécessaires sont acheminées jusqu'aux zones côtières. Les problèmes se posent lorsque les eaux d'inondations transfèrent la pollution des terrains pollués ou des décharges de substances nocives, vers les zones d'estuaires et les retenues de surface où elle s'accumule.



**Figure 2.7: Interaction entre l'utilisation des sols et les ressources en eau (d'après l'UNESCO, 1991)**

### 2.3.5 Activités affectant les interventions dans le système naturel (expansion urbaine et autres formes d'utilisation des sols)

L'augmentation du nombre d'habitants et de touristes en Méditerranée, associée à un niveau de vie plus élevé, provoque inévitablement une plus grande occupation des sols, des taux plus élevés d'exploitation des ressources et une pollution de l'environnement. La forte croissance démographique et le haut niveau de vie exigent toujours plus d'espace pour de nouvelles constructions et pour le transport, plus d'emplois dans les industries et les services, plus de nourriture et d'eau. Cela veut dire plus d'espace pour le logement, la circulation des véhicules et la production d'aliments, et des besoins accrus en matières premières, énergie et eau. Avec comme conséquence une réduction permanente de l'espace vital, des matières premières, et des disponibilités en eaux, ainsi que la destruction des écosystèmes. Simultanément, la pollution accrue de l'air, des sols et des eaux provoque des effets néfastes sur la santé humaine et les écosystèmes, et réduit les capacités environnementales, (eaux, sols et autres ressources).

L'interaction entre l'utilisation des sols et les ressources en eau (Figure 2.7) est particulièrement importante dans ce processus, vu que l'eau est le principal agent de transport de l'ensemble de la pollution et de la sédimentation, la mer en étant le réceptacle final. D'autre part, l'utilisation des sols est la plus importante source de pollution et, partiellement, le réceptacle de la pollution véhiculée par l'eau et déposée dans le sol.

Tous ces changements se produisent dans l'environnement et conduisent inévitablement à la modification des caractéristiques des ressources en sol et en eau. L'eau se trouve en contact permanent avec le sol. Il en est inséparable, de sorte que tous les changements affectant le sol influencent directement l'eau et *vice versa*.

Pour répondre de ces problèmes il y a lieu de considérer que l'eau est une ressource naturelle renouvelable, qui représente un potentiel naturel, théorique, technique et économique. Si sa qualité se détériore au point de la rendre impropre à l'utilisation, toutes ses capacités sont automatiquement réduites, surtout celles de nature technique et économique. D'autre part, les ressources en sol ne sont pas naturellement renouvelables, ou sont renouvelables très lentement, de sorte que toute exploitation réduit inévitablement ses capacités. La persistance d'une telle tendance conduira à une baisse du rendement agricole et à celle du niveau de vie. Les problèmes sanitaires et sociaux augmentent proportionnellement aux différences sociales, à la propagation des maladies, créant un sentiment général d'insécurité. La solution au problème peut être ramenée au besoin urgent de répondre aux enjeux d'aujourd'hui et de régler les problèmes passés d'environnement, tout en investissant dans le concept d'avenir qu'est le développement durable.

#### Encadré 3

##### Questions concernant les ressources en eau et en sol

- risque de pénuries d'eau;
- variabilité extrêmes des précipitations, sécheresse et inondations historiques;
- alimentation en eau efficace pour les activités humaines, agricoles et industrielles;
- évaluation des demandes en eau, distribution sectorielle et gestion des ressources en eau;
- pollution des effluents urbains et industriels ayant un effet négatif sur les ressources en eau locales, régionales et internationales:
- surexploitation des eaux souterraines;
- pollution des eaux souterraines par suite de pratiques de décharge non appropriées;
- intrusion d'eau de mer dans les nappes souterraines;
- problème de dégradation des sols et de la qualité des eaux comme résultat d'une mauvaise gestion des produits chimiques utilisés pour l'industrie et l'agriculture;
- dégradation des eaux côtières;
- développement urbain sauvage;
- impacts du déboisement sur les ressources en eau et en sol;
- désertification par suite d'une mauvaise gestion des terres agricoles;
- impacts de la décharge des déchets dangereux et solides sur les ressources en eau et en sol; etc.

Le sol et l'eau ne peuvent être examinés séparément s'agissant de leur utilisation et de leur gestion. Ils sont liés par nombre de processus naturels, ainsi que sur le plan économique, de sorte qu'il est nécessaire de les examiner ensemble. Vu que ces deux ressources constituent la base du développement d'une région, leur utilisation génère différents conflits d'intérêts. Seule une approche intégrée peut donc aider à résoudre les problèmes rencontrés et permettre la mise en application du concept de développement durable.

Les ressources en eau et en sol, ainsi que les processus associés, ne connaissent pas les limites administratives. Leur gestion efficace ne doit pas être envisagée en fonction de ces limites, mais en tenant compte des frontières naturelles. Une coopération régionale est de ce fait une condition indispensable à la gestion efficace et rationnelle des ressources naturelles.

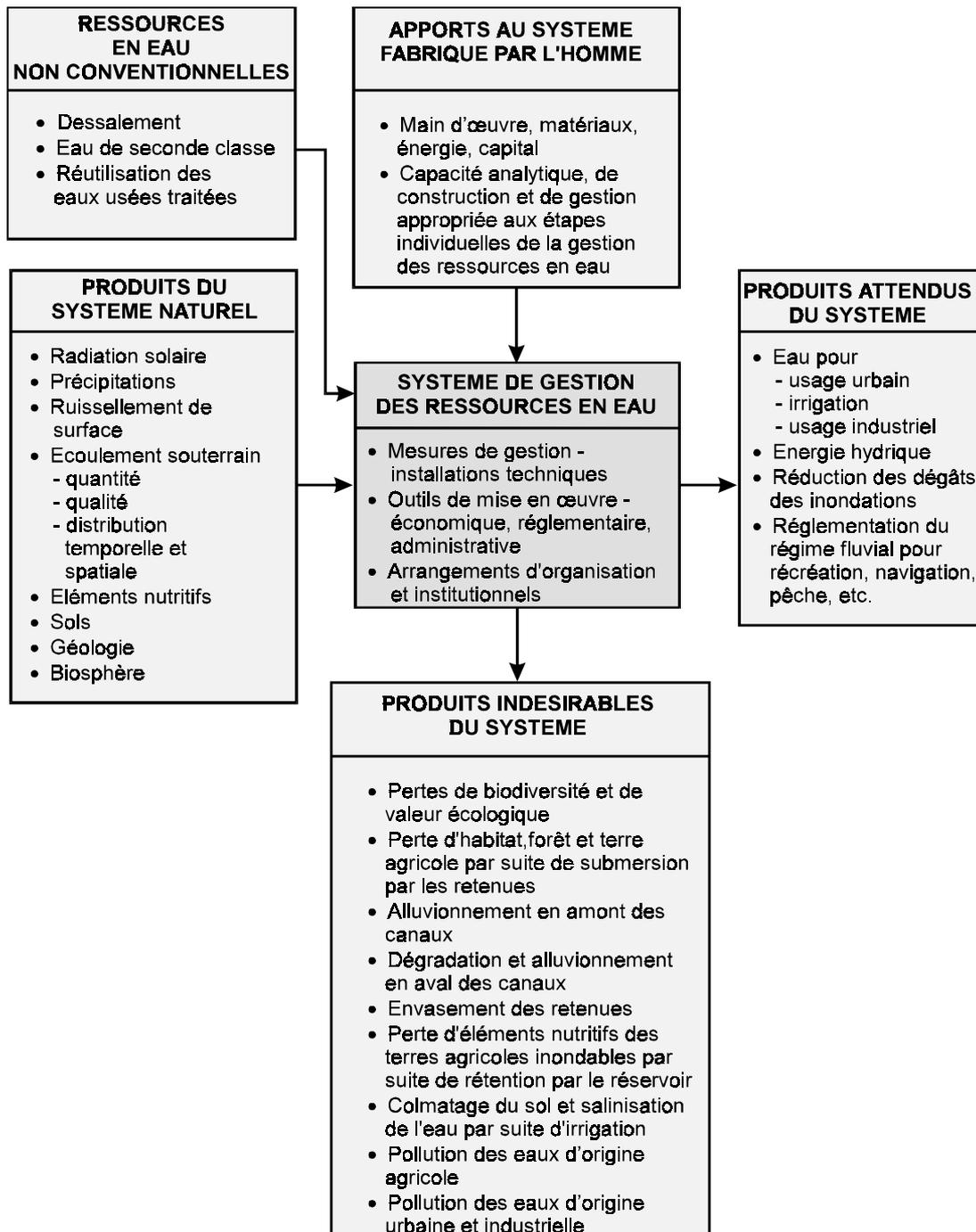


Figure 2.8: Entrées/sorties d'un système de gestion des ressources en eau

## 2.4 Système de gestion des ressources en eau

Il n'existe pas une seule réponse à la question "Comment gérer les ressources en eau". Chaque catégorie de circonstances imposera une façon différente d'envisager la gestion intégrée des ressources en eau. Malgré cela, des directives communes devraient être reconnues afin, pour le moins, d'augmenter la chance d'aboutir à une approche plus intégrée.

### 2.4.1 La gestion des ressources en eau

Le développement, l'exploitation et le maintien d'un système de gestion des ressources en eau nécessitent des **apports naturels** (eau, énergie, sol) et des **apports humains** (main d'œuvre, capitaux et capacités de gestion). Les résultats attendus d'un tel système sont de nature intermédiaire (l'eau pour l'irrigation, l'usage industriel et urbain) ou finale (prévention contre les inondations, énergie hydroélectrique, etc.).

Par ailleurs, le système peut générer des effets secondaires, environnementaux et sociaux, qui peuvent être nocifs ou bénéfiques. Ces effets sont présentés dans la Figure 2.8 en termes de résultats indésirables.

Les points importants à soulever en liaison avec l'approche intégrée sont:

- La moindre attention accordée à la phase de mise en œuvre par rapport à la phase de planification, bien qu'elle comprenne plus de difficultés et de problèmes. Un accent plus particulier est à mettre sur le développement des approches, écologiquement rationnelles, de la gestion des eaux.
- L'importance cruciale du développement d'une stratégie qui relierait les outils de mise en œuvre et les arrangements institutionnels et d'organisation (y compris les moyens juridiques) avec les mesures de gestion.
- Et pour finir, exige qu'une attention appropriée est à accorder à toutes les activités et tâches associées à la gestion efficiente d'un système de ressources en eau.

Pour récapituler, une approche intégrée de la gestion des eaux côtières requiert que tous les aspects concernant le système d'eau soient pris en considération (Figure 2.9). Cela comprend tous les aspects du système lui-même, l'impact du temps sur le système futur et l'interaction entre les autres systèmes, ainsi que les questions influant ou pouvant influencer sur le système des eaux côtières considérés. Sont formulées certaines suggestions concernant les questions qui seraient abordées: priorités nationales, réalisation d'un équilibre entre les différents systèmes, questions de financement, de suivi et de formation.

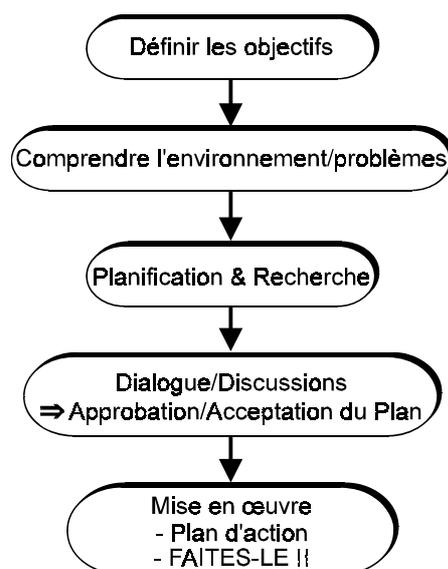


Figure 2.9: Une approche simplifiée à la planification stratégique

## **2.4.2 Les enjeux futurs de la gestion des ressources en eaux**

Durant les derniers 30 à 40 ans, la gestion des ressources en eau s'est sérieusement préoccupée du développement et de l'exploitation des ressources en eau à travers les grands projets de construction. Les tendances actuelles sont caractérisées par une préoccupation croissante en matière d'environnement, de gestion des systèmes d'eau naturels, de conservation de l'eau, d'exploitation efficace et d'entretien des projets de développement hydraulique achevés. Les préoccupations concernent aussi le nombre réduit de dispositifs économisant l'eau et d'autres projets de développement, ainsi que le besoin de changements majeurs vers une approche intégrée de gestion des ressources en eau. La gestion des ressources en eau devrait évoluer vers une approche équilibrée qui donne la priorité à la conservation des eaux, à la gestion des demandes, à la modification des utilisations, à la rationalisation et au développement continu des approvisionnements disponibles, là où cela est économiquement et environnementalement acceptable.

Les principaux défis de la gestion efficace ont trait:

- aux conséquences environnementales et sociales;
- à l'allocation des eaux aux utilisations concurrentes; et
- à la mise en œuvre efficace des projets hydrauliques prévus et existants.

Dans la région méditerranéenne, les problèmes liés à l'eau sont tels qu'ils exigent une approche conduisant au développement durable. La disponibilité d'eau de bonne qualité en volumes suffisants n'est pas la même dans les rives Nord et Sud de la Méditerranée. Un caractère est cependant commun: l'insuffisance quantitative, bien que ce problème soit moins prononcé au Nord, qu'au Sud où la satisfaction des demandes en eau veut dire la consommation de presque toutes les eaux douces disponibles. La situation risquant de s'aggraver dans l'avenir, une approche globale et intégrée s'avère indispensable.

### **Conséquences environnementales et sociales**

Du fait que les questions d'environnement sont devenues des préoccupations du développement, il a été reconnu que la GIRE constitue une des meilleures méthodes d'examen approprié de ces questions. Si les considérations environnementales et sociales pouvaient être systématiquement intégrées dans la planification du développement, de nombreux impacts négatifs sur l'environnement pourraient être évités.

Une approche multisectorielle de la planification du développement offre la possibilité de traiter les conflits d'utilisation existants et potentiels en matière de ressources en eau, survenant au cours de la mise œuvre. Si donc les questions environnementales, prises en considération dans la gestion des ressources, sont intégrées au processus de planification dès le début, l'évaluation des éventuels impacts négatifs sur l'environnement pourrait être évitée (coûts élevés, etc). Le bien-être de la population des zones affectées par le développement des ressources devrait également être inclus dans les questions environnementales.

L'on devra de même tenir compte de la qualité des eaux de surface et souterraines, ainsi que de la préservation et de l'amélioration des écosystèmes aquatiques et terrestres matérialisés par le ruissellement sauvage, les estuaires, et les marais, etc. La relation sol/eau dans le bassin versant fluvial soumis à des travaux de conservation des eaux et du sol est une question pertinente.

Trois types de conséquences sociales et environnementales en matière de développement des ressources en eau peuvent être reconnus. Ce sont:

- les perturbations des établissements et activités humaines;
- les changements physiques et chimiques des eaux de surface et souterraines suite à des modifications de l'utilisation du sol; et
- les effets sur la flore et la faune et les impacts environnementaux de la construction de barrages.

### **Allocation de l'eau à des utilisations concurrentes**

Le problème d'allocation rationnelle des eaux est de plus en plus aggravé par la pression de la démographie et de l'activité économique. Du fait que le développement des ressources en eau

devient de plus en plus coûteux, avec des conséquences sociales et environnementales extrêmement défavorables, l'accent est mis sur le besoin d'une utilisation efficace des approvisionnements existants et de leur allocation rationnelle à des fins appropriées. La concurrence entre les différents utilisateurs des ressources en eau limitées disponibles oblige les gestionnaires à affecter l'eau de façon rationnelle et efficace, en respectant l'équité ainsi que la qualité de l'environnement.

Dans ce contexte, les efforts pour réduire les demandes en eau par la "**gestion de la demande**" progressent: politique de tarification et nouvelles technologies d'utilisation de l'eau. Pareillement, le recyclage croissant de l'eau dans les installations industrielles, l'épuration des eaux usées et leur réutilisation, la gestion prévisionnelle des eaux de surface et souterraines, la tarification appropriée de l'alimentation en eau et du rejet des eaux usées comptent parmi les processus et techniques utilisés pour répondre aux coûts croissants des nouvelles infrastructures.

### **Pour une mise en œuvre efficace**

L'expérience montre que les résultats obtenus diffèrent quelque peu par rapport aux objectifs prévus par les plans de projet. Cela est surtout vrai pour les projets d'irrigation. De même, le suivi des mesures d'accompagnement ayant trait à l'impact social et environnemental des projets a été souvent léger et inefficace. Comme l'écart potentiel augmente entre les approvisionnements disponibles et les demandes en eau croissantes, une mise en œuvre efficace devient de plus en plus importante. L'exécution inefficace des plans et programmes est souvent le principal point faible de la gestion des ressources en eau.

Les principales causes en sont:

- une organisation institutionnelle obsolète;
- une législation non appropriée ou non appliquée;
- un financement inadéquat de l'exploitation et de l'entretien du projet conduisant à la détérioration des systèmes de contrôle hydrauliques; et
- un manque d'engagement des utilisateurs locaux.

La mise en œuvre de la gestion des ressources en eau est aussi importante que la planification, alors qu'elle semble être plus négligée. Il existe donc un grand besoin d'accorder l'importance qu'il faut à la mise en œuvre, y compris la nécessité de changer les politiques, procédures et approches.

## **2.5 Le processus d'approche intégrée**

### **2.5.1 Introduction**

Etant donné la complexité croissante et la gravité des problèmes de ressources en eau, dans la plupart des zones côtières méditerranéennes sururbanisées à forte densité de population, et la mauvaise gestion des ressources généralement constatée, la marge de manœuvre a été considérablement réduite d'autant plus que le potentiel ressources côtières, et particulièrement celui des ressources en eau, a diminué.

C'est pourquoi il est primordial que les principes-clés de l'approche globale des ressources en eau soient reconnus et intégrés dans chaque schéma local ou régional le long des zones côtières. Ces principes-clés sont:

1. La zone côtière est un système unique de ressources exigeant une approche particulière de gestion et de planification;
2. L'eau est le vecteur majeur d'intégration des systèmes côtiers de ressources;
3. La nécessité d'une gestion intégrée des eaux, en ce qui concerne notamment les conséquences environnementales et sociales, la relation sol-eau, le lien entre irrigation et demandes en eau urbaines et la mise en œuvre efficace des schémas d'aménagement de l'eau;
4. La nécessité d'une gestion de la demande à travers les techniques de conservation des eaux, la tarification, la sensibilisation du public, l'allocation et la réglementation de l'eau;
5. Le lien entre les ressources en eau de surface et souterraines, et particulièrement l'impact des retenues de surface sur les aquifères en aval; et

6. L'évaluation de l'impact sur l'environnement, essentielle pour une gestion efficace des ressources en eau côtières.

Dans les années à venir le défi consisterait à appliquer ces principes de manière à garantir une alimentation en eau suffisante et rentable.

### **2.5.2 Composantes de base de l'approche intégrée**

Pour parvenir à une meilleure efficacité, l'approche intégrée doit prendre en considération entre autres les interactions importantes suivantes:

- L'étroite interrelation entre les eaux de surface et souterraines. Ceci implique planification prévisionnelle des projets d'aménagement des eaux de surface et des aquifères, recharge artificielle des eaux souterraines, détérioration de la qualité des eaux souterraines par manque de recharge du fait des réservoirs de surface, redistribution et réduction du pompage pour atténuer les problèmes d'intrusion marine, etc.
- Les interactions complexes entre les écosystèmes terrestres et aquatiques, tels qu'ils existent dans les zones côtières. Cela implique une gestion intégrée de l'ensemble du bassin versant jusqu'à la côte, y compris les réservoirs et l'écoulement de surface et souterrains. L'évaporation, les écoulements de surface et de sub-surface, l'érosion, la sédimentation et la capacité des aquifères sont les éléments à prendre en considération.
- Les activités humaines actuelles et à venir qui influencent la gestion des eaux en augmentant la demande et en aggravant les problèmes de pollution.
- La relation entre le potentiel et le développement des ressources en eau et les autres activités économiques aux échelles locale, régionale et nationale. Tous ces secteurs doivent être étroitement liés et coordonnés aux fins d'une mise en œuvre globale et d'une rentabilité économique maximale.
- Le contexte politique, gouvernemental et institutionnel complexe avec ses nuances nationales et ses spécificités locales, dans lesquelles les programmes de gestion des ressources en eau doivent être initiés et développés. Un tel contexte de gestion suscite des intérêts et les objectifs multiples souvent conflictuels, ainsi que des moyens, acteurs, groupes de pression et décideurs multiples.

Pour qu'une approche intégrée soit efficace et réussie, elle doit être:

- dynamique de façon qu'elle puisse s'adapter aux changements des processus de planification et de gestion;
- extensive, globale et à multiples fins comprenant tous les objectifs des programmes de ressources en eau et schémas pertinents de gestion des ressources en sol y relatifs;
- globale, intégrant les concepts et techniques pertinents d'analyse systémique, les risques et les incertitudes d'évaluation à travers une analyse de sensibilité, etc.; et
- suffisamment robuste pour qu'elle soit facilement adaptable aux différentes conditions prévalant dans des zones de différents niveaux de développement ou présentant des particularités très prononcées.

### **2.5.3 Procédures et méthodologie de l'approche**

Pendant les deux dernières décades, l'UNESCO s'est occupé des questions de ressources en eau à travers: la Décennie Hydrologique Internationale, le Programme Hydrologique International et différentes conférences internationales visant à encourager une approche plus intégrée de la gestion des ressources en eau. Ce travail a donné lieu à de nombreuses publications. Hufschmidt et Kindler proposent un processus d'approche de la gestion des ressources en eau (Hufschmidt et Kindler, 1991). Le modèle est schématiquement représenté dans la Figure 2.10.

Les éléments de base de la méthodologie et des procédures d'approche de la GIRE sont traités séparément pour ce qui concerne les phases "planification" et "mise en œuvre" du plan de gestion des ressources en eau. Ils précisent les aspects de planification de la manière suivante (Figure 2.11).

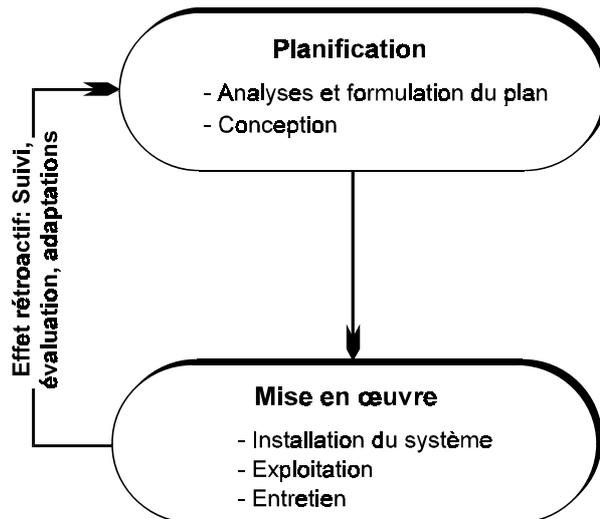


Figure 2.10: Le processus de gestion des ressources en eau (Hufschmidt et Kindler, 1991)

- Définition des objectifs
- Collecte et analyse des données dans trois domaines:
  1. Approvisionnement en eau
  2. Demande en eau
  3. Alternatives de gestion des ressources en eau
- Formulation et évaluation de plans alternatifs:
  1. Evaluation des impacts sur l'environnement
  2. Evaluation des risques
  3. Evaluation économique
  4. Evaluation multi-critères
- Analyse de sensibilité
- Décision concernant le plan préféré
- Paramètres de conception concernant les structures et règles d'exploitation
- Conception détaillée

Figure 2.11: La phase de planification (d'après Hufschmidt et Kindler, 1991)

### Planification

En dehors de ses aspects conventionnels, la gestion dans la phase de planification peut être améliorée à travers l'approche intégrée en élargissant le domaine de la planification dans différentes dimensions.

Une large approche systémique/analytique nécessite des adaptations, qui impliquent de tous les facteurs importants: physiques, économiques, environnementaux, sociaux, culturels, institutionnels et organisationnels. Les facteurs ci-après en particulier seront plus consistants:

- *l'étendue de la zone*, en intégrant la planification de l'occupation du sol et du bassin versant fluvial, et en focalisant l'intérêt sur les cours d'eau, les étangs, les aquifères, les estuaires, les baies et les eaux côtières;
- *les objectifs de la gestion*, en adoptant d'emblée une approche multi-objectifs dans la planification, en incorporant les aspects environnementaux et sociaux dans les objectifs économiques;

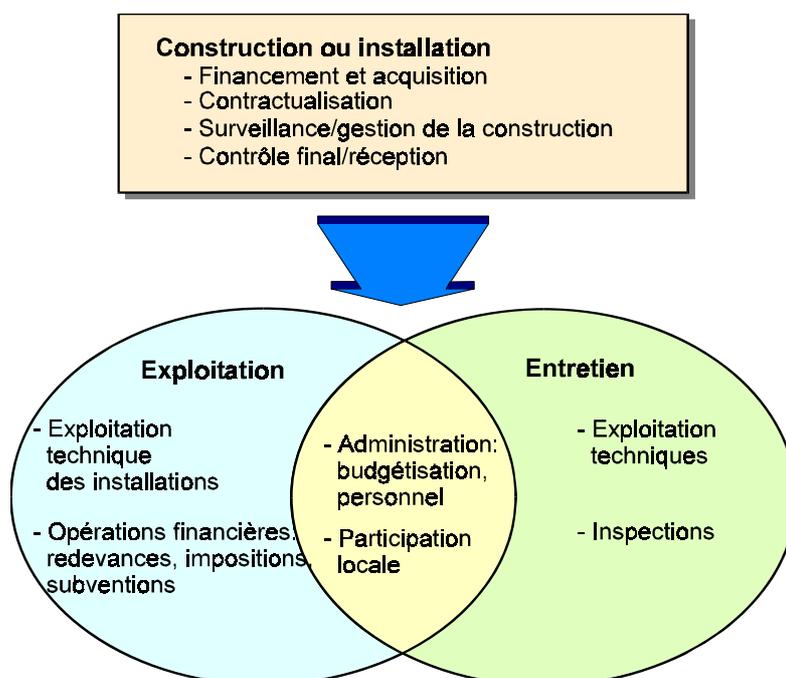
- *le contenu de la planification*, en y intégrant la planification des stratégies de mise en œuvre et leurs outils, ainsi que les arrangements financiers, institutionnels et organisationnels nécessaires;
- *les options de gestion*, pour inclure la gestion de la demande dans les options d'accroissement de l'approvisionnement durant la phase de planification visant le développement et l'allocation des ressources en eau rares;
- *l'équipe de planification*, pour y inclure les experts en sciences sociales et naturelles, ainsi que les utilisateurs de l'eau et autres personnes concernées.

### **Mise en œuvre**

Bien qu'indispensable au succès de la mise en œuvre une telle stratégie de planification, élargie, requiert quand même un suivi continu et cohérent durant la phase de réalisation. Les éléments importants à prendre en considération dans l'approche intégrée durant cette phase de la gestion des ressources en eau sont les suivants:

- *l'ampleur et l'intégration* du plan de gestion des ressources en eau devraient être maintenue. Un programme intégré de financement et de prévisions budgétaires pour tous les éléments du plan de gestion devraient être assuré;
- *la population locale* concernée par le plan devrait participer activement à la mise en œuvre;
- *le maintien d'un suivi* rentable, l'évaluation des effets rétroactifs, l'identification des défauts pour développer des mesures de correctives et fournir des données pour la planification du schéma suivant;
- *les prévisions d'exploitation et d'entretien* des projets de développement terminés par le biais de programmes de financement et de tarification appropriés ou d'une politique de répartition des coûts;
- *l'établissement d'arrangements institutionnels et organisationnels appropriés*, tenant compte des adaptations, suggérées par le suivi et nécessitées par la complexité des plans de gestion intégrée.

La phase de mise en œuvre du processus intégré des ressources en eau est présentée dans la Figure 2.12.



**Figure 2.12: La phase de mise en œuvre (Hufschmidt et Kindler, 1991)**

## 2.5.4 Evaluation intégrée des ressources en eau

Le problème se pose fréquemment pour définir les programmes de développement des ressources en eau rentables dans une zone donnée et pleinement réalisables aux niveaux local, régional et national, en conformité avec les autres programmes de développement sectoriels directement ou indirectement liés au secteur des ressources en eau.

Pour qu'une évaluation de ce type soit efficace, elle doit avoir les objectifs préalablement définis et, dès le début, engager les parties intéressées dans les problèmes liés aux besoins techniques et financiers de l'évaluation. Les activités de chaque évaluation, du début à la fin, pourraient être réparties en quatre parties essentielles:

- l'organisation de l'évaluation;
- l'engagement d'organisations et de groupes intéressés;
- la programmation et le calendrier; et
- le compte rendu des résultats de l'évaluation.

### **Organisation de l'évaluation**

Pour garantir le succès de l'évaluation des ressources en eau ou de l'établissement d'un schéma d'aménagement des eaux, il est essentiel de suivre les étapes suivantes:

- obtenir et évaluer les données;
- concevoir le programme d'évaluation;
- examiner les questions environnementales et autres activités en cours ayant trait aux ressources;
- arranger les questions financières et budgétaires; et
- assurer un appui à l'évaluation.

Il pourrait être nécessaire de refaire ces étapes au cours de l'avancement de l'étude.

### **Engagement des organisations et des groupes intéressés**

Au début de l'étude, une libre réflexion et des contacts devraient être établis entre le groupe d'étude et les autres parties concernées. Ces contacts seraient maintenus durant toute la durée de l'évaluation des ressources en eau pour être sûr que le public soit au courant de sa progression et de ses premiers résultats. En général, le grand public accepte plus aisément les plans de développement s'il a des idées claires sur les objectifs, les priorités, les contraintes financières, politiques et physiques, ainsi que sur les attentes sociales à satisfaire. Le libre échange des idées est essentiel pour parvenir à l'évaluation la plus efficace et la plus réaliste des ressources en eau.

### **Programmation et calendrier**

Chaque composante de l'étude requiert un calendrier précis. L'analyse du chemin critique ou des techniques analogues seraient utilisées pour s'assurer que toutes les composantes de l'étude se terminent à temps. Les "**prises de décision**", incluses dans le calendrier, aident à contrôler l'avancement. La réévaluation du calendrier s'avère le plus souvent inévitable, lorsqu'on veut absolument y adhérer.

Les termes de référence précisent l'ampleur et le type d'évaluation à faire. Les groupes extérieurs pouvant être concernés par les résultats de l'évaluation doivent être informés de l'état d'avancement du travail. Les comités de conseil ou de coordination sont en général la meilleure manière de tenir au courant et de mobiliser les agences et autres parties concernées. Il est fortement conseillé de faire appel à de tels comités de coordination pour chaque étude importante concernant les ressources en eau. Ces comités assureront par ailleurs, l'intégration de l'ensemble des activités relatives au projet.

### **Comptes rendus des résultats d'évaluation**

Les comptes rendus des résultats sont aussi importants que les résultats eux-mêmes. Les décideurs doivent clairement comprendre ces résultats. Une information efficace sur les résultats élève le niveau de compréhension générale de l'état de l'évaluation et de son avancement, tout en assurant un appui permanent des parties intéressées.

### 2.5.5 Problèmes majeurs à inclure dans l'approche intégrée des ressources en eau

Le développement des ressources en eau se fait souvent dans le cadre de projets séparés, qui ne sont pas intégrés, bien que le cycle hydrologique lui-même soit un exemple parfait de système unique et intégré. Les utilisateurs, dans le cycle de l'eau, se disputent de plus en plus des ressources rares. Dans ces conditions, il est non seulement difficile de gérer raisonnablement les eaux, mais aussi de mesurer leur disponibilité et les effets de l'utilisation sur la ressource.

Dans ce contexte, quatre types de problèmes peuvent être soulignés:

- *La gestion des conséquences environnementales, sociales et culturelles des projets de ressources en eau.* Ces conséquences peuvent être réduites si leurs études particulières ont été incorporées et si des mesures d'atténuation ont été prises en considération dès le démarrage de la phase de planification, et non point après la prise de décision.
- *L'intégration de la gestion du bassin versant dans le développement des ressources en eau.* Cela permettrait de traiter les problèmes d'érosion, de sédimentation, de pollution, d'inondations et d'autres questions ayant trait aux relations sol – eau.
- *L'allocation rationnelle de l'eau entre les utilisations concurrentes en termes d'efficacité, d'équité, de durabilité et autres.* En ce sens, la pratique de la "gestion de la demande" est incluse dans la tarification de l'eau, y compris les moyens techniques visant la distribution correcte des ressources en eau pour parvenir à une utilisation efficace et à une demande équilibrée par rapport aux disponibilités de l'approvisionnement.
- *Une mise en œuvre efficace des plans de projet* à travers les incitations économiques, la décentralisation de la gestion des projets, la participation de la population locale, ainsi que la modification nécessaire des moyens institutionnels, juridiques, réglementaires et de contrôle.
- Le défi est de trouver la voie conduisant à un tel développement qui permette d'atteindre les buts sociaux et économiques, tout en préservant la haute qualité des ressources en eau et en évitant une dégradation sérieuse de l'environnement physique.

La question est comment atteindre un tel développement visant la réalisation des buts sociaux et économiques de manière à maintenir la haute et durable qualité des ressources en eau, tout en évitant une sérieuse dégradation de l'environnement physique.



## **3. RESSOURCES EN EAU DES ZONES COTIERES MEDITERRANEENNES**

### **3.1 Eléments et caractéristiques d'un système de ressources en eau côtières**

#### **3.1.1 Considérations générales**

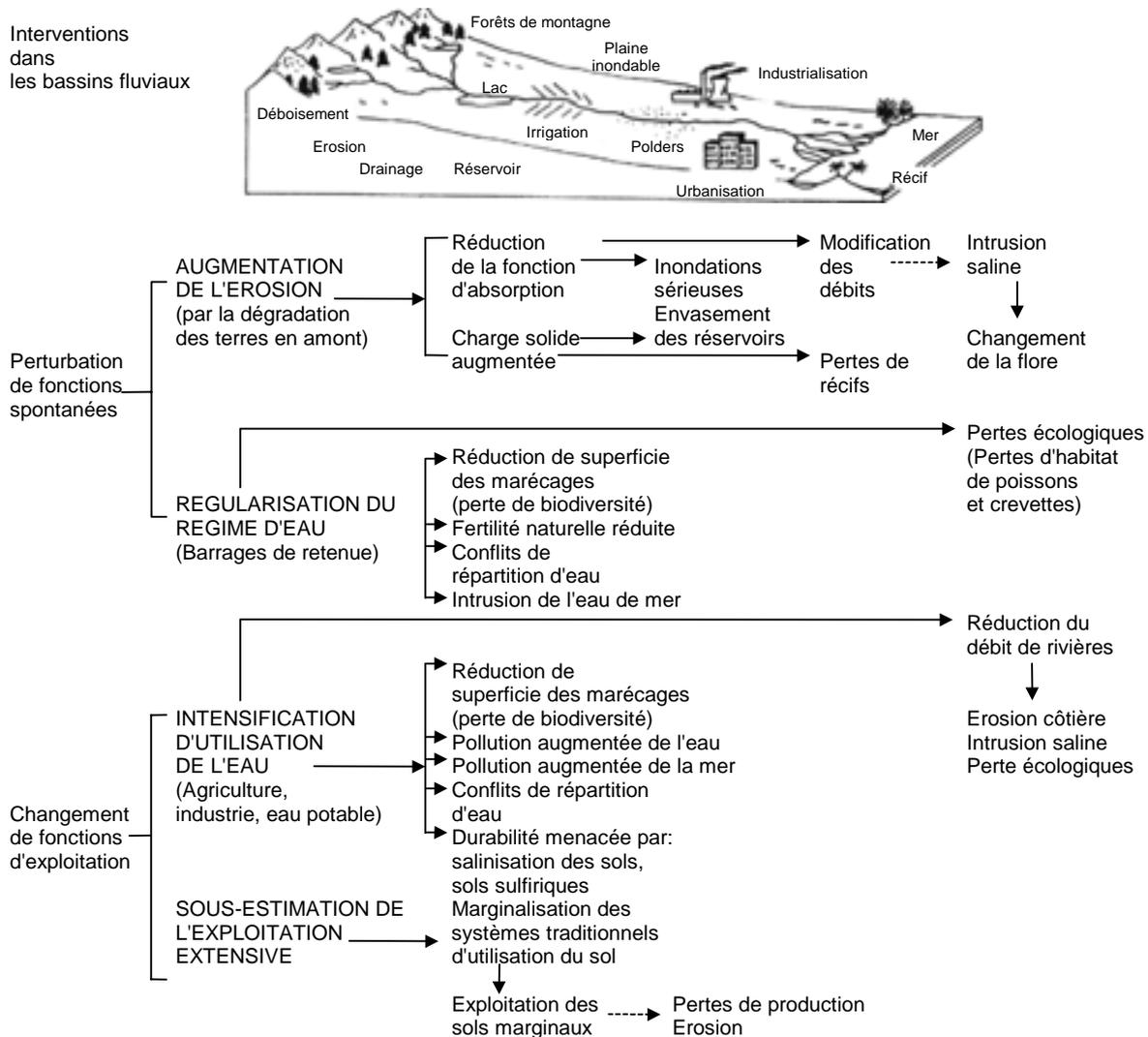
La région méditerranéenne, inclue quelques unes des zones côtières des plus peuplées. Les causes en sont la disponibilité de terre fertile, topographiquement plate, l'infrastructure de communications, l'accès facile au transport maritime et les agréments du rivage, qui en font une grande attraction touristique. Face à cette concentration croissante d'établissements humains, au développement agricole et aux autres activités économiques dans les zones côtières, les ressources en eau, et tout particulièrement les eaux souterraines, acquièrent une valeur sociale et économique croissante. La plupart du temps, la demande en eau douce pour les besoins agricoles urbains et industriels, dépasse largement les approvisionnements disponibles, et les pénuries d'eau sont habituelles.

Les intenses activités humaines dans ces zones interfèrent avec les processus naturels, provoquant ainsi de nombreux changements physiques et biologiques qui affectent aussi bien les ressources en eau que les autres ressources de la zone concernée: épuisement d'aquifères côtiers conduisant à l'intrusion marine, pollution des eaux de surface et souterraines comme conséquence de l'utilisation excessive de l'eau, évacuation des eaux usées et utilisation exagérée de pesticides et fertilisants dans les terres agricoles d'étendue limitée, destruction de l'habitat naturel ou modification du rivage par suite de travaux de génie civil se traduisant par l'érosion et la sédimentation. Les ressources en eau dans les zones côtières sont exposées à des contraintes de développement plus sévères et plus complexes que dans la plupart des autres zones d'un pays. Les zones côtières assure une transition entre la terre et la mer, entre l'eau douce et l'eau salée, et sont souvent les plus productives (estuaires, lagunes, marais et marécages). Le plus grand impact sur les ressources en eau côtières est le fait de l'urbanisation et du développement.

Dans la gestion des ressources en eau des zones côtières, l'approche intégrée qui tient compte non seulement des ressources en eau elles-mêmes mais aussi simultanément des autres ressources et des effets et impacts qu'elles subissent, est largement démontrée. La gestion des ressources côtières ne peut être séparée de la gestion des ressources en eau de l'arrière-pays ou du système régional tout entier. Le contraire est pareillement vrai. Bien qu'une configuration étroite se prête mieux à la gestion des eaux et des autres ressources des zones côtières, à cause surtout de leurs particularités, un tel sous-système gagnerait toutefois à être examiné dans le cadre d'un système de ressource plus large. Le Haut barrage d'Assouan est un exemple classique des grands changements et de l'impact qui affectent les ressources côtières du fait de la retenue des eaux de l'arrière-pays, sans que l'on ne tienne compte des répercussions qu'une telle action pouvait avoir en aval.

De la même manière, la réduction de la recharge de la vallée en aval et des aquifères côtiers du fait de la retenue des eaux en amont, rend les zones aval vulnérables à l'augmentation des polluants (engrais et pesticides), à cause de la réduction des débits d'infiltration. Les polluants telluriques sont habituellement transportés par les cours d'eau jusqu'à l'océan. Une utilisation directe de ces écoulements de surface pourrait s'avérer difficile lorsqu'ils parviennent à la zone côtière et l'alimentation des aquifères côtiers avec une telle eau porte atteinte à la qualité des nappes souterraines. Les effets à long terme peuvent être sérieux et irréversibles.

Bien entendu, toutes les interventions sur les eaux de l'arrière-pays n'ont pas un effet nocif sur les ressources côtières. L'important est d'inclure dans l'évaluation l'ensemble des effets possibles susceptibles de réduire ou de corriger ceux qui sont négatifs.



**Figure 3.1: Evaluations environnementales: section de bassin versant. Tableau de vulnérabilité (d'après Marchand et Toornstra, 1986)**

Dans l'approche intégrée de la gestion des ressources en eau, on estime que la gestion des ressources en eau côtières doit être intégrée dans celle du système régional, tandis que tout développement, sur la côte ou dans l'arrière-pays, devrait être évalué en fonction de l'effet qu'il pourrait avoir sur l'autre.

### 3.1.2 Caractéristiques des ressources en eau côtières

Les plaines côtières varient en taille, depuis les alluvionnements de l'arrière-pays dans les vallées de cours d'eau jusqu'aux grandes plaines, monotones, limitrophes des vastes étendues côtières.

Les sédiments des plaines côtières génèrent à la fois des environnements alluviaux et marins. La sédimentation marine, en revanche, constitue des plages, lagunes, estuaires, ainsi que des environnements marins plus profonds. Dans certaines zones, les dépôts alluviaux et deltaïques sont plus abondants. Plusieurs unités stratigraphiques le long des plaines côtières comportent des dépôts partiellement alluviaux évoluant vers un faciès complètement marin. A cela s'ajoute la tendance des sédiments à devenir progressivement moins grossiers. Bien que certaines zones abondent en marnes et calcaires, l'essentiel de la sédimentation est constitué de graviers, de sables, d'argiles et de silt.

Les propriétés hydrauliques des formations sédimentaires des plaines côtières sont en général tout à fait similaires à celles des formations dans les grandes vallées. D'importantes ressources souterraines se trouvent dans les zones côtières, et les aquifères à haut rendement y sont exploités

depuis longtemps. Du point de vue hydrogéologique, tous les types de côte n'ont pas la même importance. Les côtes de roches dures faiblement fracturées, peu productives, sont de moindre importance que les dépôts en terrasses, les deltas alluvionnaires et les grands bassins sédimentaires d'intérêt exceptionnel. Les aquifères côtiers karstiques ont également une grande importance, bien qu'ils soient particulièrement vulnérables à l'intrusion marine du fait de leurs caractéristiques hydrogéologiques spécifiques qui permettent une très rapide propagation de l'intrusion dans l'arrière-pays en cas de surexploitation. Ces aquifères exigent des méthodes spéciales de recherche et de contrôle.

Une des caractéristiques essentielles des ressources en eau côtières est leur lien avec l'eau de mer et leur teneur en sel. La principale source de sel dans les zones côtières est l'eau de mer qui a une composition chimique assez constante, à l'exception de petits changements en relation avec les taux d'évaporation comme par exemple en Méditerranée où tous les éléments ont quelque peu augmenté.

Les débits fluviaux d'estuaires, et l'exhausse des eaux souterraines dans les zones côtières ont un effet de dilution sur la salinité de l'eau de mer qui affecte la vie aquatique. L'utilisation des cours d'eau, l'exploitation des nappes, l'impact de l'urbanisation sur les écoulements superficiels et la recharge d'eaux souterraines modifient ce type de dilution. De même, les interactions et les relations eaux superficielles/eaux souterraines ont une grande importance dans la gestion intégrée des ressources en eau côtières.

Les problèmes d'intrusion de l'eau de mer dans les aquifères côtiers sont primordiaux dans le développement et l'exploitation des ressources en eau côtières et une attention tout à fait particulière devrait y être accordée à tout plan impliquant le pompage ou la modification de l'alimentation naturelle du fait de la construction de réservoirs de surface. C'est probablement le seul principal élément qui caractérise les ressources en eau côtières et, comme tel, il est examiné de manière plus minutieuse.

L'autre trait typique important des ressources en eau en Méditerranée est la **"saisonnalité des apports"**. Les plus grands apports en eau ont lieu pendant l'hiver quand les demandes sont les plus faibles, les plus faibles ayant lieu en été lorsque les demandes sont les plus grandes.

### 3.1.3 Ressources en sol et en eau

Les ressources méditerranéennes en sol et en eau sont limitées et extrêmement vulnérables. Elles diffèrent considérablement d'une zone à l'autre. Les traits spécifiques de ces ressources découlent des caractéristiques climatiques, géologiques, hydrogéologiques et topographiques de la zone concernée. Le climat méditerranéen est caractérisé par des étés secs et chauds et par des hivers humides et froids. Du Nord au Sud de la région, les températures augmentent et les précipitations baissent. Les parties Nord et Sud du bassin méditerranéen diffèrent aussi des points de vue géologique et pédologique. La région entière, et surtout sa partie Nord-Est est caractérisée par le karst, et l'absence de vastes terres riches et fertiles.

L'urbanisation intense de la région, accompagnée du développement de l'industrie, du tourisme et des transports, occupe un espace considérable surtout dans les zones côtières, modifiant ainsi leurs caractéristiques naturelles. Les besoins alimentaires sans cesse croissants entraîne un développement intense de l'agriculture au détriment de la végétation et des forêts originelles. L'agriculture intensive et les incendies de forêts provoquent une sérieuse érosion du sol et des pertes en terres fertiles, ayant des conséquences économiques et écologiques de long terme.

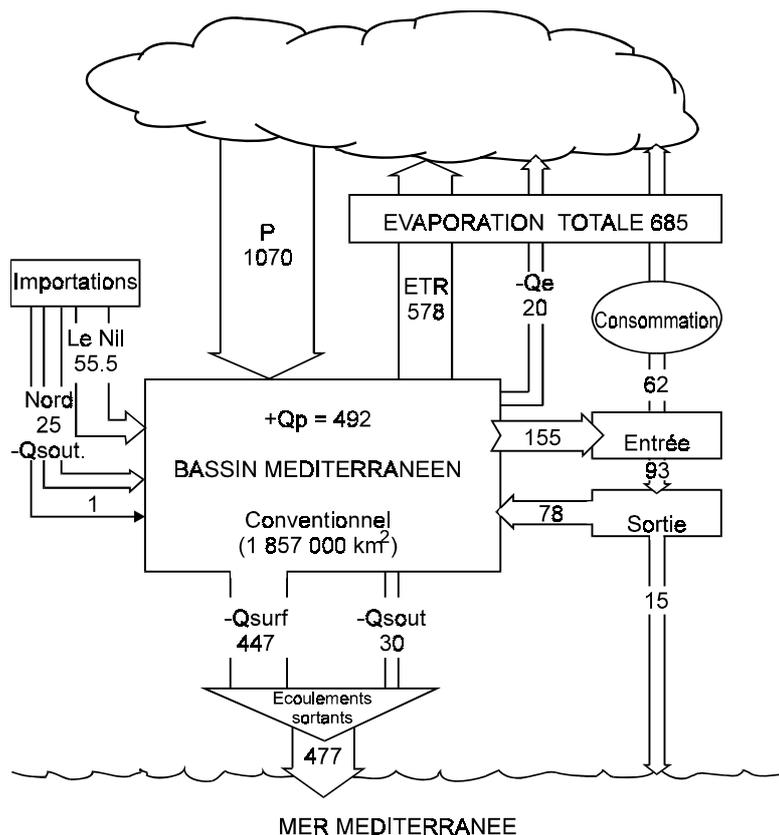
**Tableau 3.1: Les données hydrologiques globales moyennes du bassin méditerranéen (milliards de m<sup>3</sup>/an) (Margat, 1990)**

Groupes de pays	Ecoulement total annuel moyen			Part du bassin méditerranéen	Part régulière
	écoulement interne	apport externe	total		
Nord (Europe)	669	141	810	424	≅200
Est (Asie)	211	8	219	75	≅60
Sud (Afrique)	55	57	112	75 <sup>2</sup>	≅65 <sup>2</sup>
Total	935	206 <sup>1</sup>	1141	574	≅325

(1) sans duplication: apports des pays non méditerranéens

(2) y compris le Nil, le débit régularisé: 55,5





- Unité: milliard m<sup>3</sup>/ an
- P - précipitations
  - ETR - évapotranspiration réelle
  - +Qp - écoulement (précipitation efficace)
  - Qe - pertes en écoulement par évaporation
  - +Qsout - importations souterraines
  - Qsurf - écoulement de surface vers la mer
  - Qsout - écoulement souterrain en mer

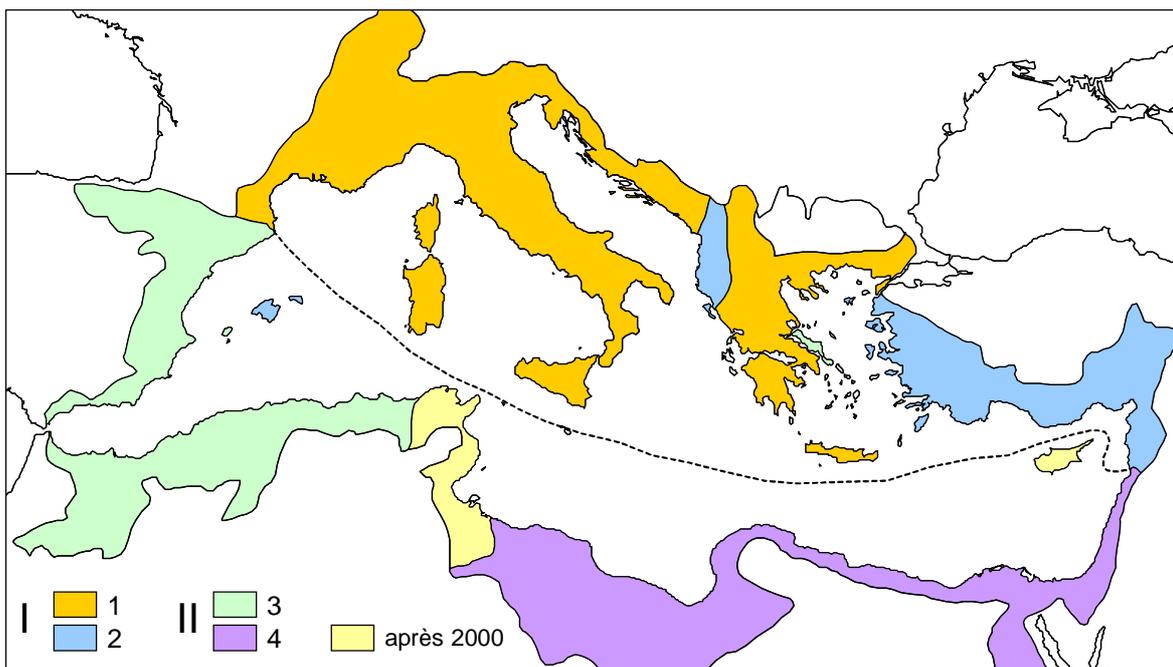
**Figure 3.3: Bilan d'eau dans le bassin méditerranéen (Margat, 1990)**  
(le graphique présente les débits moyens actuels)

D'après les recherches faites dans le cadre du PAM (Plan Bleu) le potentiel total annuel moyen des pays méditerranéens est d'environ 935 km<sup>3</sup>/an, dont 631,37 km<sup>3</sup>/an concernent le bassin méditerranéen. Selon l'abondance en eau, trois zones peuvent être distinguées: le Nord (Europe), l'Est (Asie Mineure) et le Sud (Afrique), comme présenté dans le Tableau 3.2. La partie européenne de la Méditerranée dispose des plus grands volumes d'eau (les ressources en eau renouvelables sont de 478,32 km<sup>3</sup>/an), suivie par la partie orientale (76,9 km<sup>3</sup>/an), la partie méridionale africaine étant la plus pauvre en eau (75,8 km<sup>3</sup>/an). Malheureusement, l'importance et le taux de croissance des populations ne sont pas proportionnels à la richesse en eau (voir Tableau 3.2)

Dans le passé, de même qu'aujourd'hui, une partie considérable des ressources en eau renouvelables, atteignant 65% pour l'ensemble de la région, a été utilisée. Les prélèvements d'eau sont importants non seulement au Sud (Libye 100%, Malte 100%, Egypte 92%, Tunisie 70%, Maroc 40%, Algérie 32%) et à l'Est (Chypre 42%, Israël 100%, Syrie 47%) mais aussi au Nord (Espagne 41%, Italie 30%). Vu l'abondance en eau d'une part, la consommation présente et prévisible d'autre part, on peut, s'agissant de la gestion des ressources en eau, on peut distinguer deux zones différentes en Méditerranée, le Nord et le Sud (Figure 3.4).

Zone de bassin versant	Ressources renouvelables – théoriques (km <sup>3</sup> /an)			Ratio (2)/(1)	Autres ressources			Demande		Indice (%)		
	Ressources renouvelables (1)	Flux entrant de zones voisines	Ressources régulières (2)		Indice de régularité	Ressources en eau fossiles	Dessalement	Réutilisation des eaux usées	TOTAL km <sup>3</sup> /an	Pourcentage déjà satisfait par aquifère (%)	Consom. totale km <sup>3</sup> /an	Indice d'exploitation
Espagne	31.10	1.00	7.50	24.1				20	1	12.20	64.3	39.2
France	74.00	12.00	35.20	47.6				17.2	0	2.00	23.2	2.7
Italie	187.00	7.60	30.50	16.3		54		46.35		14.85	24.8	8.0
Malte	0.07	0.00	0.03	42.9		16.1		0.034		0.03	49.0	40.0
ex Yougoslavie	77.50	0.00	11.50	14.8				1.5		0.28	1.9	0.4
Albanie	50.00	5.50	6.50	13.0				2.97		1.10	5.9	2.0
Grèce	58.65	13.50	7.70	13.1				7		3.75	11.8	6.2
Turquie	67.00	7.00	15.60	23.3				6.7		3.20	10.0	4.9
Chypre	0.90	0.00	0.27	30.0		10	8	0.38	11	0.25	42.0	28.0
Syrie	4.00	0.60	2.30	57.5		40		2		1.00	47.0	12.5
Liban	4.00	0.00	2.80	70.0				0.8		0.32	17.4	8.0
Israël	1.00	0.10	1.00	100.0		320		1.5	18	0.92	106.0	90.0
Egypte	57.30	56.50	55.80	97.4		200 <sup>(*)</sup>	3500	55.9	0.4	38.00	91.0	66.0
Libye	0.70		0.20	28.6		500	146	1.6	46	0.85	157.0	121.0
Tunisie	3.10	0.60	1.50	48.4		10		2	0.9	1.30	64.5	42.0
Algérie	10.90	0.03	2.50	22.9		420 <sup>(*)</sup>		1.7		0.85	15.6	8.0
Maroc	3.80	0.00	0.90	23.7				1.1		0.58	29.0	15.0

Tableau 3.2: Alimentation et demandes en eau dans le bassin versant méditerranéen (MAP – Blue Plan, 1995)



I – La partie Nord de la Méditerranée; demandes en eau modérées, stables dans les zones (1), croissantes dans les zones (2); seules les demandes locales plus marquées en quantité et/ou en qualité; on ne s'attend pas à des problèmes particuliers d'approvisionnements en eau avant 2025, avec quelques points critiques locaux possibles; la priorité sera accordée à la sécurité de l'approvisionnement et à la protection des eaux.

II-- La partie Sud de la Méditerranée; demandes en eau très marquées, croissantes dans l'avenir; très haut degré d'exploitation des ressources en eau renouvelables et non renouvelables (4); Pénuries d'eau chroniques et vulnérabilité croissante à la sécheresse; Priorités à accorder à l'usage économe, à l'importation de l'eau et aux ressources en eau non conventionnelles (4); Priorité à accorder à la protection des eaux et à la préservation des ressources renouvelables (3), ou occasionnelles (4).

**Figure 3.4: Subdivision des ressources en eau méditerranéennes et prospective de gestion (Margat, 1989)**

Dans la partie Nord, plus riche en eau, des systèmes de ressources en eau, complexes et coûteux, distribuent l'eau dans le temps et dans l'espace. La partie Sud, déficitaire en eau de surface, a des réserves considérables en eaux souterraines profondes (Algérie, Libye), non renouvelées naturellement qui, probablement, seront épuisées, de sorte qu'elles n'offrent pas à long terme de solutions au problème. L'une des solutions retenues dans la région pour un certain temps est le dessalement de l'eau de mer. Malte et la Libye, par exemple, satisfont de la sorte 50% de leurs besoins.

Dans l'avenir, avec la croissance démographique, un standard de vie plus élevé et une intensification de l'irrigation, la situation deviendra plus grave encore (Figure 3.4). La pénurie d'eau sera plus prononcée et entraînera des problèmes considérables, tant parmi les différents secteurs économiques qu'entre les zones urbaines et rurales. La gestion des ressources en eau sera difficile. Elle exigera des fonds considérables, des connaissances et l'application de technologies novatrices.

Dans ce domaine, Israël a fait plus que tout autre pays méditerranéen. Actuellement, la plupart des ressources disponibles sont exploitées, et l'on prévoit dans un proche avenir la réutilisation de la majeure partie des eaux usées (Figure 3.5). De telles solutions ont abouti à l'établissement de normes sanitaires sévères et à la protection efficace contre la pollution des ressources en eaux douces et marines, ainsi qu'à la fourniture de quantités considérables d'eau de seconde qualité, utilisable en premier lieu pour l'irrigation. De tels résultats exigent un personnel qualifié, tant pour planifier le développement, la gestion et l'utilisation intégrés des ressources en eau, que pour gérer les systèmes d'eau.

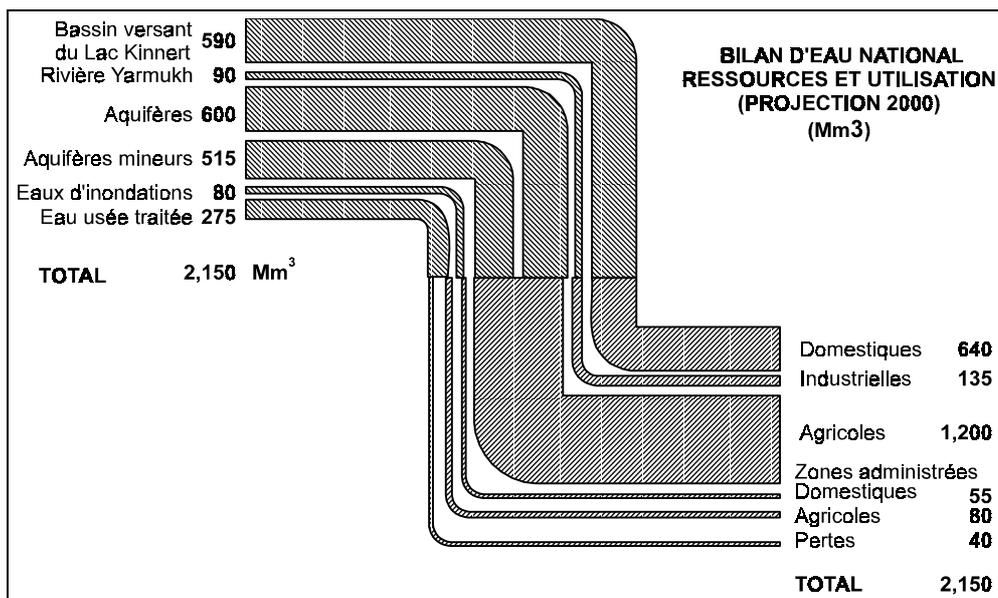


Figure 3.5: Bilan et utilisation d'eau en Israël (prévisions pour 2000) en Mm<sup>3</sup>

### 3.1.4 Problèmes spécifiques et caractéristiques particulières au système de ressources en eau de la zones côtière

#### 3.1.4.1 Variations saisonnières des apports

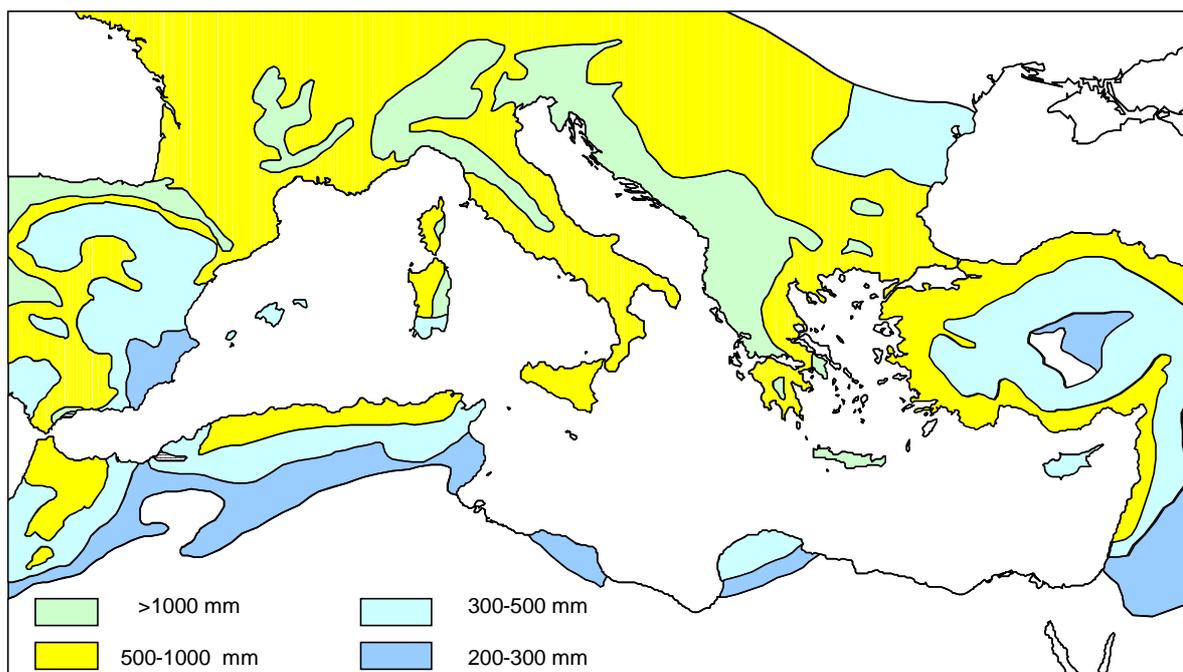
Plusieurs caractéristiques climatiques jouent un rôle-clé dans la gestion des ressources en eau de la majorité des zones côtières méditerranéennes:

- La majeure partie des précipitations tombe en hiver, tandis que les plus grandes demandes de l'irrigation et du tourisme – s'expriment en été.
- La température et la durée d'ensoleillement provoquent de hauts niveaux d'évaporation et d'évapotranspiration à partir des réservoirs d'accumulation et des cultures.
- Les variations pluviométriques régionales sont considérables, avec des apports abondants qui ne coïncident pas toujours avec les zones où la demande est la plus grande. Il y a aussi de grandes variations entre la rive Nord d'une part et les rives Sud et Est qui reçoivent beaucoup moins de pluie.
- Il existe également d'importantes variations inter-annuelles se traduisant fréquemment par l'apparition de séquences de sécheresse de deux et trois ans. Cela nécessite de grands réservoirs de surface pour assurer un approvisionnement inter-annuel stable, la sécheresse jouant un rôle déterminant dans les politiques globales de gestion des eaux.

Les principales caractéristiques hydrologiques de la région méditerranéenne peuvent être récapitulées comme suit (UNESCO, 1978):

- Il existe une nette influence de la topographie sur les précipitations (Figure 3.6). Un minimum de 200 à 300 mm/an se produit le long de la côte orientale espagnole jusqu'à un maximum de plus de 1500 mm/an sur la côte adriatique. Dans la partie Sud de la Méditerranée, les précipitations moyennes sont de 100 à 400 mm/an dans la plupart des zones.
- La période estivale sèche moyenne est de trois à sept mois, le long de la côte espagnole; de deux à trois mois sur la côte occidentale italienne; d'un à deux mois sur la côte adriatique et de quatre à cinq mois le long de la côte grecque. Dans la partie Sud de la Méditerranée, quatre à sept mois ou plus sont habituellement secs.
- L'évapotranspiration annuelle varie entre 400 et 600 mm/an le long de la côte Nord entre 1250 et plus de 2000 mm/an le long de la partie Sud en fonction de l'importance des précipitations et de la végétation.

- Les écoulements moyens annuels varient considérablement à travers la région méditerranéenne, de 100 mm/an sur la côte Est espagnole à 400-500 mm/an sur la côte de la mer Ligurienne. Ils sont de l'ordre de 300 mm annuellement sur la côte adriatique. L'écoulement le long de la rive Sud est extrêmement instable, variant de 100 mm/an à Tunis jusqu'à 500 au Maroc. Dans cette zone, l'écoulement mensuel est élevé au début et à la fin de l'année, coïncidant avec les précipitations saisonnières.
- Le coefficient de ruissellement, rapport entre le ruissellement et les précipitations est d'environ 0,5 à 0,6 – hormis en Espagne du Sud et en Tunisie où il atteint seulement 0,1 en moyenne.



**Figure 3.6: Précipitations moyennes annuelles dans le bassin méditerranéen (adapté de Times Atlas of the World)**

Etant donné la rareté des ressources en eau dans la quasi totalité du bassin méditerranéen, leur disponibilité constitue l'une des conditions-clés du développement de la région. Les données sur les ressources en eau et la consommation d'eau sont présentées dans le Tableau 3.2.

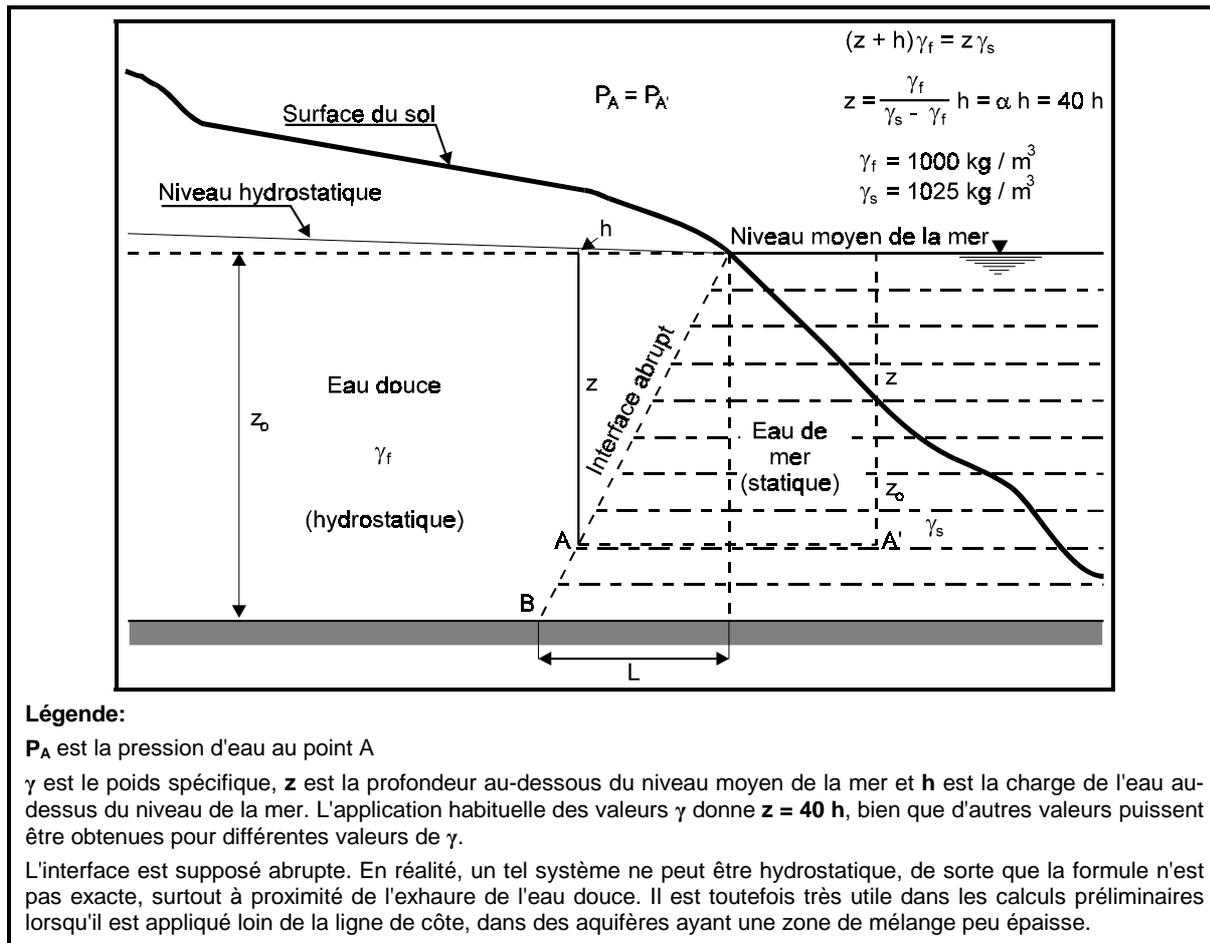
#### **3.1.4.2 Rapport eau de mer- eau douce dans les aquifère côtiers**

##### ***Activités de développement influant sur le rapport eau de mer/eau douce dans les aquifères côtiers***

Toute activité qui se traduit par une réduction de l'écoulement d'eau douce souterraine à la mer conduit à un changement de l'interface eau de mer/eau douce et provoque son déplacement vers l'intérieur. Normalement, la plupart des effets de l'intervention directe ou indirecte de l'homme sur l'écoulement souterrain se développent très lentement, de sorte qu'il est souvent difficile d'établir un lien entre la cause et l'effet. Cela peut avoir pour conséquence de négliger le problème jusqu'au moment où les mesures correctives s'avèrent inutiles.

Les conséquences économiques et environnementales de l'intrusion marine et les pertes d'approvisionnement en eau douce peuvent parfois porter atteinte aux conditions de vie des générations présentes et futures.

Les activités influant directement sur le contact eau de mer /eau douce concernent les prélèvements d'eau souterraine qui réduisent l'écoulement des eaux douces côtières et modifient l'équilibre dynamique (Figure 3.7). Lorsque les prélèvements d'eau dépassent la recharge réelle, l'équilibre est rompu, et l'eau de mer envahit profondément l'aquifère côtier.



**Figure 3.7: Profondeur de l'eau de mer en aquifères côtiers poreux. Le principe Badon Ghyben-Herzberg dans un système hydrostatique idéalisé eau douce/eau de mer (UNESCO, 1987)**

Les activités influençant indirectement l'interface eau de mer/eau douce sont celles qui ont un impact sur la recharge des eaux souterraines. Une augmentation de la recharge a des effets positifs vu qu'elle augmente le débit d'exhaure d'eau douce vers la mer, créant les conditions de déplacement de l'interface vers le large.

Les activités favorisant l'intrusion marine sont:

- la régularisation des cours d'eau avec des barrages amont dans le cas où il recharge l'aquifère côtier, naturellement ou par alimentation induite;
- l'urbanisation, l'industrialisation et l'imperméabilisation des terres anciennement agricoles. Il en résulte une réduction de la recharge et une augmentation du ruissellement de surface lequel gagne normalement la mer;
- l'amélioration de l'efficacité en irrigation ce qui réduit l'importation de l'eau de surface nécessaire;
- la construction d'un réseau d'assainissement qui arrête la recharge naturelle à travers les puits perdus;
- les travaux hydrauliques de protection contre les inondations qui peuvent réduire l'infiltration des écoulements;
- le déboisement ou l'atteinte à la végétation qui peuvent également réduire la possibilité d'infiltration et donc la recharge.

### **Points à examiner pour empêcher l'intrusion marine**

Vu que l'intrusion marine est l'une des principales préoccupations de la gestion des ressources en eau côtières, les points suivants sont à prendre en considération:

- les prélèvements globaux annuels d'un aquifère côtier doivent être inférieurs à la recharge moyenne annuelle. Plus étroite est la frange littorale sujette à intrusion marine, moins évident est le potentiel de l'aquifère;
- le contrôle de la surexploitation dans le but d'arrêter l'intrusion marine dans les aquifères côtiers et éventuellement de l'inverser, s'effectue au moyen d'instruments réglementaires tels que les permis de prélèvements d'eau souterraine;
- la mise en vigueur de restrictions réglementaires en matière de pompage des eaux est la clé du succès final;
- les incitations financières telles que les taxations graduelles peuvent aussi être efficaces comme mesures complémentaires à la réglementation et à la planification pour le contrôle du pompage d'eau souterraine. Une mise en œuvre efficace reste toutefois une question d'importance majeure;
- la gestion, écologiquement rationnelle, des eaux souterraines visant à conserver les aquifères côtiers et à les protéger contre l'intrusion de la mer est la meilleure des approches. Elle nécessite cependant un effort interdisciplinaire, un cadre institutionnel approprié, un appui législatif et des prérogatives juridiques claires;
- les points de prélèvement d'eau souterraine doivent être bien répartis et éloignés de la ligne du rivage;
- pour éviter la venue d'eau de mer, les stations de pompage doivent limiter leur débit, et le rabattement du niveau doit être le plus faible possible;
- un réseau de piezomètres pour le suivi du niveau de l'eau et de la salinité en profondeur doit être entretenu;
- des actions de recharge artificielle de nappes souterraines devraient être programmées et mises en œuvre;
- les sources de recharge des aquifères doivent être protégées;
- l'engagement des utilisateurs d'eau dans la gestion efficace des ressources en eau souterraines à travers l'éducation et la sensibilisation, ainsi que la participation active à la prise de décisions ayant trait à la réglementation.

#### **3.1.4.3 Principaux éléments d'exploitation des ressources en eau dans les zones côtières**

L'aquifère côtier constitue la principale source d'approvisionnement en eau de la plaine littorale qui se trouve fréquemment être la zone d'utilisation maximale de l'eau, surtout dans la région méditerranéenne. Le principal objectif de l'exploitation des ressources en eau côtières est de satisfaire les demandes en eau annuelles de la zone concernée par un approvisionnement stable.

Les éléments essentiels d'exploitation des ressources en eau d'une zone côtière sont présentés dans l'Encadré 4.

### **3.2 Eléments et caractéristiques d'un système d'eau artificiel. Systèmes des activités humaines**

Dans la zone côtière s'exerce une activité humaine intense. Y interfèrent les processus physique, biologique, social, culturel et économique. C'est la région où le système maritime, le système terrestre et le système de ressources en eau douce s'affrontent et se recouvrent, créant un système unique. Ce système côtier est complexe et vulnérable, dépendant de nombreux processus naturels et autres. Cette région favorise la vie, ce qui se traduit par des modifications de l'occupation du sol qui, en retour, modifie les caractéristiques des trois systèmes (de ressources en eau douce, maritime et terrestre). L'ampleur et la complexité des activités côtières sont présentées dans la Figure 3.8.

## Encadré 4

### **Éléments essentiels d'exploitation des ressources en eau des zones côtières**

Les principes suivants peuvent constituer des directives en matière d'exploitation annuelle des ressources en eau côtières:

#### **a) Satisfaction de la demande**

L'objectif est de répondre à la demande au niveau requis de qualité et de fiabilité. Normalement, la demande devrait avoir une *part fixe* et une *part flexible* qui ne pourrait être satisfaite que dans le cas d'un excédent de l'eau disponible.

#### **b) Fiabilité et priorité d'approvisionnement**

Les ressources en eau côtières sont particulièrement sensibles aux variations annuelles de climat, de l'hydrologie et des capacités techniques en termes d'infrastructure de développement, du fait des changements rapides du nombre d'habitants, des variations saisonnières et du tourisme, etc. Pour cette raison, à chaque groupe et à chaque catégorie de consommateurs devrait être garanti un niveau d'approvisionnement, selon la saison ou annuellement (approvisionnement fixe). Une fiabilité et une priorité plus fortes sont assurées à la demande domestique, suivie par la demande industrielle, celle de l'arboriculture irriguée et des cultures saisonnières.

#### **c) Régularisation intégrée de l'approvisionnement**

Les irrégularités dans la disponibilité des eaux sur la côte peuvent en grande partie être efficacement surmontées par le stockage d'eau en surface ou souterrain, et par les transferts d'eau de l'arrière-pays. En réalité, cela revient à exploiter le système d'eau d'un pays dans son ensemble.

#### **d) Diversification des ressources en eau**

Elle implique l'utilisation de techniques de récupération de l'eau, une révision des normes, vers la baisse de qualité des normes, le développement de cultures résistantes à la salinité, etc. Par conséquent, les eaux usées, ainsi que des eaux saumâtres et l'eau de mer – après le dessalement – doivent intégrer le système d'ensemble d'approvisionnement en eau.

#### **e) Satisfaction des contraintes**

L'ampleur des interventions sur les ressources en eau est restreinte par les contraintes physique, technique, économique, légale, etc.

Les contraintes relatives à l'exploitation d'un aquifère côtier sont:

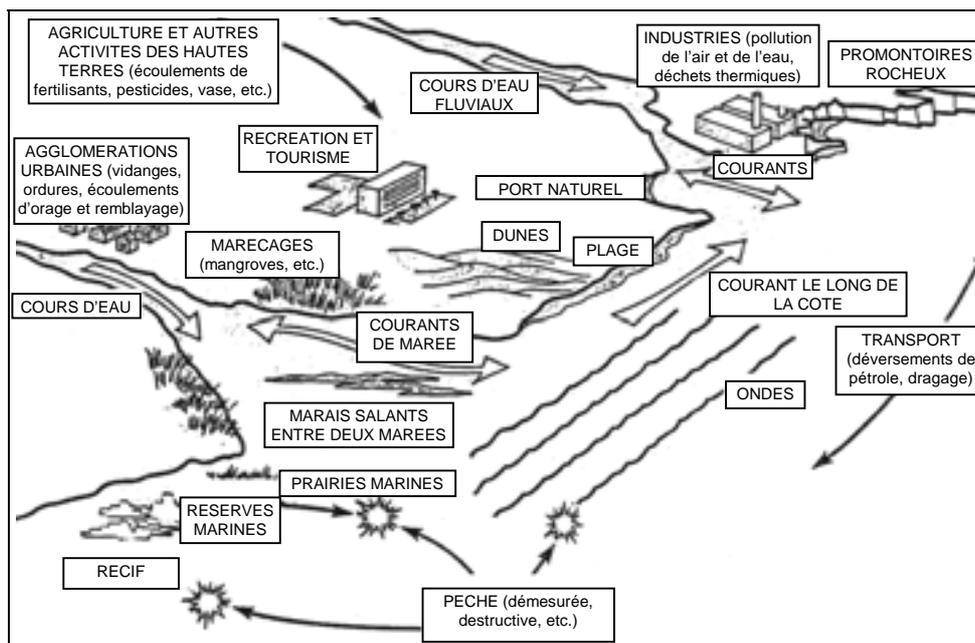
- le bilan d'eau souterraine;
- le niveau piezométrique maximal admissible;
- le niveau piezométrique minimal admissible;
- la teneur en sel maximale admissible et autres constituants de l'eau pompée;
- la capacité effective de pompage, fonction du niveau piezométrique;
- la capacité effective de recharge, si une recharge artificielle est pratiquée;
- la distance admissible par rapport à un domaine de pollution ou seuil de contamination toléré;
- le potentiel d'importations;
- le potentiel d'exportations;
- la distribution de la demande dans l'espace et dans le temps;
- les unités d'exploitation des ressources en eau (puits, forage, pompes, unités de recharge, adductions, etc.);
- les règles et procédures d'administration des ressources en eau;
- les contraintes budgétaires;
- les contraintes politiques;
- les contraintes de main d'œuvre et d'équipement;
- les contraintes écologiques.

#### **f) Ressources exploitables**

Dans ce contexte, on applique le principe de précaution. La ressource exploitable peut être définie comme la quantité nette maximale d'eau de qualité donnée pouvant être annuellement prélevée sur le système durant une longue période sous un ensemble de contraintes hydrologiques, sans risque d'échec. La ressource exploitable est moins que la ressource potentielle, du fait du respect des contraintes existant sur le moment.

#### **g) Distribution équitable des eaux**

Si la demande d'eau totale dépasse les apports, à niveau égal de fiabilité et de priorité d'approvisionnement et sous contraintes égales, l'eau disponible devrait être allouée aux consommateurs proportionnellement à leur part dans la demande totale.



**Figure 3.8: Zone côtière et activités (UNESCO, 1993)**

Les principaux secteurs économiques et de développement de cette région sont:

- l'urbanisation, avec les activités socio-économiques typiques;
- l'agriculture;
- l'industrie;
- la pêche et l'aquaculture;
- la production d'énergie;
- le tourisme;
- les transports; et
- la sylviculture.

Ces activités sectorielles se développent sur la base des ressources naturelles et des caractéristiques de la zone:

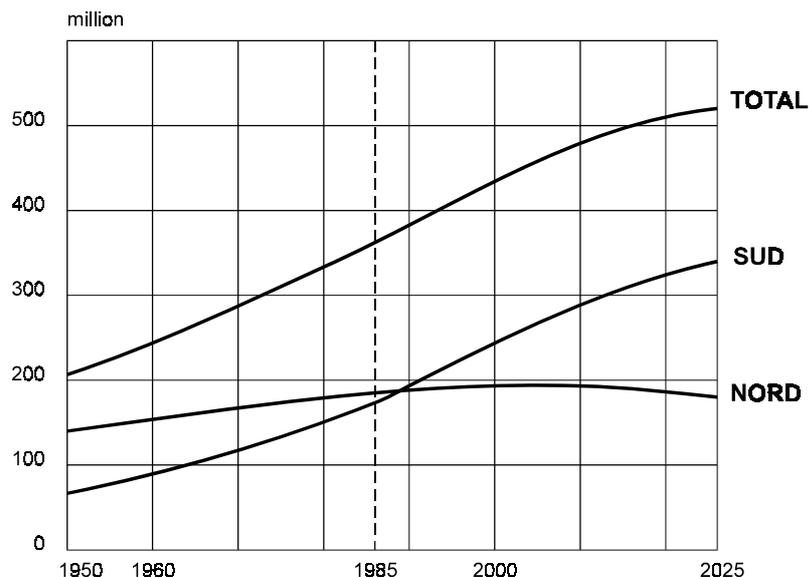
- la terre (végétation, sol, composition minérale);
- les eaux continentales;
- la côte;
- la mer; et
- le climat.

La distribution de ces ressources est le résultat des facteurs géologique, physique, biologique, écologique, météorologique, et des caractéristiques socio-économiques et culturelles des différentes régions, y compris les systèmes d'eau créés par l'homme.

### 3.2.1 Tendances du développement dans la région méditerranéenne

Après la Deuxième Guerre mondiale, les connaissances et les technologies se sont rapidement développées dans le monde entier, de même qu'en Méditerranée. Depuis 1950, la population du bassin méditerranéen a doublé, de sorte qu'elle dépasse actuellement 400 millions de personnes (UN/Blue Plan).

Dans le bassin méditerranéen, comme dans le reste du monde, c'est la zone côtière qui porte le plus grand fardeau. Environ 60% de la population mondiale vivent dans les zones côtières et 60% d'entre elle dans les villes. 65 pour cent de toutes les villes de plus de 2,5 millions d'habitants sont dans les zones côtières (Olsen, 1993). Ces chiffres sont même plus drastiques pour le bassin méditerranéen, avec plus de 80% de la population vivant sur les côtes, dont 70% en ville (Grenon et Batisse, 1989).



**Figure 3.9: Croissance démographique dans le région méditerranéenne**

Dans un avenir prévisible, les zones côtières seront assujetties à une pression démographique encore plus prononcée, ainsi qu'à l'expansion et à la diversification des économies nationales. On estime que la majeure partie de la croissance démographique, surtout dans les pays en développement, sera concentrée dans les zones urbaines et en premier lieu dans les villes côtières (United Nations, 1992). La région méditerranéenne est parmi ces régions (Grenon et Batisse, 1989). La Méditerranée est une destination touristique populaire recevant plus de 100 millions de visiteurs par an, de sorte qu'en été la population augmente considérablement.

Pour toutes ces raisons, la région méditerranéenne est un grand utilisateur de ressources, y compris les deux essentielles: la terre et l'eau. Il est aisé de conclure que l'état des ressources côtières, leur exploitation et les méthodes de gestion sont aujourd'hui des questions importantes, et qu'elles le seront encore plus dans le futur.

### 3.2.2 Système d'eau créé par l'homme

De tels systèmes sont créés pour répondre aux exigences des activités humaines en matière de ressources en eau, pour protéger ces activités contre les dégâts des eaux, ainsi que pour protéger les ressources en eau contre les effets nocifs des activités humaines. Ces systèmes diffèrent largement d'un pays à l'autre en fonction des caractéristiques naturelle, économique, sociale, culturelle et autres.

Pour résoudre les problèmes d'exploitation, d'utilisation et de protection des ressources en eau et pour se prémunir contre leurs effets nocifs, il est nécessaire de construire des ouvrages hydrauliques. Cette infrastructure peut être répartie en différents systèmes:

1. *Système d'approvisionnement en eau* – ensemble d'ouvrages assurant une alimentation en eau quantitativement et qualitativement adéquate dans le temps et dans l'espace.
2. *Système de collecte, de traitement et de contrôle des eaux usées* – ensemble d'ouvrages pour le transport des eaux usées, leur épuration au niveau requis et leur rejet dans le milieu récepteur.
3. *Système d'irrigation* – ensemble d'ouvrages assurant la fourniture de quantités d'eau de qualité adéquate selon la demande dans le temps et dans l'espace.
4. *Système de contrôle des inondations* – ouvrages et mesures assurant la protection contre les inondations selon le degré voulu de protection.
5. *Système de drainage* – ouvrages pour le drainage des excédents d'eaux superficielle et souterraine selon le degré voulu de protection.
6. *Équipement de loisirs liés à l'eau* – ouvrages permettant des activités récréatives sûres (plages, ports de plaisance, aires de ski et de canotage, etc).

## Encadré 5

### Utilisation fonctionnelle type des ressources en eau

#### A. Quantités d'eau

1. Satisfaction des demandes pour usages spécifiques:
  - approvisionnement en eau des collectivités;
  - approvisionnement en eau des ménages ruraux;
  - approvision. en eau des zones touristiques;
  - cultures et bétail, y compris irrigation agricole;
  - process et production manufacturière;
  - assimilation/ transport des déchets biodégradables;
  - besoins des animaux/plantes le long du cours d'eau;
  - pêche commerciale;
  - développement énergétique et houille blanche;
  - exploitation minière;
  - récréation;
  - transports;
  - maintien de l'interface eau douce/de mer; et
  - besoins animaux/plantes aux estuaires.
2. Contrôle des excédents d'eau et des dommages qu'ils causent:
  - zones urbaines développées;
  - zones suburbaines en développement;
  - terres agricoles;
  - collectivités rurales et autres terrains ruraux non agricoles; et
  - frange littorale.
3. Economie d'eau et élaboration de plans d'urgence en matière de sécheresse:
  - économie d'eau utilisée par: ménages, fermes, commerce et industries;
  - économie d'eau utilisée par les municipalités;
  - économie d'eau utilisée par les hôtels et autres équipements touristiques;
  - économie d'eau utilisée par l'agriculture;
  - élaboration de plans de réduction des demandes pendant la sécheresse; et
  - élaboration de plans d'allocation des approvisionnements insuffisants pendant la sécheresse.

#### B. Qualité des eaux

1. Contrôle de la pollution à la source:
  - rejets des municipalités;
  - rejets des zones et équipements touristiques;
  - rejets des ménages ruraux desservis par les réseaux d'égouts;
  - rejets issus des processus et de la production manufacturière;
  - rejets des centrales de combustibles synthétiques;
  - rejets des exploitations minières;
  - rejets des activités récréatives;
  - rejets des produits agricoles et aliments pour animaux;
  - rejets des centrales conventionnelles d'énergie électrique;
  - rejets liés au transport par voie d'eau; et
  - rejets liés au transport maritime.
2. Contrôle de la pollution diffuse:
  - écoulements et fuites: dans zones urbaines/suburbaines;
  - écoulements et fuites: à partir des activités de construction;
  - écoulements et fuites: à partir des cultures, pâturages, fermes;

- écoulements et fuites: à partir des opérations de sylviculture;
  - écoulements et fuites: à partir des exploitations minières;
  - écoulements, fuites, et autres polluants diffus: à partir d'activités récréatives;
  - écoulement/fuites: à partir de systèmes individuels d'assainissement (fosses septiques);
  - pollution à partir des fuites d'égouts sanitaires;
  - sédimentation résultant de travaux hydrauliques (dragage, excavations, etc.).
3. Contrôle de la pollution: à partir de sources atmosphériques:
    - déversement de poussières polluantes dans l'eau (dépôt sec); et
    - pluie acide dans les ressources en eau.
  4. Contrôle de la pollution des: transports et de la décharge des déchets dangereux, toxiques, ou solides;
    - infiltration pendant le transport; et
    - infiltration après dépôt en décharge.

#### C. Allocation des ressources en eau à usages multiples en concurrence

1. transferts d'eau à l'intérieur du bassin;
2. transferts d'eau entre bassins.

#### D. Contrôle d'impact du développement des ress. en eau sur les utilisations du sol

1. Impacts sur les zones critiques ou fragiles:
  - zones côtières;
  - plaines inondables;
  - zones de recharge d'eau souterraine;
  - terres agricoles, importantes ou uniques;
  - écosystèmes terrestres et/ou aquatiques (eau douce/de mer), uniques par leurs valeurs: récréative, esthétique et/ou scientifique;
  - littoral (érosion); et
  - autres zones.
2. Impacts: des dépôt des matériaux de dragage;
3. Impacts de la construction et de l'exploitation des ouvrages hydrauliques:
  - impacts de barrages et inondation des terres par les réservoirs;
  - impacts de l'extension des adductions d'eau ou des égouts jusqu'aux aires périphériques; et
  - impacts d'autres mesures structurelles (installations de navigation, installations portuaires, ports de plaisance et centrales électriques).
4. Impacts du rejet de résidus du traitement des eaux usées:
  - boues; et
  - déchets dangereux et toxiques.
5. Impacts des moyens non structurels de gestion des ressources en eau:
  - impact sur la gestion des bassins versants, contrôle de l'érosion;
  - impact des pratiques de conservation des eaux et du sol;
  - impact du programme de protection contre les inondations et de zonage des plaines inondables; et
  - impact d'autres pratiques et programmes non structurels.

7. *Système de navigation* – équipements assurant la navigation dans certaines parties du cycle hydrologique et de la mer selon les normes du trafic et le type de bateaux.
8. *Système de contrôle des centrales hydro-électriques* – ensemble des installations permettant la production électrique à partir de l'eau douce et de mer.
9. *Protection du littoral* – constructions pour la protection de la ligne de côtes contre l'action dangereuse de la mer.
10. *Production alimentaire* – ouvrages permettant l'élevage artificiel ou naturel des poissons, coquillages et d'autres organismes marins ou d'eau douce.

Trois facteurs ont la plus grande influence sur les caractéristiques de ces systèmes: le climat, le régime de la demande d'eau (fluctuations de la demande) et l'attitude à l'égard des ressources en eau et de la mer. Les résultats en sont que:

- *La région méditerranéenne est caractérisée par des étés secs et chauds, et des hivers humides et froids.* La plus grande partie des pluies se produit durant les quelques mois d'hiver, les précipitations étant extrêmement rares en été. Les phénomènes hydrologiques sont périodiques et très intenses. Cela signifie que les précipitations sont brèves mais brutales, tandis que les périodes de sécheresse sont longues, tout en étant très sévères. Une telle situation est très défavorable à la création d'un système par l'homme.
- *Les installations de drainage et de protection contre les excédents d'eau (inondations, réseaux d'eau pluviale) ne sont pleinement utilisées que rarement et brièvement,* de sorte qu'elles ne sont pas rentables au regard de leur dimensionnement (canaux, installations de pompage), bien que complexes du point de vue technique. Certaines solutions spécifiques plus rationnelles, et assurant une protection adéquate, seront donc privilégiées.
- *L'état de l'approvisionnement en eau n'est pas satisfaisant, l'apport naturel en ressources en eau étant à l'opposé des attentes à satisfaire.* En fait, durant les périodes de plus grande consommation (en été, quand les températures sont élevées et les journées longues, et quand la région méditerranéenne reçoit un grand nombre de touristes) en eau potable, en eau d'irrigation et pour d'autres fins, et lorsque les pertes (évapotranspiration) sont aussi les plus fortes, le potentiel des ressources en eau est le plus faible. D'autre part, en hiver, lorsque la consommation d'eau est considérablement plus faible ainsi que les pertes, le potentiel des ressources en eau est le plus élevé. La complexité de la situation est encore plus évidente, du fait que les caractéristiques hydrologiques de la majorité des pays méditerranéens ne permettent pas de plus grandes accumulations souterraines ou en surface. La seule solution pour assurer les volumes d'eau suffisants est donc la redistribution des ressources d'eau douce dans le temps par la construction de retenues d'eau (barrages, réservoirs, etc.).
- *Pour équilibrer les grandes différences entre le volume et la durée des flux entrants et sortants, il est nécessaire de construire des retenues de grande capacité.* Les températures élevées causent de grandes pertes dans ces réservoirs et favorisent une activité biologique intense, conduisant souvent à la détérioration de la qualité des eaux. Dans certaines zones (Afrique du Nord) où le taux d'érosion est élevé, la durée de vie des réservoirs est relativement courte (une dizaine d'années) du fait de la sédimentation. Tout cela explique le prix très élevé de l'eau fournie ce qui influe considérablement sur les caractéristiques socio-économiques de certains pays.
- *Les ressources en eau fiables se trouvent le plus souvent dans l'arrière-pays, loin de la côte, tandis que les plus grands utilisateurs se trouvent dans la frange littorale où les ressources en eau sont les plus faibles.* Une telle situation exige souvent la construction de systèmes complexes d'approvisionnement si l'on veut assurer le service de l'eau en un lieu et en un temps donnés.
- *Les fluctuations de la demande en eau dans les zones urbaines, et surtout dans les stations touristiques, sont très prononcées, la demande maximale journalière étant particulièrement élevée.* La construction, la gestion et le maintien d'un système d'approvisionnement et de distribution d'eau dans ces conditions sont coûteux et difficiles, ce qui contribue ultérieurement à augmenter les coûts de l'alimentation en eau et, celui de la vie. Les zones qui manquent de personnel et d'organisation appropriés subissent des pertes considérables dans leurs systèmes urbains d'approvisionnement en eau.

- *Les températures élevées et les faibles écoulements ont pour conséquence une faible capacité d'assimilation des ressources en eau, de sorte qu'une faible pollution est à même de causer une détérioration rapide et considérable de leur qualité.* Dans ces conditions, il est difficile d'assurer la préservation des écosystèmes et la protection des sources d'approvisionnement en eau. Une telle situation requiert une épuration exhaustive des eaux usées et un contrôle sévère de la pollution des eaux. Cela concerne aussi la mer côtière.
- *De grandes fluctuations saisonnières et journalières provoquent de grandes fluctuations dans le flux des eaux usées rendant difficile la définition de la capacité des stations d'épuration et leur gestion.* Les sites touristiques types posent des problèmes particuliers avec des fluctuations extrêmement élevées (1:20 et plus), vu que dans de telles situations les solutions économiques ne marchent pas. La construction de stations d'épuration non performantes à l'origine, d'une pollution des ressources d'eau douce et de la mer côtière est une manière inadéquate de traiter ces problèmes.

Pour toutes ces raisons, la mise en œuvre de politiques adéquates de ressources en eau et de protection de la mer s'avèrent très difficiles et complexes. Cela est important pour plusieurs pays, où le tourisme est l'une des principales activités économiques. Des efforts constants et patients sont nécessaires, qui mettent en application une planification et une gestion efficaces, assorties de solutions imaginatives et de prises de décisions réalisables.

Il est à souligner que le système créé par l'homme constitue un lien entre le système socio-économique et le système naturel, ou cycle hydrologique. Cela signifie qu'il doit être planifié et développé en harmonie avec le développement du secteur socio-économique et les caractéristiques naturelles du système de ressources en eau. Le rôle du système de gestion des ressources en eau est d'intégrer le système créé par l'homme avec le système socio-économique et le système naturel. Du succès de cette intégration dépend largement la distance qui nous sépare du développement durable des ressources en eau.

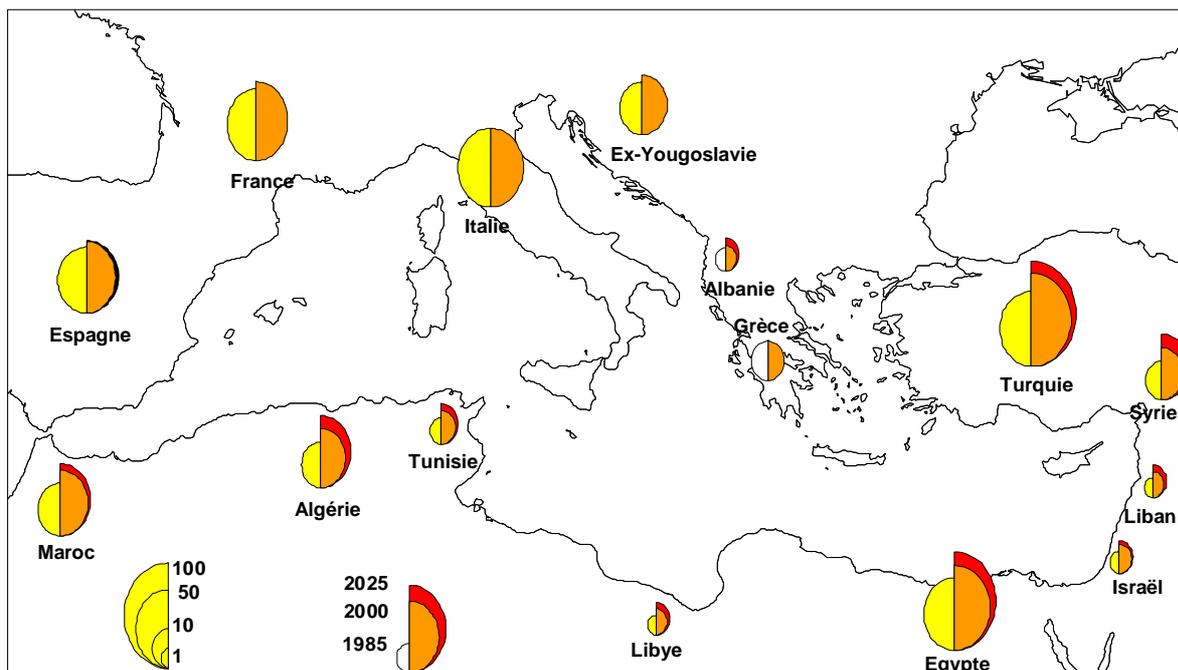
### **3.2.3 Problèmes spécifiques et caractéristiques particulières du système des activités humaines**

#### **3.2.3.1 Introduction**

L'hétérogénéité physique et biologique de la ligne de côte et des zones côtières, associée aux changements rapides qu'on y constate du fait de la variété des conditions sociale, culturelle et économique, résulte de l'interaction complexe des différents processus, de sorte que ces conditions et l'équilibre dynamique qui s'en suit dans n'importe quelle partie de la côte méditerranéenne, peuvent être considérés comme uniques.

Quelque 37% des 352 millions d'habitants des 20 pays riverains de la Méditerranée, vivent directement dans la zone côtière, c'est à dire que les densités de population sont trois fois plus grandes dans les zones côtières que dans les autres. Les perspectives de la croissance démographique montrent des différences majeures entre le Nord et le Sud. Alors que les pays européens ont des populations presque stables, la croissance démographique dans les pays du Sud est au contraire de 2 à 3% par an comme présenté dans la Figure 3.10. Cela exerce une forte pression sur les ressources côtières limitées, les ressources en eau particulièrement. Cette pression augmentera avec le temps, spécialement dans les pays du Sud où les volumes d'eau disponibles sont déjà très limités.

Le développement de plans de gestion des ressources en eau qui permettent une plus large compréhension spatiale et temporelle de ces systèmes dynamiques requiert la plus complète intégration de tous les processus et de toutes les conditions. Les effets dans quelque direction que ce soit, positifs ou négatifs, devront être déterminés si les conditions futures sont à décrire de manière adéquate. Les ressources en eau le long de la majorité des zones côtières méditerranéennes sont rares et coûteuses à l'exploitation, alors que les eaux pluviales sont extrêmement variables et les sécheresses fréquentes. Reconnaître, au niveau de la région, l'importance de l'adoption d'une approche globale de la planification des ressources, les relations étroites qui existent entre l'eau superficielle et souterraine, et l'augmentation des demandes en eau potable et d'irrigation est un préalable à la gestion efficace des eaux.



**Figure 3.10: Population et tendances démographiques dans la région méditerranéenne (UNEP, 1987)**

Dans le cadre de ces considérations, les programmes de gestion des demandes qui visent à limiter la consommation, par la tarification de l'eau, le rationnement et les mesures de conservation figurent parmi les priorités de la majorité des pays dans la région.

### **3.2.3.2 Saisonnalité de la demande**

#### **Rôle du tourisme**

Avec le tourisme en tête, l'économie de la plus grande partie des pays méditerranéens se développe rapidement. La majorité des touristes visitent les zones côtières pour une ou deux semaines. 70 à 80% des visiteurs viennent dans la période de 7 mois d'avril à octobre, et 20 à 30% durant les mois d'été, juillet et août. Sans aucun doute, le tourisme joue un rôle-clé dans la prospérité des zones côtières méditerranéennes.

Pourtant le tourisme a doré et déjà un impact dramatique sur le paysage côtier et l'environnement physique. La pression qui s'exerce sur les ressources en eau disponibles, surtout en été, la nécessité de développer des systèmes d'égouts centralisés et la concentration des effluents rejetés, ont conduit au réexamen de nombre de stratégies. Dans de nombreux pays, les autorités publiques s'attachent à limiter la croissance permanente du nombre de visiteurs et à encourager plutôt un tourisme de meilleure qualité et hors-saison. Des contrôles de planification plus stricts, impliquant une plus faible densité de constructions, se mettent en place dans plusieurs zones.

Le tourisme influence directement la demande en eau et l'infrastructure d'assainissement. En Méditerranée, la plus grande partie des restaurants touristiques sont concentrés le long de la côte. Les taux élevés de consommation *per capita* qui atteignent 500 l/jour comparés aux 150 à 200 l/jour pour la population locale, exercent une pression considérable sur les ressources en eau disponibles. Dans la majorité des zones côtières de la région, les densités de population ont été traditionnellement assez faibles, même dans les villes côtières et, jusqu'à récemment, l'on n'a pas eu besoin d'un système centralisé d'assainissement ni de systèmes de traitement. Dans la plupart des cas, les fosses septiques individuelles ont joué ce rôle. Cela a changé avec la construction d'hôtels et de complexes d'hébergement touristiques, où la concentration des effluents dépasse largement la capacité d'absorption du sol, imposant ainsi la construction de réseaux d'égouts locaux et éventuellement de systèmes d'assainissement centralisés.

De la sorte, la grande fluctuation saisonnière de la demande en eau causée par les afflux touristiques est probablement le seul problème important auquel se heurte la majorité des zones

côtières méditerranéennes. Ce problème spécifique nécessite une infrastructure hydraulique et une politique de gestion des eaux à même de l'affronter de manière adéquate.

### **Rôle de l'agriculture**

La population importante et en croissance rapide dans la région méditerranéenne, particulièrement dans les zones arides et semi-arides, nécessite une augmentation considérable de la production alimentaire par un développement de l'agriculture. L'eau étant le plus important facteur limitant d'un tel développement, la région se heurte à de nombreux problèmes de gestion de cette ressource rare.

L'irrigation joue un rôle dominant dans le bassin méditerranéen tout entier. Au niveau régional, l'irrigation représente environ 73% des demandes en eau, tandis que dans les pays du Sud ce pourcentage est plus élevé, atteignant quelques 80%. La demande en eau est différente d'un pays à l'autre, en fonction des conditions locales, du climat et des techniques d'irrigation. Les volumes d'eau utilisées pour l'irrigation varient entre 2000 et 20000 m<sup>3</sup>/ha/an selon les techniques d'irrigation appliquées et les cultures. Actuellement, la plus grande consommation d'eau d'irrigation est en Libye, où elle atteint 90% de la totalité de l'eau utilisée. Au Nord de la région, l'irrigation est saisonnière selon la saison (principalement en été), en fonction du régime pluvial, tandis qu'au Sud, l'irrigation est pratiquée sans interruption pendant toute l'année, car les précipitations sont rares et insuffisantes. Cependant, même au Sud de la Méditerranée, l'intensité de l'irrigation varie d'un mois à l'autre à cause des conditions climatiques locales (évapotranspiration). En général, les plus grands volumes d'eau d'irrigation sont utilisés vers la fin du printemps et en été quand les apports d'eau naturels (précipitations) sont les plus faibles. Le déséquilibre entre l'approvisionnement et la demande est donc très prononcé, conduisant inévitablement à des restrictions dans l'utilisation des ressources naturelles qui, de ce fait, entraînent des conflits d'usages, surtout avec le tourisme dont les demandes sont les plus grandes en période estivale.

Ce déséquilibre entre l'approvisionnement et la demande a des conséquences diverses telles que:

- un prix de l'eau plus élevé (coûts d'approvisionnement), entraînant une augmentation du prix de l'alimentation;
- des effets environnementaux négatifs (l'exploitation et la pollution des ressources en eau sont les plus grandes durant la période où celles-ci sont les plus vulnérables); et
- conflits d'usages ayant principalement pour conséquence la réduction des quantités disponibles pour l'irrigation, la priorité étant donnée à l'approvisionnement domestique.

Dans le but de réduire les effets négatifs, les mesures suivantes devraient être prises:

- Une attention plus importante devrait être accordée à la planification intégrée de l'eau et de l'utilisation du sol dans les bassins fluviaux et les aquifères côtiers, en insistant sur l'évaluation sociale et environnementale des impacts, ainsi que sur la nécessité d'une coordination interdisciplinaire.
- Une participation active des utilisateurs locaux dans la planification, la mise en œuvre et le fonctionnement des systèmes d'irrigation est indispensable.
- Une haute priorité serait accordée aux incitations économiques en matière de gestion des eaux. Il est nécessaire de réexaminer les politiques de subventions pratiquées, d'encourager le développement des cultures économes en eau et de généraliser les biofertilisants, ainsi que les engrais organiques en agriculture.
- Dans le but de réduire l'évaporation et les gaspillages d'eau, l'efficacité des différentes techniques et méthodes d'irrigation et l'opportunité de leur utilisation doivent être évaluées en fonction des conditions locales.
- L'utilisation de ressources en eau limitées pour une irrigation à grande échelle nécessite une planification globale et à long terme de la gestion.
- Il y a un besoin urgent d'éduquer les professionnels et les utilisateurs de l'eau à tous les niveaux, dans l'intention de leur inculquer la nécessité d'organiser professionnellement les actions d'intégration à entreprendre.

**Tableau 3.3: Demandes en eau sectorielles (Blue Plan, 1996)**

	Demandes en eau totales (km <sup>3</sup> /an)	Approvisionnement publics	Agriculture	Industries à approvisionnement autonome	Energie (réfroidissement)
Ensemble de la région méditerranéenne (20%)	276	13	64	10	13
Nord (km <sup>3</sup> /an)	150	14	49	43	24
Est (km <sup>3</sup> /an)	45	15.9	75	9	0.5
Sud (km <sup>3</sup> /an)	81	9	85	6	0

### **3.2.3.3 Conflits d'usages**

Dans la région méditerranéenne, sont utilisés chaque année environ 276 km<sup>3</sup> d'eau dont 150 km<sup>3</sup> dans le Nord, 45 km<sup>3</sup> dans l'Est et 81 km<sup>3</sup> dans le Sud (Tableau 3.3). La consommation varie considérablement d'un pays à l'autre selon le niveau du développement et le nombre d'habitants.

Dans les zones côtières, on utilise l'eau à différentes fins. En Méditerranée, les plus importants utilisateurs sont: l'agriculture (environ 64%), l'approvisionnement domestique (environ 13%), l'énergie (environ 13%) et les industries à approvisionnement autonome (environ 10%) (Plan Bleu, 1996). Cette consommation varie d'un pays à l'autre, et la situation dans les différentes parties de la Méditerranée est présentée dans le Tableau 3.3. Il est évident que l'irrigation joue un rôle dominant dans l'ensemble de la région, la plus grande consommation étant dans le Sud (environ 80%). Les autres secteurs de consommation sont beaucoup plus petits, de 3 à 8 fois moindre que l'agriculture. Les secteurs tels la récréation, l'environnement, etc. ont une importance dans le Nord principalement.

La consommation sectorielle d'eau varie au cours de l'année, de sorte que les besoins sont considérablement différents selon les saisons, se traduisant par des variations saisonnières dans l'intensité des conflits sectoriels. Prenant en considération le climat et les activités (tourisme et agriculture) mises en œuvre dans cette région, les besoins sont plus évidents en été, entraînant les conflits les plus graves, car durant cette période la capacité des ressources est la plus faible.

Une telle situation a déjà provoqué de sérieux conflits entre principaux utilisateurs, urbains et agricoles surtout. Le conflit entre les besoins écologiques et l'utilisation de l'eau gagne rapidement en importance. L'intensité des conflits est plus forte là où le potentiel des ressources en eau naturelles est plus faible, de sorte que les conflits les plus flagrants affectent les rivages méridionaux. Les conflits se manifestent par rapport aux quantités d'eau disponibles, à leur qualité et aux conditions économiques de l'approvisionnement. Le conflit relatif aux quantités d'eau concerne la concurrence vis à vis de la répartition des ressources en eau rares. Le conflit relatif à la qualité des eaux concerne la rivalité pour la répartition de l'eau de qualité adéquate entre différentes utilisations (coûts d'épuration des eaux plus faibles), de même qu'entre les utilisations pour l'approvisionnement et les utilisations des ressources en eau comme réceptacle des eaux usées. Le conflit relatif aux conditions économiques concerne tant les coûts de l'approvisionnement en eau, c'est à dire de l'exploitation plus ou moins favorables des ressources en eau que les conditions commerciales, c'est à dire le montant des subventions allouées pour les diverses utilisations de l'eau.

On estime donc qu'à l'avenir, les conflits iront en s'aggravant encore. Avec la croissance démographique, surtout au Sud, les demandes en eau augmenteront considérablement, pour l'approvisionnement urbain en premier lieu et, dans une certaine mesure, pour les utilisations industrielles. En même temps, les besoins alimentaires croissants se traduiront en demandes accrues pour l'irrigation, suscitant des conflits plus prononcés et plus sérieux entre les divers secteurs d'utilisation de l'eau, avec d'inévitables conséquences économiques et environnementales. Dans tout les cas, on peut estimer que la priorité sera accordée à l'approvisionnement en eau domestique, tandis que l'utilisation des ressources en eau naturelles pour l'irrigation sera considérablement réduite. L'utilisation de l'eau de seconde classe pour l'irrigation progressera donc, celle des eaux usées traitées en particulier. Pour atténuer les tensions prévisibles, chaque pays se doit de fixer les priorités d'utilisation des ressources en eau disponibles par les différents secteurs d'utilisation.

Une des mesures essentielles indispensables à la solution des problèmes et conflits actuels et futurs est la préparation et la mise en œuvre efficace de plans intégrés de gestion des ressources en eau cohérents avec les besoins du développement durable. Il sera nécessaire de prendre en considération en priorité les transferts inter-bassins, l'utilisation des ressources en eau non conventionnelles et l'échange international en matière d'eau.

### **3.3 Ressources en eau côtières comme élément d'un système global régional**

#### **3.3.1 Politique de l'eau globale, régionale ou nationale**

Le système régional ou national de gestion des eaux est le cadre de différentes prises de décisions en matière d'eau. La politique régionale ou nationale établit les principes qui orientent ces décisions vers les objectifs nationaux à atteindre.

Une des fonctions fondamentales de la politique est l'établissement des objectifs qui justifient le programme de gestion des eaux. Ces objectifs doivent ensuite être réalisés à travers un ensemble de principes qui guident de façon plus spécifique les activités particulières de gestion des eaux. Ces objectifs et principes définissent globalement le rôle de l'eau dans le développement socio-économique et peuvent aider à répondre à de nombreux conflits potentiels pouvant surgir dans le processus de prise de décisions. Dans le cas idéal, l'élaboration d'une politique formelle en matière d'eau devrait s'articuler sur la politique de développement socio-économique général. La gestion des ressources en eau n'est qu'une composante du développement d'ensemble et devrait être intégrée dans une politique plus large pour assurer cohérence et coordination parmi les différentes composantes du développement. En réalité, toutefois, il n'existe pas de formulation universelle de la politique de développement, du fait qu'elle évolue sans cesse et ne peut être figée sous une forme achevée. La politique de l'eau sera de même incomplète et assujettie à une évolution permanente.

Les ressources en eau côtières sont un élément de l'ensemble du système régional et comme telles, elles devraient s'insérer dans la politique régionale de gestion des eaux. La portée et l'importance que cet élément a dans la politique générale dépend de son degré de développement et de son importance pour l'économie nationale. Dans certains pays, il contrôle la politique globale, en ce sens que les eaux continentales sont mobilisées vers la côte, du fait de sa plus grande densité de population ou à cause du rôle dominant qu'elle joue dans la production des revenus agricoles ou touristiques.

Les demandes en eau sont concentrées dans les zones côtières où se trouve la plus grande partie de la population urbaine (135 millions d'habitants, c'est à dire que 37% de la population méditerranéenne vit dans les zones côtières, qui représente 10% de la surface des pays). Dans les zones côtières se trouvent aussi la plupart des activités industrielles et touristiques, ainsi qu'une grande partie des surfaces irriguées. Ce phénomène détourne au bénéfice de la côte une part considérable des ressources nationales, en augmentant les quantités déversées en mer. Les principaux effets de cette situation sont:

- les volumes d'eaux usées qui reviennent au milieu naturel après usage sont réduits, diminuant ainsi la dégradation de la qualité des eaux continentales;
- 80% des eaux utilisées dans les zones côtières urbaines retournent généralement à la mer et en partie aux aquifères côtiers (20% sont consommés);
- dans de telles conditions, l'eau utilisée dans les zones côtières urbaines représente pour elles une perte en ressources d'eau douce, ou, si elle est réutilisée, elle constitue une ressource de seconde classe;
- les quantités de polluants rejetés en mer côtière ont augmenté, menaçant ainsi la qualité des eaux marines littorales et de leurs écosystèmes (pollution d'origine tellurique);
- les fuites d'eaux usées à partir des égouts et des systèmes locaux d'assainissement amplifient la pollution des aquifères côtiers, réduisant ainsi les possibilités de leur utilisation.

### **3.3.2 Questions de base de la politique de l'eau**

#### ***Définition des objectifs de la gestion des eaux***

L'objectif final de la gestion des ressources en eau est d'atteindre le plus haut niveau de bien être social. La croissance économique, croissance de la production des biens et services par des activités liées à l'eau est une façon d'y parvenir.

L'insuffisance de cet indicateur du bien être pourrait être surmontée si la qualité de l'environnement, l'amélioration des conditions de vie et d'autres objectifs sont incorporés. De ce fait, une approche multiobjectifs peut être plus appropriée à la de gestion des eaux, alors que dans les cas où des besoins particuliers sont impératifs, des objectifs de gestion plus spécifiques pourraient remplacer les objectifs de croissance économique.

#### ***Définition des priorités de la gestion des eaux***

La résolution des conflits est un aspect nécessaire de la gestion des ressources en eau, la fonction essentielle d'une politique de l'eau étant d'établir les priorités pour orienter les décisions. Nombre de conflits peuvent se produire parmi les multiples objectifs poursuivis (croissance économique/protection de l'environnement, développement/préservation, utilisations de l'eau/ secteurs d'utilisation).

Des conflits d'eau pourraient se produire entre zones urbaines et rurales et entre régions (zones côtières contre arrière-pays) ou même entre localités à l'intérieur des zones côtières. La résolution de tels conflits implique des politiques dépassant les seules considérations de gestion des eaux, illustrant les rapports de la politique de l'eau avec la politique globale de développement socio-économique aux niveaux national ou régional.

#### ***Promotion de la gestion intégrée***

L'ouverture de larges perspectives dans tous les domaines participant à la prise de décisions matérialise le concept central de gestion intégrée des eaux, tel qu'utilisé dans ce document. Une telle approche est essentielle pour le système d'eau régional ou global mais aussi et dans une plus grande mesure pour les zones spécifiques avec toutes leurs particularités, et pour l'environnement vulnérable des zones côtières.

#### ***Participation du grand public***

L'efficacité de la participation du grand public à la gestion des eaux est due à la dimension sociale de la cette dernière, et à l'importance de cette participation. La concrétisation des objectifs de la gestion des eaux (développement ou conservation) requiert une intégration des techniques de gestion dans les pratiques quotidiennes déterminées par le contexte socioculturel. Le fait que les gestionnaires de l'eau négligent d'examiner ce contexte de manière précise se traduit par des résultats, fréquemment décevants. La participation de ceux qui sont concernés par la mise en œuvre et qui en seront responsables constitue l'approche la plus directe pour impliquer le public dans la prise de décisions.

### **3.3.3 Ressources en eau côtières comme élément d'un système régional global**

En général, les ressources en eau le long des zones côtières méditerranéennes sont à peine suffisantes pour le développement intensif existant, accompagné d'une forte urbanisation, d'une production agricole, et d'une industrie touristique en expansion. Dans la majorité des zones, les problèmes d'eau résultent de l'exploitation intensive de toutes les ressources. La mobilisation des ressources en eau de l'arrière pays pour faire face aux demandes croissantes est la règle. En ce sens, les ressources en eau côtières sont le réceptacle du système régional tout entier plutôt qu'une ressource complémentaire, bien qu'elles jouent encore un rôle majeur dans la satisfaction des demandes en eau locales, là surtout où les plans de conservation et de gestion efficace des eaux ont été mis en œuvre.

L'importance et le rôle des zones côtières dans l'économie nationale des pays méditerranéens exigent une part d'efforts pour soutenir leur croissance en cours. De la sorte, en pratique, les plans régionaux et nationaux de gestion des eaux sont largement conçus pour régler les problèmes d'eau, et les insuffisances se présentent en termes de ressources en eau côtières limitées.

Les demandes croissantes dans les zones côtières et les capacités de la technologie avancée ont aidé à élargir le concept de développement des ressources en eau. Dans le passé, ce concept a été relativement limité à des projets centrés sur les activités particulières d'utilisation d'eau (approvisionnement domestique et/ou irrigation). Un pas majeur vers une approche globale a été l'adoption de la stratégie de développement multi-objectifs traitant de manière coordonnée plusieurs demandes en matière de gestion des eaux, en construisant de grands barrages par exemple. Ces projets d'envergure qui modifient le régime naturel de l'eau, ont créé des effets négatifs potentiels sur les autres ressources et des impacts sur l'environnement. Cela a conduit à la nécessité d'évaluer ces projets d'envergure qui offrent la possibilité d'un renforcement substantiel des bénéfices par rapport aux autres considérations plus importantes et quelque peu contradictoires.

L'approche intégrée du développement a conduit à la gestion coordonnée des ressources en eau dans le contexte du bassin entier ou de l'ensemble de la zone côtière. Cette approche permet l'examen des interactions physiques dans le cadre de systèmes hydrologiques, comprenant des projets hydrauliques individuels comme éléments d'un projet global. Le fait de mettre l'accent sur le développement des ressources en eau à l'échelle de l'ensemble du bassin ou de la zones côtière sélectionnée, attire l'attention sur la région dans sa totalité comme unité physiographique de planification et de gestion des eaux. L'approche intégrée du développement en matière d'eau est liée à l'opinion que le développement des ressources en eau constitue une composante centrale du développement régional global. De ce point de vue, les bénéfices du développement des ressources en eau dépassent la simple sommation des résultats des projets individuels. Ils englobent une combinaison synergique d'effets directs et indirects de projets d'importance majeure dans la réalisation du potentiel économique de la zone en question. Les systèmes de ressources d'eau peuvent donc être considérés comme un élément inséparable de la totalité du système régional.

### **3.3.4 Eléments-clés de la politique de l'eau dans les zones côtières méditerranéennes**

Les éléments-clés dans la politique et la gestion des ressources en eau consistent à :

- prévoir et préparer la gestion des eaux durant la période de sécheresse;
- prévoir un stockage interannuel dans les réservoirs de surface et souterrains;
- faire face aux fluctuations saisonnières de la demande causées par des afflux touristiques durant la période estivale;
- planifier la réutilisation des eaux usées pour l'irrigation;
- organiser le transfert d'eau entre bassins "excédentaires" et bassins "déficitaires";
- conserver les ressources en eau et protéger les aquifères côtiers de l'intrusion marine;
- assurer la distribution et le rationnement des eaux durant les périodes critiques;
- protéger la mer côtière contre la pollution;
- encourager les campagnes de sensibilisation du grand public pour faciliter la gestion et le contrôle de la demande;
- développer les ressources en eau sur la base d'une planification efficace au regard de la demande prévisible, touristique en particulier, et ajuster les politiques de tourisme aux volumes d'eau disponibles;
- limiter la distribution irrationnelle des ressources côtières pour les besoins du tourisme là où l'épuisement de ces ressources physiques s'est révélé trop rapide, (ressources en sol, et surtout ressources en eau). Cela crée des problèmes environnementaux et une sérieuse pression tant sur les ressources en eau des zones côtières que, graduellement, sur les ressources en eau de l'arrière pays auxquelles on a recours pour alimenter les zones côtières; et
- intégrer la gestion, l'utilisation et le développement des ressources en eau avec les plans analogues qui concernent les autres ressources et s'occuper de l'environnement menacé d'une utilisation intensive des zones côtières.



## **4. ASPECTS DE DEVELOPPEMENT, DE GESTION ET D'UTILISATION DES RESSOURCES EN EAU COTIERES**

### **4.1 Processus de planification et relations interdisciplinaires dans le cadre de l'approche intégrée d'étude des ressources en eau côtières**

#### **4.1.1 Approche interdisciplinaire de la planification**

La raréfaction des ressources en eau douce peut constituer un obstacle sérieux au développement économique, à la qualité de la vie et au bien-être en général. Le développement durable exige une approche interdisciplinaire de la gestion des ressources en eau. L'approche intégrée de la planification qui reconnaît la nature multisectorielle de la gestion des ressources en eau à long terme est vraiment un outil propre à satisfaire les besoins immédiats de la société dans le cadre de ses objectifs globaux. Elle confère une vision holistique à la planification des ressources en eau dans le cadre d'une prospective économique et sociale au niveau national.

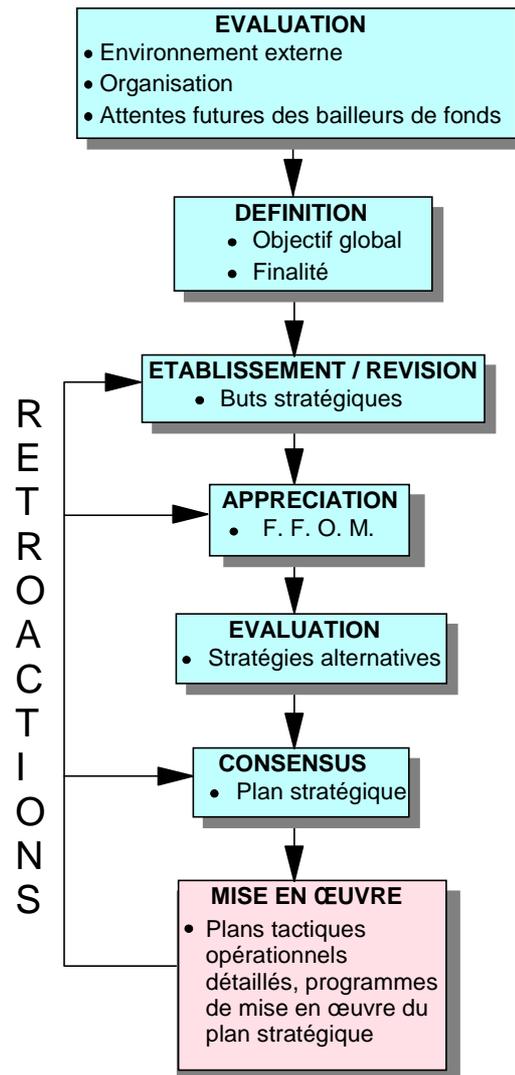
L'approche intégrée de la planification des ressources en eau est une tentative formelle systématique de réconcilier les demandes en concurrence des différents décideurs et bailleurs de fonds. Elle mobilise et emploie les différentes disciplines des sciences naturelles, techniques et sociales, pour développer les ressources en eau dans le contexte de plans et programmes nationaux, visant à satisfaire les exigences présentes, sans pour autant négliger les obligations envers les générations futures. Cela implique coopération et coordination importantes entre les différents secteurs intervenant dans le contexte réel des relations sociales, économiques, politiques et environnementales.

#### **4.1.2 Processus de planification**

La planification intégrée des ressources en eau cherche à prévoir, analyser et prendre des décisions sur des problèmes et questions d'importance vitale dans le domaine de l'eau ayant des implications à long terme, bien au-delà du siècle actuel. C'est un processus de prise de décisions "qu'est-ce qu'il y a lieu de faire aujourd'hui" et "comment le faire", pour répondre aux enjeux du futur en s'appuyant sur la meilleure information possible. La planification intégrée n'est pas une finalité en soi; elle sert plutôt à définir les directives nécessaires pour la prise de décisions et les actions conduisant aux objectifs fixés. C'est un processus permanent de collecte, d'organisation, d'interprétation et de transfert de données visant à améliorer les pratiques courantes de prise de décisions en s'appuyant sur les prévisions pour l'avenir.

L'influence critique de la planification intégrée sur la gestion des ressources en eau n'est pas tant dans son approche prospective, que dans le fait qu'elle englobe différents problèmes compliqués et implique une multitude de décisions à prendre. La complexité et la diversité des problèmes dans la gestion des ressources en eau soulignent le besoin absolu d'une meilleure communication et d'une formulation plus précise de la politique à suivre, pour assurer la direction et les orientations nécessaires.

La planification intégrée des ressources en eau est une planification stratégique réalisable. La planification stratégique fixe un objectif global et une direction qui imposent une orientation unifiée à toutes les activités opérationnelles, pour réaliser des objectifs à moyen et à long terme avec le consensus des bailleurs de fonds. La planification opérationnelle est concernée par la formulation de politiques, programmes, et procédures techniques détaillés, indispensables à la réalisation du plan stratégique.



**Figure 4.1: Vue d'ensemble du processus de planification**

La planification intégrée des ressources en eau peut être considérée comme un processus de planification “de haut en bas”. Elle implique des phases interdépendantes pour déterminer les objectifs, les hypothèses (points forts et points faibles), les alternatives et le choix final d'une série adéquate d'actions à mettre en œuvre (se référer à la Figure 4.1).

Pour appliquer ce processus, les activités suivantes devraient être mises en œuvre:

- L'évaluation des objectifs à long terme du pays doit être établie et les priorités définies. Les contraintes économiques, environnementales, politiques et sociales doivent être clairement identifiées à ce stade, et l'impact sur les ressources en eau connu. La définition des objectifs est une tâche ardue de la planification stratégique, du fait surtout qu'il est toujours difficile pour les bailleurs de fonds de concilier idéaux et buts opérationnels utiles. Toute tentative de planification intégrée doit s'assurer de l'existence d'un accord sur objectifs entre opérateurs et bailleurs de fonds.
- Une approche stratégique nécessite une appréciation globale des points forts, des points faibles, des opportunités et des menaces (FFOM), ainsi que des changements et des impacts possibles dans les domaines économiques, politiques, technologiques et environnementaux. Elle doit comprendre les éléments essentiels et décisifs. Après avoir fait le point de la situation, les opérateurs pourraient mieux comprendre les contraintes actuelles et futures. Cela leur permettra une plus grande efficacité dans l'organisation des travaux, augmentant les chances d'une mise en œuvre efficace. Une telle approche systémique projette le processus entier comme un tout cohérent et propose des actions concertées pour atteindre les objectifs fixés.

- Viennent ensuite les études d'évaluation offrant des alternatives pour des analyses ultérieures. Planifier, c'est avant tout choisir – choisir les alternatives. L'intention est des choisir des alternatives stratégiques fiables. Faire appel à différentes disciplines et autres considérations pour les nombreuses utilisations des ressources en eau est essentiel. Les planificateurs sont tenus de s'assurer que toutes les alternatives possibles ont été examinées minutieusement et que le choix final est celui qui s'insère dans le contexte socio-économique national, et qui répond aux exigences de la durabilité.
- On devra se mettre d'accord sur le choix final. Les simulations des effets/impacts des stratégies alternatives pourraient aider à parvenir à un consensus.
- Le consensus obtenu et le plan stratégique choisi, le processus de planification entre dans la phase de réalisation. On définit des programmes détaillés, qui prennent en considération les questions plus générales, soulignées dans l'approche intégrée de formulation de la stratégie.
- Les plans tactiques et opérationnels mis en œuvre
- doivent être suivis et évalués pour vérifier s'ils ont atteint les objectifs fixés. Le plan stratégique doit être régulièrement actualisé par de fréquents retours en arrière. De telles rétroactions fournissent les informations nécessaires pour étalonner et vérifier la conformité des modèles de simulation avec les observations sur le terrain afin de prévoir le mieux possible les performances du projet.

La planification de la mise en œuvre implique dans une certaine mesure la difficulté de mettre en cohérence les plans à long et à court terme. Il est donc nécessaire d'élaborer des plans intermédiaires tout au long du processus. Un certain degré de flexibilité est nécessaire dans la planification pour s'adapter à un avenir incertain, échappant souvent au contrôle humain. La flexibilité doit cependant être appréciée en termes de coûts de retard/bénéfices de l'engagement.

#### 4.1.3 Gestion opérationnelle

Du point de vue opérationnel, la planification de la mise en œuvre peut être considérée comme la définition de programmes d'action en matière de conversion des ressources en résultats escomptés. La planification tactique consisterait à identifier les demandes en ressource, à déterminer la conception du processus de conversion et à prévoir les problèmes liés au fonctionnement des systèmes et au service. Une fois la conversion commencée, la planification doit concerner les fonctions d'organisation et de contrôle qui sont à la base du processus de gestion intégrée des ressources en eau. Ce concept est illustré dans la Figure 4.2.

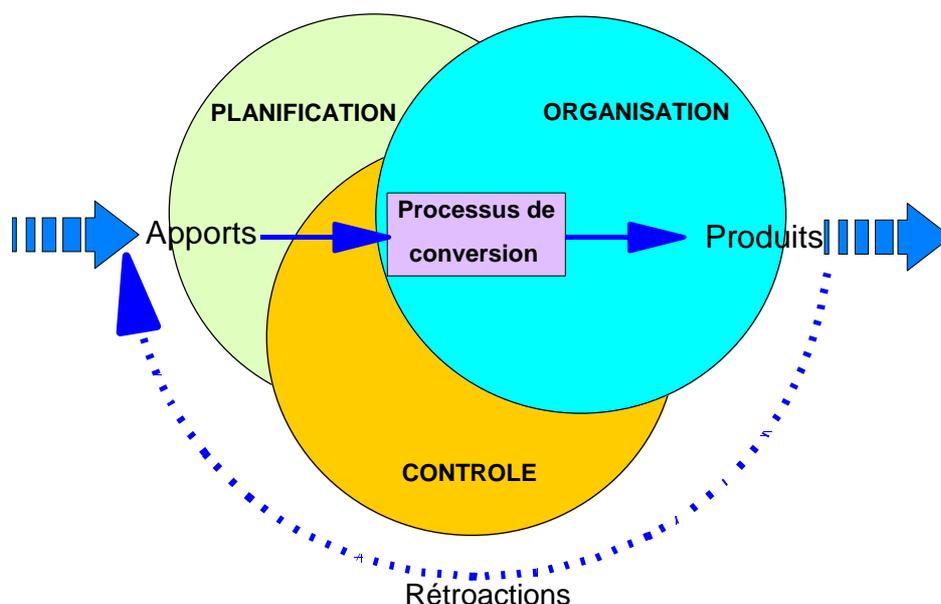


Figure 4.2: Planification de la mise en œuvre en termes d'opérations de gestion

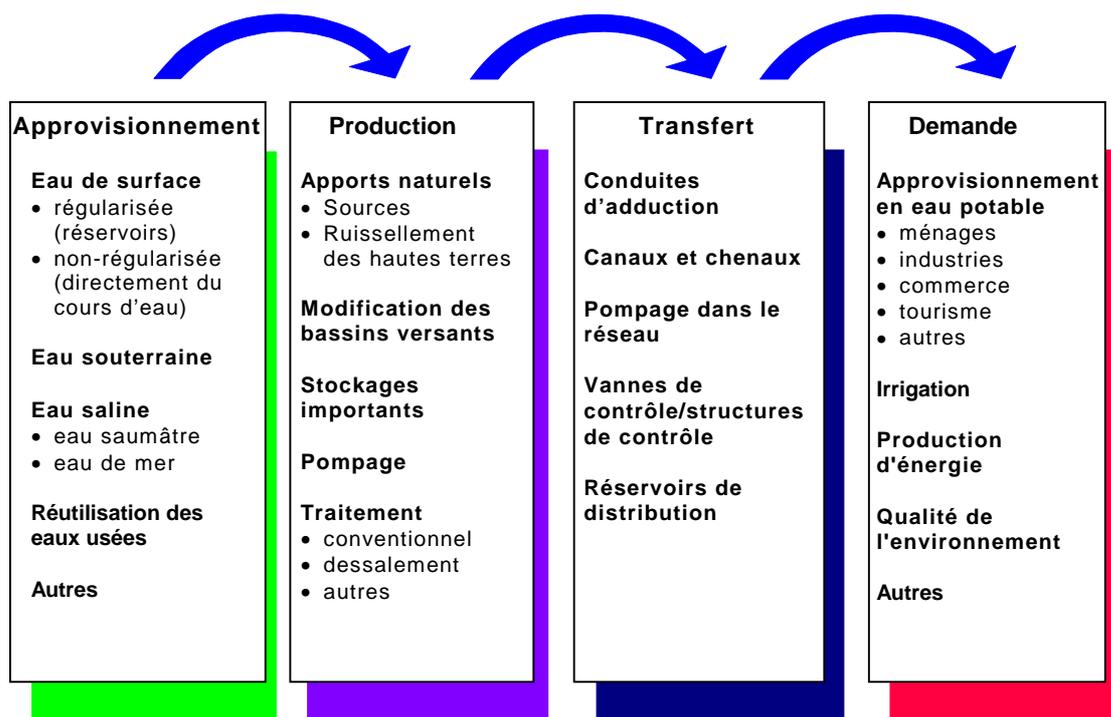


Figure 4.3: Chaîne du "service de l'eau"

#### 4.1.4 Systèmes de planification des ressources en eau

Dans la planification des systèmes de ressources en eau, un certain nombre de questions doivent être abordées de manière adéquate, parmi lesquelles:

- le champ de la planification des ressources en eau;
- les besoins en données et en informations; et
- les systèmes de prise de décisions.

##### Le champ de la planification des ressources en eau

L'eau peut être considérée comme le produit d'une chaîne de livraison d'eau analogue à celle de beaucoup d'autres biens et services fournis à la collectivité (Figure 4.3). L'eau provient d'un certain nombre de sources (les eaux usées ont un certain nombre de destinations), à différentes utilisations, techniques de production et différents types de systèmes de distribution pour délivrer le produit au consommateur. La planification des systèmes de ressources en eau tient compte de tous ces éléments de la "chaîne de livraison". Pour une planification intégrée, le planificateur doit prendre en considération toutes les sources, tous les utilisateurs, tous les systèmes de production et de transfert appropriés. La planification intégrée tâche de satisfaire les besoins des différents utilisateurs dans le contexte des contraintes des ressources disponibles, utilisant les systèmes de production et de transfert les plus rentables et les plus acceptables socialement.

##### Les besoins en données et en informations

La planification dépend entièrement des données et des informations actuellement disponibles. Ces données se présentent sous diverses formes, couvrent une grande partie des questions liées aux ressources en eau. Elles sont toujours incomplètes, quantitativement et/ou qualitativement.

La Figure 4.4 illustre les principales catégories de données concernant la gestion d'une entreprise d'eau. Le diagramme cherche à montrer qu'il existe un flux de données d'une partie à l'autre du système d'eau. Chacune de ces parties du cycle a son propre processus.

Elles peuvent être conventionnellement partagées en deux catégories: les données internes, issues du fonctionnement de l'entreprise d'eau et les données externes, qui influent sur son fonctionnement.

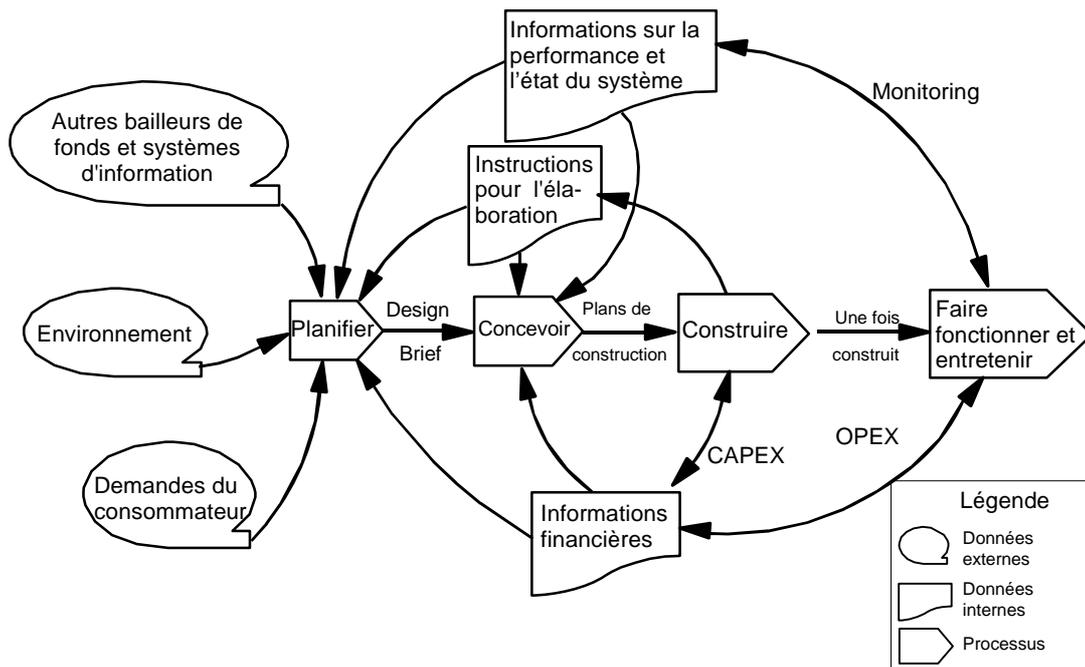


Figure 4.4: “Les échanges de données”

### Données internes

Ces données décrivent l'entreprise d'eau, son système, sa situation financière, y compris sa performance et son état général.

- Les détails sur le système concernent les registres de l'entreprise. Ce sont les plans et les dossiers sur les conduites d'adduction, réservoirs, les installations de traitement, les stations de pompage, etc. Ce sont des documents écrits sur papier ou stockés sous forme numérique comme dans un SIG. Les informations qui concernent la planification ont trait au dimensionnement, à la caractérisation physique et aux liens qui les relient.
- Les informations financières font partie de la réalité économique de l'entreprise. Elles fournissent les informations sur les coûts des systèmes existants et proposés et définissent les paramètres (budgets, contraintes financières, etc.) à prendre en considération.
- La performance et les données sur l'état général disent si l'entreprise d'eau a concrétisé les buts à atteindre dans le cadre de son organisation. Ces buts englobent un grand nombre d'aspects (normes de service, objectifs commerciaux et aspirations aux “meilleures pratiques”). Pour planifier, les informations qui concernent la performance doivent comprendre les données sur le rendement hydraulique, la qualité de l'eau, l'utilisation de l'énergie, les acquis structurels, etc. Elles seront stockées dans des bases de données, tels les systèmes SCADA, les systèmes de gestion de la maintenance et les bases de données sur le service du consommateur. Les données d'état fournissent des informations sur l'état du système et ses performances. Les bases de données peuvent porter sur les plaintes en matière de qualité de l'eau, les programmes de contrôle des égouts et la surveillance structurelle des réseaux souterrains.

### Données externes

Elles décrivent les demandes que les consommateurs et les bailleurs de fonds exigent de l'entreprise d'eau. Elles sont classées en exigences des consommateurs, en données environnementales et en exigences des bailleurs de fonds et des systèmes d'information.

- Les exigences du consommateur englobent les informations sur la démographie, les données sur l'utilisation de l'eau, les demandes de l'industrie, les données agricoles (cultures et élevage), les informations sur la tarification de l'eau, les études de marché sur la perception du consommateur et ses souhaits. Ces données cherchent à définir les demandes en eau de l'entreprise mais aussi à examiner des questions délicates, telles que la bonne disposition à payer, les possibilités de conservation de l'eau ou de réduction des demandes et les questions

ayant trait à la façon dont la collectivité perçoit l'entreprise d'eau en termes de menaces ou de potentialités.

- Les données environnementales comprennent les informations sur les systèmes naturels (climat, hydrologie, géologie, écologie) mais aussi sur l'environnement "humain". Les systèmes naturels englobent les données sur les eaux pluviales, les débits, les niveaux d'eau souterraine, la porosité des sols et les taux d'infiltration, la biodiversité, les habitats naturels, etc. Beaucoup de ces données ont une dimension temporelle (les débits par exemple) afin que l'évaluation des variations saisonnières, les conditions extrêmes (sécheresse), les indicateurs de durabilité soient assurés pour le processus de planification. L'environnement "humain" comprend des informations, telles que les contraintes en matière de planification urbaine, la disponibilité des autres services (électricité par exemple), l'utilisation d'équipements autres qu'hydrauliques (état des routes et leur utilisation), etc. L'aspect environnemental des données est essentiel pour la planification intégrée des ressources en eau, ainsi bien que pour l'intégration des ressources en eau dans les systèmes plus larges que sont les systèmes naturels et sociaux de la collectivité.
- Les informations sur les autres bailleurs de fonds et systèmes concernent moins des faits et des chiffres que des opinions et des préférences exprimées par d'autres parties intéressées par la gestion des ressources en eau. Elles devraient comprendre des thèmes, tels que la situation politique actuelle, la disponibilité d'experts/spécialistes, la praticabilité de certaines technologies dans le pays, et l'impact de l'économie internationale. Ces informations sont évidemment très subjectives; elles doivent toutefois être prises en considération dans la planification intégrée.

### Systèmes de prise de décisions

la planification conduit à des décisions inspirées par la politique et les objectifs. La finalité de la prise de décisions est donc d'orienter les comportements humains vers des buts à atteindre. La prise de décisions consiste à diagnostiquer tous les faits, à les évaluer, à développer des alternatives, à travailler à la mise en exécution de ces décisions.

La Figure 4.5 décrit le processus mettant l'accent sur le fait que les décisions font partie d'une série permanente d'ajustements et d'actions en réponse aux changements inévitables de l'environnement, aux différents problèmes de perception, aux nouvelles informations mises à disposition ou à d'autres facteurs qui deviennent pertinents.

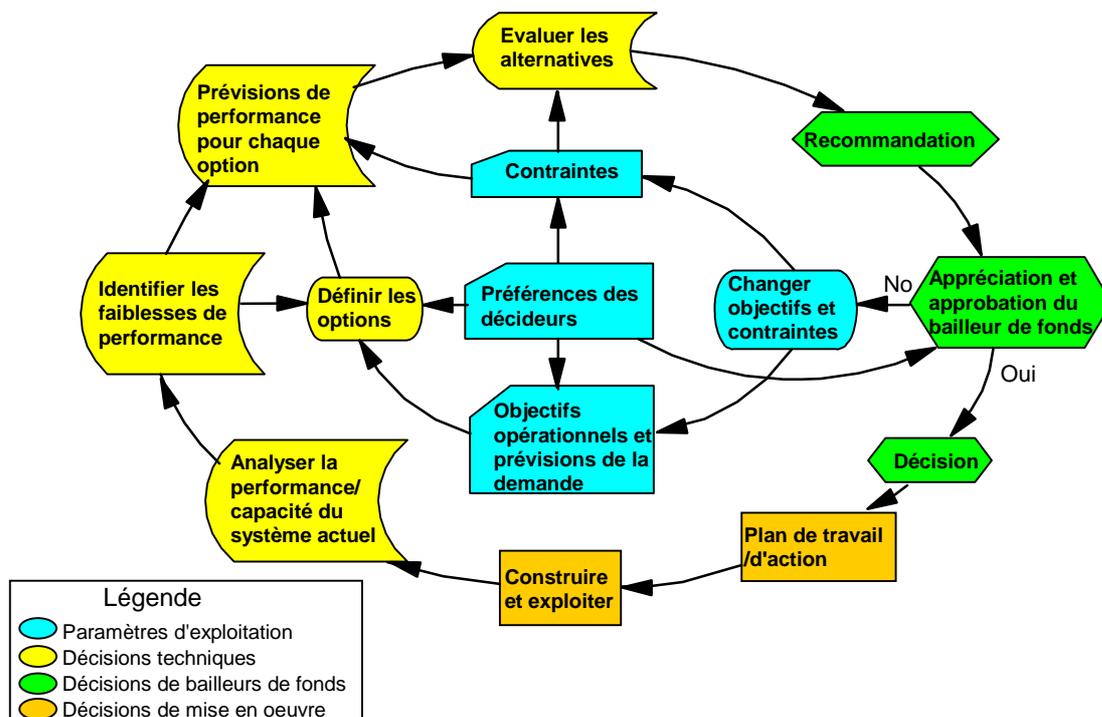


Figure 4.5: Le cycle décisionnel

Les questions types posées dans le processus de prise de décisions sont:

- Où sont les problèmes?
- Quand ces problèmes se produiront-ils?
- Quelle est la cause de ces problèmes?
- Quelles sont les mesures de redressement?
- Dans qu'elle mesure seront-elles efficaces?
- Quelle est la meilleure mesure / la meilleure façon de faire?

Les décisions s'expriment en termes stratégiques, tactiques et opérationnels. Certaines techniques peuvent être utilisées pour aider à la prise de décisions.

Les prises de décisions concernent:

- les essais sur le terrain (pour éclaircir/déterminer les performances du système);
- les tableaux simples (par exemple, pour examiner les bilans de masse, estimer le prix de revient, etc.);
- l'examen des données et enquêtes (par exemple, rapports exceptionnels);
- les programmes spécialisés (par exemple, logiciel de gestion, outils statistiques);
- les modèles de simulation (par exemple, modèles hydrogéologiques, analyse des réseaux de distribution, etc.);
- les modèles économiques (pour les évaluations financières);
- les modèles multi-critères de prise de décisions; (techniques de recherche opérationnelle);
- les modèles commerciaux (par exemple pour la planification financière).

La prise de décisions sera toujours entravée par un certain nombre de facteurs non quantifiables et par la méconnaissance du problème.

Les planificateurs habiles et imaginatifs utilisent les données disponibles, posent les questions pertinentes et mettent en œuvre les techniques appropriées d'aide à la décision dans différents domaines. Ce travail permettra de recommander une dynamique d'action aux décideurs finaux pour ratification ou révision.

## **4.2 Cadre légal, économique et législatif**

Pour atteindre ses objectifs, la gestion intégrée des ressources en eau assure un cadre légal, institutionnel et organisationnel approprié et efficace. Tant que les conditions économiques, sociales, culturelles et politiques diffèrent d'un pays à l'autre, il n'y aura pas de solution spécifique ou universelle. La diversité des facteurs fait que toute situation est unique, de sorte que les outils de mise en œuvre (légaux, monétaires, techniques, d'éducation et d'entreprise) qui négligent ces considérations, ne pourront guère concrétiser les résultats escomptés. Cela ne veut pas toutefois dire qu'il n'existe pas de base ou de questions communes pouvant aider les planificateurs à organiser plus efficacement les phases futures de l'action en profitant de l'expérience des autres.

Une des préoccupations communes concerne les droits de propriété et de location. Cela va de la propriété privée de la terre à l'utilisation libérale des ressources en respectant les restrictions générales de la propriété publique, avec utilisation contrôlée assujettie à la réglementation gouvernementale, aux droits de "propriété commune" de la terre, avec droit coutumier ou traditionnel d'utiliser les ressources renouvelables. Dans la plupart des cas, les arrangements institutionnels en matière d'utilisation de la terre sont une combinaison de toutes ces possibilités.

Les pays méditerranéens évoluent progressivement vers un contrôle gouvernemental plus strict à travers la propriété publique des ressources – une condition qui limite et remplace les droits de propriété par les droits d'usage. Malheureusement, dans quelques pays, les statuts de propriété privée entravent le contrôle global et direct des ressources en eau par l'administration centrale. Cela justifie une révision urgente de la réglementation afin d'assurer une distribution équitable des ressources naturelles. Le point crucial est ensuite l'adaptation d'arrangements institutionnels spécifiques à cette fin et leur adoption.

## 4.2.1 Législation

### Législation nationale

Bien que la législation soit différente d'un pays à l'autre, les caractéristiques communes peuvent être identifiées dans les lois sur l'eau des différents pays.

La majorité des pays règlent les questions d'approvisionnement en eau par une loi générale sur l'eau, qui assure un appui légal à l'administration centrale et à ses agences. Ces lois concernent l'exploitation, la protection et l'utilisation des eaux de surface et souterraines. Dans la plupart des pays, la législation en matière d'eau s'appuie sur la gestion intégrée des bassins versants, les droits de propriété étant graduellement transformés en permis d'utilisation. Dans le passé, la tendance était à la propriété privée de l'eau: les eaux de surface appartenaient aux propriétaires riverains, et les eaux souterraines étaient considérées possédées par le propriétaire de la terre. Aujourd'hui, le concept d'appropriation nationale des ressources en eau se développe au niveau international.

Les lois récentes sur l'eau ne font pas de distinction entre les types de ressources en eau et considèrent toutes les eaux et toutes les adductions comme propriété publique. Une autre caractéristique des nouveaux codes de l'eau est la promotion de l'utilisation efficace de l'eau. Les autorités sont habilitées à modifier ou à annuler un permis si l'utilisateur a manqué aux obligations qui découlent de l'autorisation concernée.

La question de l'utilisation rationnelle de l'eau apparaît sous diverses formes dans les codes de l'eau des différents pays méditerranéens, en fonction de leurs traditions, des législations en vigueur, des conditions hydrologiques et hydrogéologiques. Cependant, une caractéristique commune à la législation récente est la réponse aux questions socio-économiques et aux problèmes posés par la protection de l'environnement.

La vulnérabilité des ressources en eau nécessite une mise en œuvre de la stratégie de protection. Les moyens juridiques en matière de protection des eaux sont en voie de promulgation dans la majorité des pays, et les zones protégées sont établies sur la base d'observations scientifiques sur le terrain. La législation en matière de protection limite généralement l'utilisation de la terre s'il y a risque de pollution du fait de mauvaises pratiques. Le principe de "pollueur-payeur" est proposé comme mesure de dissuasion des pollueurs potentiels, poursuite judiciaire mise à part.

### Législation internationale

Les organisations internationales partagent la responsabilité de protéger la ressource commune entre pays concernés. Le Congrès de Vienne (en 1815) ne tient pas compte de l'unité hydrologique des eaux, ni des affluents d'un fleuve international se trouvant dans le territoire d'un seul pays riverain; l'eau souterraine n'a pas non plus été mentionnée. Bien que l'ONU considère le "bassin fluvial international" comme entité géographique pour les besoins de la gestion des ressources en eau, il existe toujours une disparité d'opinions parmi de nombreux pays. Comme conséquence du développement industriel, de l'urbanisation, de la croissance démographique et de la navigation, certains pays riverains ont dû adapter leurs conventions transfrontières pour éviter les conflits générés par ces changements.

Aujourd'hui, la majorité des pays reconnaissent la juridiction transfrontière des pays voisins et conviennent également d'adopter les mesures communes de protection contre la pollution pour éviter l'épuisement des ressources ayant une valeur économique pour les pays concernés.

## 4.2.2 Directives légales

La législation contemporaine tend à imposer des restrictions en matière d'utilisation d'eau souterraine aux propriétaires et/ou utilisateurs de la terre, des puits ou autres ouvrages de prélèvement.

Dans certains pays, les concepts de "propriété" ou de "droits d'usage" sont distincts. En temps normal, l'administration exerce des droits légaux de contrôle sur:

- a) les quantités et qualités des eaux souterraines prélevées;
- b) les rejets d'eaux usées et la protection de l'aquifère.

Cependant, la législation nationale en matière d'eau, généralement considérée comme code des eaux, devrait comprendre un système de droits de l'eau qui reconnaisse les réalités hydrologiques en termes d'eau superficielle, d'eau souterraine, de relations entre ces dernières, et d'occurrence stochastique des précipitations et des débits. Il est souhaitable qu'elle comprenne les clauses restrictives suivantes:

- a) Elle devrait clairement définir la propriété des eaux de surface et souterraines. Les ressources en eau douce devraient être considérées comme un bien public national et il ne devrait pas être permis qu'elles soient possédées par une minorité de gens influents. Le contrôle de l'Etat est donc un impératif.
- b) Les titres de propriété de ressources naturelles devraient être restreints et, de préférence, transformés en titres d'utilisation.
- c) Les titres de propriété actuels doivent être reconnus en fonction de la disponibilité des ressources en eau, du contexte économique et des priorités d'utilisations. Cependant, ces droits ne devraient être approuvés que dans le cadre d'utilisations contrôlés excluant toute utilisation perpétuelle de ces ressources, considérées aujourd'hui comme partie intégrante du patrimoine national.
- d) La réglementation de protection des ressources devrait bénéficier d'un appui scientifique et faire partie intégrante des structures légales.
- e) La détermination des utilisations et des utilisateurs prioritaires devrait rester flexible pour permettre des changements futurs.
- f) L'administration centrale devraient être investie de tous les droits globaux en matière de contrôle de l'exploitation des ressources naturelles et de mesures de redressement par le biais de restrictions, chaque fois que cela est nécessaire.

Pour être efficace, la législation doit également être appliquée. L'expérience commune des pays méditerranéens montre que les capacités de mise en œuvre sont faibles. Tout non respect devrait être sévèrement traité par l'application strictes d'amendes dissuasives. La surveillance est essentielle pour assurer la mise en œuvre et le respect du code des eaux par tous les utilisateurs. Il est urgent de renforcer la coopération et une coordination entre les agences publiques et privées. Il n'existe par encore de prise de conscience sur cette nécessité, du fait, probablement que, la gestion intégrée et durable des ressources est une notion récente. Etant donné la pression sur les ressources naturelles, cette coordination ne peut être ignorée plus longtemps.

#### **4.2.3 Cadre économique et financier**

Trois types d'exigences financières sont essentiels pour une gestion intégrée efficace des ressources en eau:

1. Le financement de la structure administrative, de la planification, du système d'informations et du mécanisme de révision du projet;
2. Le financement de l'infrastructure hydraulique et des dépenses relatives au contrôle de la pollution; et
3. Le financement des mesures de conservation.

Selon l'objet des dépenses, le mécanisme de financement sera différent, de sorte que:

- la structure administrative et les dépenses y relatives, seront financées par les budgets des autorités nationale, régionale et locale;
- l'infrastructure et le contrôle de la pollution, peuvent être financés à partir d'impositions sur l'utilisation, l'industrie supportant éventuellement une partie des coûts;
- la conservation des ressources en eau peut être partiellement financée par des impositions sur l'utilisation et par des contributions volontaires privées, etc.

## Encadré 6

### Une exemple de législation

A Malte, la “Water Services Corporation” (WSC) a été fondée en 1991 pour remplacer le “Water Works Department”, afin de créer les capacités légales et d'organisation nécessaires pour adopter une approche intégrée de la gestion des ressources en eau. L'essentiel a porté sur la constitution, les fonctions et la composition de la WSC, les dispositions financières, les dispositions concernant les ressources humaines et autres. C'est l'exemple type d'une institution moderne qui, aux termes de la loi, est responsable de l'exécution de toutes les activités d'approvisionnement et de demande en eau, en pleine connaissance des implications environnementales et des exigences socio-économiques nationales.

La Loi stipule clairement toutes les fonctions et les obligations commerciales conduisant à la planification intégrée. Quelques extraits pertinents sont reproduits ci-après:

#### **Fonctions**

- a) *“acquérir, produire, entretenir, distribuer, vendre, exporter ou autrement dit gérer l'eau (autre que l'eau de table en bouteilles) à des fins domestiques, commerciales, industrielles, etc.;*
- b) *conserver, développer et exploiter les ressources en eau et les sources d'approvisionnement en eau;*
- c) *entreprendre et exercer les autres fonctions relatives à l'approvisionnement et à la distribution d'eau, si nécessaire;*
- d) *prévoir le traitement et le rejet ou la réutilisation des effluents liquides et des eaux usées; et*
- e) *assurer, de manière appropriée, l'utilisation des eaux pluviales des régions urbaines et rurales”.*

#### **Obligations**

- a) *“développer, entretenir et promouvoir un système sûr et efficace de production et de distribution pour satisfaire, le plus économiquement possible, toutes les demandes en eau raisonnables;*
- b) *déterminer les objectifs à long et à court terme concernant l'approvisionnement en eau, le rejet et la réutilisation des eaux et développer une stratégie et des politiques nécessaires pour atteindre ces objectifs;*
- c) (i) *prévoir, améliorer et élargir un tel système d'assainissement public, épurer et entretenir ces réseaux de façon que le réseau de drainage fonctionne et continue à fonctionner de manière sûre;*  
(ii) *garantir le fonctionnement de ces systèmes d'assainissement et prendre les dispositions nécessaires pour une manutention efficace des eaux usées à travers des ouvrages de traitement et de rejet ou autres;*
- d) *tenir compte, lors de l'exécution des obligations de cette sous-section, du besoin de prévoir le traitement et le rejet, ou autres de l'effluent commercial;*
- e) *promouvoir le rejet approprié des eaux usées et des eaux pluviales;*
- f) *prendre en considération et conseiller chaque ministre sur toute question concernant la formulation d'une politique globale nationale de l'eau et de tous thèmes relatifs à ces fonctions stipulées par la Loi;*
- g) *gérer et faire fonctionner toutes entreprises et autres installations et biens transférés à l'entreprise en vertu de cette Loi ou autrement acquis par le conseil aux fins de n'importe quelle fonction;*
- h) *posséder, gérer et, quand cela est considéré comme opportun, réaliser des acquisitions;*
- i) *promouvoir l'utilisation raisonnable d'eau et encourager la conservation et la réutilisation appropriée des ressources en eau;*
- j) *effectuer les essais et établir les réglementations relatives aux équipements d'eau dans le but de prévenir les gaspillages, la consommation excessive, les abus, les mesures erronées ou la contamination des eaux;*
- k) *prévoir des stages de formation et autres programmes en phase avec le progrès des sciences et des technologies de gestion des eaux;*
- l) *collaborer avec les autres organisations locales dans la mise en place et la coordination des services, tels l'épuration des eaux, l'énergie électrique, les télécommunications, les services routiers, l'agriculture, l'industrie; et*
- m) *promouvoir et réaliser, seule ou en collaboration avec les autres institutions, la recherche et le développement de nouvelles technologies et de nouvelles idées dans la production et le traitement des eaux, les réseaux de distribution et de rejet, le dessalement et l'adoucissement des eaux, le traitement des déchets liquides, le rejet et la réutilisation, le transport des biens d'équipement, la gestion des ressources en eau et la gestion des bassins versants”.*

Les tâches des gestionnaires des ressources en eau côtières diffèrent selon le type de financement engagé:

- En ce qui concerne les fonds à mobiliser à partir des budgets divers, l'on doit s'assurer que les demandes de financement respectent la législation pertinente; dans le cas contraire, le financement serait fourni par l'agence la plus intéressée à la gestion appropriée des ressources en eau.
- Quant aux impositions sur l'utilisation et autres instruments financiers, le gestionnaire devra s'appuyer sur eux pour une mise en œuvre efficace des mesures, aussi bien que pour le financement; Il y aurait donc lieu de les préconiser et de les utiliser dans le processus de mise en œuvre conjointement avec les autorités locales et les autres agences. Une partie du travail consistera à mobiliser ces fonds pour l'infrastructure hydraulique et d'autres services, et à réduire au minimum les montants des frais généraux perdus pour la gestion des ressources en eau côtières.
- La mobilisation des fonds pour la conservation des ressources en eau peut s'appuyer sur les impositions en matière d'utilisation; les fonds privés sont souvent mobilisés par les groupes s'intéressant à l'environnement que les gestionnaires des eaux côtières appuient de différentes façons: les collecteurs de fonds privés ont par exemple besoin de l'assistance des gestionnaires pour établir les conditions dans lesquelles leurs efforts seraient approuvés par les autorités. Les fonds sont parfois collectés sous forme de subventions (publiques et privées).

Lors de l'examen des questions économiques qui concernent la gestion des ressources en eau, les points suivants sont à prendre en considération:

- L'eau est un bien public. Bien que dans certains cas particuliers d'utilisation l'eau prenne les caractéristiques d'un bien, elle ne peut être exclusivement traitée selon les principes commerciaux.
- Le prix de l'eau dépend des buts à atteindre, et les facteurs essentiels de la tarification sont les mesures indirectes ou directes de réalisation de ces buts.
- L'effet des prix établis et la réalisation des buts programmés doivent être suivis au niveau de l'Etat.
- La protection des eaux qui s'appuierait sur la loi du marché est théoriquement impossible.
- Certaines valeurs et fonctions de l'eau ne peuvent être mesurées du point de vue pécunier.

Les instruments économiques sont utilisés en association avec les réglementations pour les compléter dans les zones où l'efficacité économique est importante, là où les réglementations ont échoué ou/et lorsqu'il faut mobiliser des fonds pour mettre en œuvre une politique générale, par exemple pour l'infrastructure environnementale. Les principales catégories d'instruments économiques de gestion des ressources en eau côtières sont:

- Les redevances directes qui sont utilisées pour compléter les réglementations relatives au contrôle de la pollution: redevances sur les effluents, amendes d'infraction aux règlements, charges administratives, redevances d'usage de services publics, tels que l'alimentation en eau, l'assainissement, l'approvisionnement en eau agricole, les ports, etc., afin de permettre leur exploitation efficace et couvrir les dépenses.
- Les taxes sur les activités qui sont surtout utilisées en relation avec l'aménagement du territoire, et sont en général imposées aux activités hautement profitables et écologiquement préjudiciables, tel le tourisme littoral par exemple.
- Les subventions qui peuvent être accordées dans des conditions exceptionnelles, pour financer des mesures de lutte contre la pollution causée par des activités publiques ou privées, quand ces mesures sont urgentes.
- La tarification qui est un instrument important pour la gestion des ressources en eau côtières.

L'affectation de concessions pour l'exploitation des ressources en eau est une forme standard d'exploitation des ressources en eau dans l'économie de marché. Dans ce cas-là, les questions suivantes sont à considérer:

- La compensation des concessions doit constituer un facteur de développement et de protection des ressources en eau, et non un revenu fiscal.
- Le préalable de l'application des concessions dans ce sens est une stratégie adéquate de gestion des eaux au niveau de l'Etat, à l'échelle des autorités responsables de l'eau et des bassins versants respectivement. Une politique au niveau local ne peut atteindre de bons résultats.
- Les contrats d'attribution des concessions doivent fournir des informations précises sur le contrôle professionnel et financier du concessionnaire. A cet effet, les personnes (institutions) responsables de ce contrôle se doivent d'avoir une formation en la matière.

Les gestionnaires des ressources en eau côtières devront faire usage de ces instruments économiques et environnementaux pour atteindre leurs objectifs.

### 4.3 Aspects institutionnels<sup>1</sup>

Le cadre institutionnel est l'aspect le plus important dans tout schéma de gestion d'eau du fait qu'il détermine et oriente l'efficacité des structures légales et des procédures financières. Les institutions sont également importantes à cause de la nécessité accrue d'une large consultation de la population avant la mise en œuvre des politiques d'environnement.

Une des contraintes les plus fréquentes dans la réalisation de la gestion intégrée des ressources en eau côtières GIREC est le manque d'arrangements institutionnels adéquats. A cause de sa nature complexe, la GIREC exige un haut niveau d'intégration avec et entre les structures institutionnelles. Un haut degré d'intégration horizontale est particulièrement nécessaire entre les institutions sectorielles dans la phase de planification, un haut niveau d'intégration verticale étant nécessaire durant la phase de mise en œuvre. Il se peut que plusieurs des institutions nécessaires à la GIREC existent. Pour appliquer la GIREC il y a lieu d'établir des liens entre ces institutions ou de renforcer ceux qui existent. Lorsque de telles institutions n'existent pas, de nouveaux arrangements institutionnels pourraient être créés. Les structures institutionnelles existantes pourraient être composées de représentants des autorités gouvernementales et locales. La mise en œuvre efficace de la GIREC nécessitera la participation active de bailleurs de fonds publics et privés à la création des arrangements institutionnels. Cela implique le renforcement des capacités humaines dans les domaines des ressources en eau, des sciences du littoral et de la mer, ainsi que de la gestion de l'environnement et des conflits.

Les institutions de GIREC ont trois rôles à assumer:

- Un rôle exécutif, pour la prise de décisions.
- Un rôle judiciaire, pour donner force de loi aux réglementations et aux directives, aux normes et à la mise en vigueur de procédures et de l'arbitrage.
- Un rôle marchand, mobilisant des fonds, offrant des mesures d'incitation ou des subventions.

Les arrangements institutionnels sont nécessaires à trois niveaux différents pour assumer une responsabilité particulière, à savoir:

- au niveau national;
- au niveau régional (sub-national); et
- au niveau de la zone côtière.

L'administration au niveau national serait concernée par le développement et la mise en œuvre de la politique globale de gestion côtière, y compris la politique de gestion des ressources en eau. Cela engloberait la préparation des lois et des stratégies (Loi de gestion des zones côtières et Loi de gestion des ressources en eau des zones côtières, Stratégie de gestion des zones côtières et Stratégie de gestion des ressources en eau des zones côtières). Les normes en matière d'environnement et de conservation pour les zones côtières et les ressources en eau côtières devraient être définies au niveau national. Le besoin existe d'un comité interministériel de gestion côtière, composé de ministères d'importance œuvrant dans les zones côtières: ressources en eau,

---

<sup>1</sup> La plus grande partie du texte s'est appuyée sur le UNEP, 1995.

environnement, agriculture, tourisme, développement économique, industrie, travaux publics, sylviculture et transports. Une certaine planification à l'échelle nationale est nécessaire pour tenir au courant les autorités régionales et locales des politiques nationales de développement, et surtout des politiques nationales de développement des ressources en eau.

Au niveau régional, une planification et une gestion plus détaillées mais intégrées sont exigées dans le cadre des compétences des autorités régionales. Un tel processus devrait assurer la cohérence entre les activités des gouvernements locaux pour réduire le danger et la surexploitation des ressources en eau côtières. L'approche intégrée du développement, de la gestion et de l'utilisation des ressources en eau dans les bassins fluviaux devrait également couvrir les zones qui échappent à la juridiction des administrations locales.

Planification, développement et exécution plus détaillés s'effectuent au niveau local. Il faut toutefois faire la distinction entre les zones où une autorité locale peut efficacement gérer les ressources en eaux côtières et celles où plusieurs administrations locales doivent étroitement coopérer pour programmer et exécuter une politique. Cela dépendra de la nature de la zone côtière et des caractéristiques des ressources en eau sur les plans horizontal et vertical, afin de tenir compte des activités majeures pouvant avoir un impact sur les ressources en eau côtières.

Toutes les autorités impliquées dans le fonctionnement, l'exploitation, la conservation et l'entretien des ressources côtières en eau et en sol devraient intégrer leurs activités dans un mécanisme de coordination approprié.

#### **4.4 L'information au service de l'utilisation, du développement et de la gestion des ressources en eau des zones côtières**

##### **4.4.1 En général**

Une information précise sur l'état et l'évolution des ressources eau, de surface et souterraines des zones côtières est indispensable à leur développement, leur utilisation et leur gestion dans un projet de ressources en eau. Une perception adéquate dans le temps et l'espace du cycle hydrologique local permettra également de préserver la qualité de l'environnement et de prévenir tout effet négatif.

La collecte systématique des données concernant les ressources en eau, leur archivage, analyse et diffusion fournissent, tant aux ingénieurs qu'aux décideurs, des informations sur l'état et l'évolution des ressources en eau. De telles informations sont nécessaires pour:

- évaluer quantitativement et qualitativement, dans le temps et dans l'espace, la distribution des ressources en eau côtières, le potentiel du développement hydraulique et la capacité de l'approvisionnement pour satisfaire les demandes actuelles et futures;
- planifier, concevoir et exploiter les projets hydrauliques;
- évaluer les impacts environnementaux, économiques et sociaux des pratiques de gestion des eaux existantes ou projetées et programmer des stratégies rationnelles de gestion;
- évaluer l'offre de ressources en eau aux autres activités, tels que celui de l'urbanisation; et
- protéger les personnes et les biens contre les risques liés à l'eau (inondations et sécheresses).

L'appui au système d'information en matière d'utilisation, de développement et de gestion des ressources en eau côtières est analogue à celui qui est requis pour n'importe quelle partie du pays, excepté qu'une attention croissante aux particularités de la région côtière, à l'exploitation intense de ses rares ressources et à son environnement fragile au contact entre la terre et la mer est nécessaire.

##### **4.4.2 Un appui nécessaire**

Une appréciation des particularités des ressources en eau côtières et du type d'informations nécessaires à leur utilisation, leur développement et leur gestion devrait se traduire par une collecte efficace et une évaluation correcte des données rassemblées. Les demandes d'informations concernant l'eau sont déterminées par les objectifs fixés. Ces derniers devraient guider le processus de planification globale d'acquisition, d'interprétation, de présentation et d'actualisation

de la collecte d'informations. Les plans de développement réalisés en l'absence de données suffisantes ou sur la base de données à court terme aboutissent à des travaux techniques définitifs dont on constate plus tard qu'ils sont inadéquats, mal conçus ou de moindre efficacité, du fait que les informations rassemblées se sont avérées bien différentes de ce qu'on attendait.

La procédure appropriée consiste à planifier le projet, l'évaluation, la mise en œuvre et la gestion des ressources en eau dans le cadre suivant:

- l'ensemble de la zone côtière particulière devrait être utilisé comme champ spatial de base pour la collecte, l'interprétation et la planification de données;
- toutes les composantes du cycle hydrologique devraient être évaluées: précipitation, évaporation, écoulement de surface, infiltration et potentiel d'eau souterraine, y compris l'utilisation actuelle de l'eau;
- l'évaluation quantitative des ressources en eau et la planification seront basées sur une approche de bilan d'eau complet;
- les évaluations des quantités et qualités des eaux de surface et souterraines, de leur utilisation et d'autres conditions environnementales, ainsi que celles des changements potentiels de ces composantes, devraient être effectuées;
- les changements à long terme pouvant découler des schémas de gestion des ressources en eaux et de l'utilisation des plans de développement hydraulique devraient être examinés;
- la géométrie, les niveaux piezométriques et les caractéristiques des aquifères côtiers, y compris la perméabilité et la capacité spécifique, devraient être évalués; cela permettrait une évaluation du bilan d'eau, du rendement réel de l'aquifère et de la position de l'interface eau de mer/eau douce;
- la recharge des eaux souterraines et leur déversement en mer le long de la côte est un élément essentiel dans l'évaluation du risque d'intrusion marine et des mesures de prévention s'y rapportant;
- les conditions hydriques prévalant dans les zones humides, les marécages et les autres zones d'importance environnementale, devront être évaluées;
- l'information sur l'utilisation de l'eau pour l'irrigation, ainsi que celle sur l'utilisation urbaine et industrielle (actuelle et prévue), sont essentielles; cela veut dire la prévision de l'urbanisation dans l'avenir, surtout pour les zones côtières méditerranéennes, avec estimation de la croissance touristique; et
- l'évolution de la qualité de l'eau souterraine en fonction de l'intrusion marine ou du fait de l'utilisation de fertilisants ou d'autres activités industrielles, est à suivre.

Cette liste des informations requises n'est pas exhaustive et devrait être considérée comme indicative, variant selon les besoins particuliers et les particularités de la zone côtière étudiée.

Les données hydrologiques et autres informations concernant l'eau ont une grande importance intrinsèque dans le développement, l'utilisation et la gestion des ressources en eau et pour l'environnement naturel. Elles n'ont cependant une valeur économique que lorsqu'elles influent sur les décisions et appuient substantiellement les options de gestion en matière de développement économique de la zone, la sécurité et le bien-être de sa population, ainsi que la qualité de son environnement à court et long terme. Planification, création de programmes d'appui à l'information et d'institutions devraient donc être effectuées attentivement, de façon qu'elles soient efficaces, correctes et globales au regard des exigences de la zone et des plans de développement concernés.

#### **4.5 L'évaluation des ressources en eau**

Évaluer les ressources en eau consiste à déterminer leurs sources, leur étendue, leur degré de dépendance et leur qualité afin d'apprécier les possibilités de leur utilisation et de leur contrôle (UNESCO/WMO, 1988). Les ressources en eau ne peuvent être développées ni gérées rationnellement sans une évaluation de la quantité et de la qualité de l'eau disponible.

L'hydrologie est la principale composante de la gestion des ressources en eau. Elle en fait partie intégrante à travers l'utilisation de modèles hydrologiques empiriques et causaux lors de la planification, la gestion, la conception, l'exploitation et la protection des ressources en eau. La prévision de l'état actuel et futur des processus hydrologiques, de la distribution actuelle et future des ressources en eau dans l'espace et dans le temps, ainsi que celle de leur qualité, les calculs du bilan d'eau après l'intervention de l'homme (modification de la surface du sol et des variables hydrologiques) sont un travail standard dans le processus d'évaluation des ressources en eau.

La valorisation pleine et concertée d'un système de ressources en eau avec ses composantes, respecte la hiérarchie du système. L'évaluation des ressources en eau sera donc mise en œuvre en trois étapes:

1. évaluation des ressources en eau du bassin – niveau d'investigation le plus bas (plans de développement des ressources en eau à long terme);
2. évaluation des ressources en eau régionales – niveau moyen d'investigation (système orienté, planification régionale à moyen et à long terme); et
3. évaluation des ressources en eau locales – le plus haut niveau d'investigation (projet spécifique, exploitation).

Cette approche garantit que les projets sectoriels prennent en considération le continuum hydrologique et les implications environnementales.

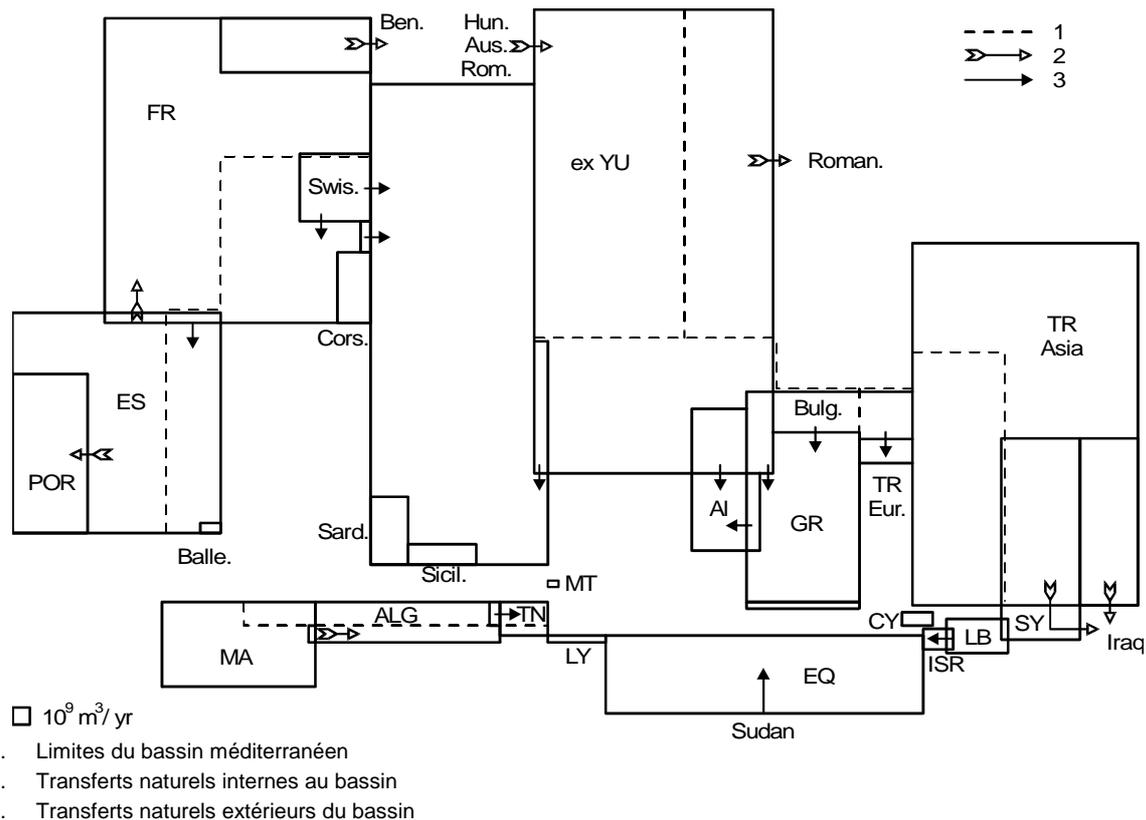
Les principales composantes de chaque niveau d'évaluation des ressources en eau sont:

- *La collecte, le traitement et la diffusion des données hydrologiques, hydrogéologiques, et autres données en matière d'eau* (collecte de données historiques sur les composantes du cycle de l'eau en un certain nombre de points repartis dans la zone d'évaluation, pour obtenir les caractéristiques physio-graphiques du territoire qui déterminent la variation spatio-temporelle des composantes du cycle l'eau, ainsi que des informations sur les caractéristiques des ressources en eau en tout point de la zone d'évaluation).
- *L'évaluation des ressources en eau disponibles* (évaluation spatiale des composantes du bilan d'eau).
- *La classification des ressources en eau superficielles et souterraines* (en conformité avec les conditions de gestion des eaux, le degré d'investigation, les types d'eau de surface et souterraine, le degré de protection contre la contamination, anthropique existante ou potentielle, la qualité de l'eau, etc.).

Plus grand et complexe est le système, plus difficile est l'analyse en raison du volume du travail et des données et de l'impossibilité d'avoir un aperçu d'ensemble, de suivre l'analyse et d'interpréter les résultats obtenus. Il est toutefois devenu habituel de partager les grands systèmes en de plus petits selon une procédure logique et naturelle qui permette l'intégration des différents résultats obtenus dans une entité hydrologique unique. Il est donc évident que pour analyser et planifier les grands bassins fluviaux, il faut d'abord les partager en bassins versants plus petits, chacun d'eux constituant une assez importante unité de planification. Dans tous les cas, il est souhaitable que l'analyse et la planification d'un système de ressources en eau soient effectuées au niveau du bassin fluvial ou du bassin versant, ou à tout autre niveau naturellement et hydrologiquement complet et fermé (île ou aquifère).

Un facteur compliqué limitant l'utilisation d'un bassin fluvial ou d'un bassin versant pour exécuter des plans de développement est le fait que les frontières politiques et administratives coïncident rarement avec celles du bassin fluvial. Cela concerne en particulier les grands systèmes fluviaux couvrant plusieurs pays, régions ou autres entités administratives. Dans ces cas-là, une planification et une gestion efficaces des ressources en eau exigent un respect strict de la hiérarchie du système, de façon que l'on puisse distinguer:

1. les accords internationaux sur l'utilisation d'un fleuve international;
2. le plan national de développement des ressources en eau; et
3. la planification régionale des ressources en eau.



**Figure 4.6: Ressources en eau naturelles comparées du bassin méditerranéen (Margat, 1990)**

A n'importe quel niveau inférieur, le plan doit entièrement respecter les contraintes et les exigences résultant du plan de niveau supérieur. La mise en œuvre des plans s'effectue habituellement à des niveaux inférieurs au niveau urbain. Cependant, il est souhaitable que la mise en œuvre soit contrôlée à partir des niveaux supérieurs, afin de pouvoir vérifier la conformité des différentes mises en œuvre avec les plans d'ensemble de gestion des ressources en eau. Cela concerne en particulier les grands usagers et pollueurs, tels les centres urbains dont les plans de ressources en eau comprenant l'alimentation en eau, le contrôle des inondations, le drainage des eaux pluviales et le contrôle de la pollution, et ne coïncident généralement jamais avec les limites du bassin fluvial.

L'interaction entre les différents pays méditerranéens est présentée dans la Figure 4.6. Il est facile de voir quels pays sont appelés à harmoniser entre eux le développement et l'utilisation des ressources en eau communes. Faute de quoi, il est très difficile de mettre en œuvre le concept de gestion intégrée des ressources en eau et d'assurer une utilisation durable des ressources en eau dans le bassin méditerranéen et dans chacun des pays riverains.

L'évaluation des ressources en eau devrait être entièrement adaptée aux caractéristiques de la zone étudiée, ainsi qu'au niveau de traitement du projet mis en œuvre, c'est à dire aux objectifs du projet. Il existe généralement deux sources majeures d'eau – les eaux de surface et les eaux souterraines, bien qu'il y ait d'autres sources moins importantes (collecte des eaux de pluie, dessalement, réutilisation des eaux usées, etc.). Dans l'évaluation des volumes d'eau disponibles, il est important de considérer les liens entre les ressources en eau de surface et souterraines. L'exploitation démesurée de l'une peut affecter les quantités disponibles de l'autre.

#### 4.5.1 Les ressources en eau de surface

L'eau de surface est celle qui coule en permanence ou par intervalles dans les chenaux de surface, ainsi que l'eau des lacs, bassins et marécages.

Les débits disponibles pour satisfaire les besoins actuels et futurs pourraient être évalués par:

- l'analyse des documents climatologiques disponibles et des débits enregistrés;

- la reconstitution des débits par simulation, à partir des enregistrements de longue durée de la pluie et autres documents.

L'estimation fiable des eaux disponibles pour les différentes activités devrait s'appuyer sur les enregistrements de débits d'une période de temps suffisamment longue (30 ans au moins). Quand ces conditions n'existent pas, il est nécessaire d'extrapoler l'enregistrement des débits, utilisant celui des précipitations qui porte généralement sur une période plus grande. Une spécification claire est exigée quant à la nature, l'origine, la fiabilité et la conformité des données utilisées dans l'évaluation des ressources en eau. Dans les cas où les enregistrements climatologiques et hydrologiques à long terme ne sont pas disponibles, les débits peuvent être évalués par corrélation avec d'autres stations. Si l'enregistrement des débits n'est pas simultanément disponible avec les enregistrements d'autres stations comparables, des résultats suffisamment fiables peuvent généralement être estimés proportionnellement aux superficies des bassins de drainage si des enregistrements de débits existent sur le cours d'eau en amont ou en aval du site d'étude.

Quelques méthodes qui peuvent être utilisées pour l'évaluation des écoulements sont: la méthode de la formule rationnelle, la méthode d'analyse hydrographique, la méthode du coefficient d'infiltration, l'analyse des inondations régionales et celle de la fréquence des crues. L'analyse des débits comprend généralement la détermination:

- des débits annuels;
- de la distribution annuelle des débits;
- de la distribution spatiale des ressources en eau;
- des débits de pointe ou maximaux;
- des débits d'étiage ou minimaux; et
- des débits solides, y compris les sédiments de fonds et les matériaux en suspension.

L'évaluation quantitative du potentiel d'écoulement des cours d'eau est en général mensuelle. Outre cette évaluation, le besoin existe de déterminer et de quantifier les ressources en eau potentielles de l'ensemble du bassin fluvial. Cela permet d'identifier les sites potentiels de barrage et d'évaluer leurs capacités.

#### **4.5.2 Les ressources en eau souterraines**

L'eau souterraine est importante pour le développement socio-économique, en particulier dans la plupart des zones côtières du bassin méditerranéen où elle est associée aux dépôts deltaïques côtiers et où les cours d'eau ne coulent qu'une partie de l'année, alimentant les aquifères côtiers.

L'existence et la disponibilité d'eaux souterraines dans une zone donnée dépendent d'un certain nombre de facteurs tels la distribution des précipitations, le type de sol, la topographie du terrain, le couvert végétal, la nature du sous-sol et sa perméabilité, etc. Quelques données de base sont en général nécessaires pour évaluer la disponibilité en eaux souterraines:

- la géologie du bassin;
- les précipitations dans la zone;
- la recharge par les cours d'eau;
- les niveaux piezométriques et les prélèvements; et
- le débit spécifique et la perméabilité de l'aquifère.

Très souvent, d'importantes études hydrogéologiques sont effectuées pour définir les limites et la composition de l'aquifère. Ces études englobent l'établissement de cartes géologiques et hydrogéologiques, des forages d'essais, des relevés géophysiques, des essais de pompage, etc.

Le programme de recherche commence normalement par un inventaire des puits existants, avec enregistrement des fluctuations de niveaux à intervalles réguliers. Là où de tels puits n'existent pas, des sondages de reconnaissance permettront de surveiller le niveau piezométrique. On dresse ensuite les cartes géologiques de la zone, sur la base desquelles est préparé un programme de forages d'essai. Cela permettra de déterminer les caractéristiques pétrographiques des couches, la

profondeur et le caractère captif ou à surface libre de l'aquifère. Ces puits peuvent être transformés ultérieurement en piezomètres d'observation.

A travers les essais de pompage on peut déterminer la perméabilité, la transmissivité, et le coefficient d'emmagasinement de l'aquifère qui contrôle la fluctuation du niveau hydrostatique. La surexploitation des nappes pourrait provoquer un abaissement excessif du niveau hydrostatique, l'intrusion marine, la réduction du rendement et la détérioration de la qualité de l'eau. De telles conditions devraient être identifiées et des mesures de redressement devraient être proposées, comme les mesures appropriées de gestion de l'aquifère et de recharge artificielle de nappes par exemple. Vu que le niveau hydrostatique et la quantité d'eau souterraine correspondante varie selon la saison en l'année, la disponibilité en eau souterraine devrait être définie mensuellement. Le développement potentiel des ressources en eau souterraines dépend aussi des critères de qualité de l'eau en fonction de l'impact des pratiques de gestion des eaux, des modes de prélèvement et d'utilisation de l'eau souterraine. Ces phénomènes devraient être étudiés et pris en compte. Le rapport des eaux souterraines avec les écoulements de surface disponibles devrait être pris en considération, du fait surtout que toute intervention sur les unes pourrait avoir un impact sur les autres. L'évaluation du bilan des eaux souterraines devrait permettre d'évaluer la recharge annuelle et une appréciation des ressources exploitables de l'aquifère concerné.

### **4.5.3 La méthode du bilan d'eau**

La planification de plusieurs projets de développement des ressources en eau s'est appuyée et s'appuie encore sur la mesure des précipitations et du débit des cours d'eau. Trop souvent, seules de telles mesures ont été utilisées dans la conception et la réalisation de projets hydriques d'importance.

Les précipitations et les débits sont les parties essentielles du cycle hydrologique. Elles donnent toutefois une image incomplète des ressources en eau de la zone. A moins qu'elles ne soient accompagnées d'autres données, elles pourraient constituer un risque pour la conception des projets hydrauliques.

Un examen d'ensemble de tous les éléments du cycle hydrologique devrait contribuer à une plus complète compréhension de la répartition des précipitations, des pertes par évaporation et transpiration, des écoulements de surface, de l'infiltration vers les aquifères, de l'utilisation pour l'irrigation et de l'approvisionnement en eau des ménages soit par prélèvement au fil de l'eau soit par pompage des aquifères, ainsi que des pertes d'eau douce en mer, en surface ou souterraines.

Une telle approche permet un premier bilan d'eau grossier qui normalement s'appuie partiellement sur des mesures et pour le reste sur des estimations. Elle est extrêmement utile et susceptible de servir de base à la planification et à la gestion des ressources en eau. Dans la méthode du bilan d'eau on indique les quantités d'eau relatives à chaque composante du système hydrologique, permettant de juger de la disponibilité de l'eau pour le développement, l'utilisation et la gestion. De même, ces quantités relatives imposent de prendre en considération les changements quantitatifs susceptibles de se produire dans le système en tant que résultat du développement des ressources en eau et des activités humaines qui pourraient s'en suivre, ainsi que les étapes de ces modifications. Par exemple, si un projet de ressources en eau exige une irrigation considérable de terres arides par dérivation à partir d'un cours d'eau, le pourcentage des pertes par surirrigation et évapotranspiration sera augmenté. Ces pertes supplémentaires se traduiront par un écoulement en aval réduit, une diminution des infiltrations et des pertes en mer, maintenant ainsi le bilan du cycle hydrologique. Les bénéfices pour l'irrigation seraient donc obtenus au prix d'une diminution du débit moyen en aval au détriment d'autres objectifs qui ne disposeraient que d'une disponibilité en eau réduite.

## Encadré 7

### Une exemple d'évaluation des ressources en eau s'appuyant sur le schéma directeur de gestion des eaux de l'île de Rhodes

L'étude représente un des principaux produits de l'activité de gestion des ressources en eau de île de Rhodes, qui est une des activités du Programme d'Aménagement Côtier du Plan d'Action pour la Méditerranée (PAC/PAM), mis en œuvre grâce à l'appui financier de la CCE, au sien du Programme Environnemental d'Assistance Technique pour la Méditerranée (METAP), initié par la Banque Européenne d'Investissement (BEI). L'approche appliquée par le Programme d'Actions Prioritaires du Centre d'Activités Régionales (PAP/CAR) de Split à l'élaboration de l'étude est fondée sur Action 21 en ce qui concerne en particulier la gestion intégrée du littoral et la gestion intégrée des ressources en eau.

L'évaluation des ressources en eau et l'appréciation de leur disponibilité ont été obtenues à travers:

- Un examen critique et une évaluation soigneuse des données climatologiques existantes qui concernent: les précipitations, la température de l'air, l'ensoleillement, l'humidité de l'air, le vent et l'évaporation.

Pour ces paramètres, toutes les informations disponibles sur les valeurs mensuelles et annuelles ont été tabulées et leurs indicateurs statistiques, y compris les intervalles de répétition, ont été spécifiés. Les valeurs journalières extrêmes ont été particulièrement étudiées statistiquement.

- Le modèle mathématique de bassin versant HYPROM, développé par l'Institut Hydrologique du Royaume Uni a été appliqué. Ce modèle a été étalonné avec les données existant sur les débits instantanés et ensuite utilisé pour la production des débits d'écoulement journaliers à partir des données pluviométriques.

Les données pluviométriques disponibles et les précipitations calculées, exprimées en hauteur d'eau pour chacun des bassins versants, les données disponibles sur les écoulements, le calibrage obtenu avec les paramètres du modèle, ainsi que les débits d'écoulement simulés dans les bassins versants et dans les sites choisis ayant un intérêt en terme d'ouvrages hydrauliques potentiels, ont été présentés dans les rapports techniques et les annexes respectifs.

- Une évaluation a été effectuée et une appréciation de toutes les informations disponibles sur l'hydrogéologie de l'île, impliquant ses principales caractéristiques lithologiques et structurales, les caractéristiques hydrogéologiques des différentes formations (débit spécifique, transmissivité, épaisseur saturée, qualité de l'eau et rendement potentiel).

Une carte hydrogéologique à l'échelle 1: 100000, et d'autres cartes thématiques et diagrammes à plus petite échelle, montrent synoptiquement les différents aspects hydrogéologiques (niveau d'eau souterraine, fluctuations piezométriques, rendement en fonction du rabattement, qualité de l'eau et sources de pollution, ainsi que la vulnérabilité de l'aquifère à la pollution). Les rendements des forages, les sources et les prélèvements d'eau ont été aussi présentés.

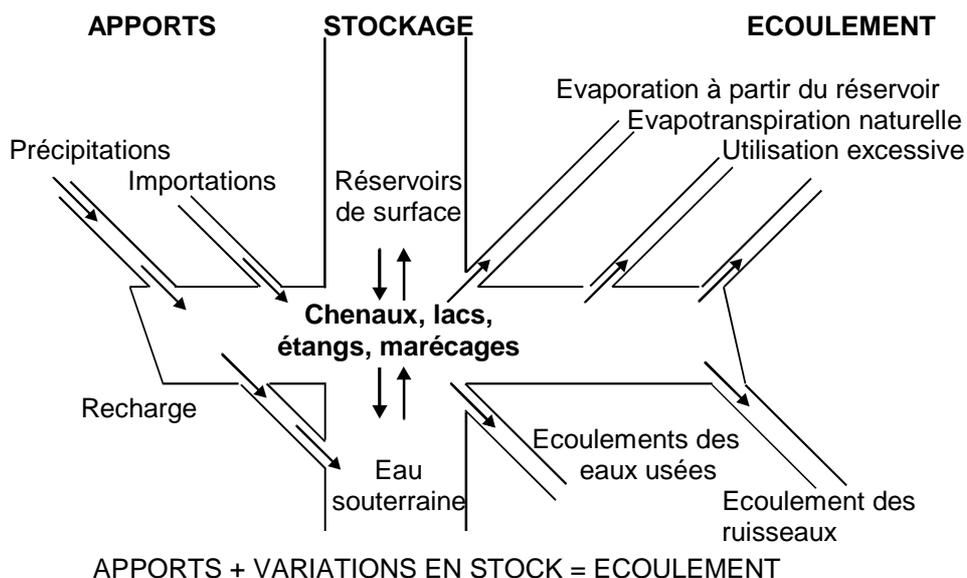
- L'évaluation du bilan d'eau naturel de l'île entière, qui a été effectuée en calculant le bilan de chaque bassin versant séparément.

L'équation du bilan d'eau a été résolue en utilisant les données existant sur les eaux de pluie et les débits d'écoulement évalués à travers les estimations des pertes par évaporation en appliquant l'approche empirique de Penman, de Thornwaite, de Blaney-Criddle et de Turc. Cela a abouti à une évaluation de l'infiltration qui concerne les eaux souterraines. Des bilans d'eau ont été évalués par détermination des prélèvements durant la période sèche et évaluation de la capacité spécifique. Cela a été utilisé pour l'évaluation du bilan d'eau annuel.

- L'évaluation a été faite des possibilités d'exploitation de sites potentiels de réservoirs superficiels et de bassins artificiels, qui ont été identifiées à travers les études précédentes ou choisies à partir de cette étude. Les informations de base sur les sites de stockage d'eau de surface et souterraine ont été évaluées et notées.

Les caractéristiques des réservoirs existants et prévus ont été présentées avec les potentialités de recharge artificielle d'eau souterraine.

Tous les matériaux présentés dans les différents rapports techniques produits au cours de l'étude ont été recueillis dans un rapport de synthèse, ses principaux objectifs étant la synthèse de toutes les informations pertinentes et la présentation des ressources en eau de île de Rhodes d'une manière propice à l'élaboration du Schéma Directeur de gestion des eaux de l'île. L'approche du bilan d'eau devrait montrer la relation entre les eaux de surface et souterraines d'une zone, vu que dans plusieurs zones, la plus grande partie de l'eau douce du cycle hydrologique est l'eau souterraine. Si les facteurs de l'eau souterraine ne sont pas suffisamment englobés, le planificateur oubliera des éléments majeurs de ressources en eau exploitables. Cela est surtout important dans les zones côtières où le rapport eau de mer/eau souterraine est d'une importance primordiale.



**Figure 4.7: Représentation schématique des composantes hydrologiques**

La Figure 4.7 représente schématiquement les principales composantes d'un système hydrologique, nécessaires au bilan d'eau d'une zone côtière type. Il existe de nombreux modes de représentation, et le degré de détail dépend de la complexité du système et des possibilités d'estimer ces composantes.

La représentation du bilan d'eau a été tout à fait simplifiée. Le bilan d'eau d'un cours d'eau comprendrait: les débits en des points de contrôle amont et aval, les prélèvements au fil de l'eau, le déversement des eaux usées, l'évaporation des plans d'eau, la transpiration végétale dans la plaine inondable, les précipitations, les infiltrations dans les nappes et, enfin, les retours d'eau d'irrigation.

La méthode du bilan d'eau peut s'appliquer à des sous bassins faisant partie de bassins versants lesquels peuvent, à leur tour, être partie intégrante du bilan d'eau de la zone toute entière.

Les procédures d'estimations peuvent être plus ou moins précises, en fonction des données et les informations disponibles. Elle utilisent différentes méthodes hydrologiques tels les modèles d'écoulement de surface, les méthodes empiriques de calcul de l'évaporation et de l'évapotranspiration, les modèles hydrogéologiques, etc. Ces estimations seraient de préférence effectuées durant une même période de référence à choisir, si les enregistrements le permettent, de telle sorte qu'elle soit représentative des conditions moyennes prévalant sur une longue durée, incluant des années sèches et d'autres humides.

#### 4.6 Evaluation des demandes en eau

La planification et la gestion écologiquement rationnelles des projets de ressources en eau exigent des informations sur les utilisations d'eau actuelles et sur les demandes futures. C'est sur la base de ces informations que la capacité des ressources en eau du bassin ou du projet à concevoir sera appréciée et que les différentes stratégies et plans de gestion seraient établis. Simultanément, l'on pourra évaluer les effets de l'utilisation de l'eau actuelle et additionnelle sur le système hydrologique.

Les principales utilisations d'eau concernent les usages domestiques, urbains, industriels et agricoles. Elles peuvent aussi comprendre les demandes de la pisciculture, de la faune sauvage et de l'environnement en général, de la production d'énergie électrique, de la navigation intérieure et des loisirs, etc.

Les demandes en eau concernent les exigences importantes et comprennent les pertes relatives à ces utilisations: pertes de transport, pertes dues à la plus ou moins grande efficacité de l'irrigation, etc. L'évaluation des demandes en eau, actuelles et projetées, devrait nécessairement comprendre l'analyse des prélèvements globaux des eaux de surface et souterraines et celle des volumes importants d'eau usée et d'eau de drainage qui rejoignent le système d'eau. La détermination des lachures d'eau en aval devrait être faite en fonction de toutes les demandes en aval: irrigation,

approvisionnement en eau, élevage de poissons, énergie électrique, navigation, ainsi que des écoulements minimums nécessaires à l'assainissement et à l'environnement. L'écoulement aval devra assurer une dilution suffisante de la pollution. Le bilan d'eau devrait être établi pour tous les horizons de la planification à court et à long terme, en se basant sur les approvisionnements disponibles, les demandes en eau et le débit des lachûres exigé. Les pénuries et les mesures de redressement devraient être identifiées. Les demandes de pointe, tant pour l'irrigation que pour l'approvisionnement des ménages et des industries sont importantes à considérer pour le projet. Ces débits de pointe détermineront le dimensionnement de l'infrastructure hydraulique et la capacité du système à satisfaire les demandes pendant la haute saison.

Aux différentes utilisations prévisibles, il y a lieu d'associer une évaluation de la qualité de l'eau devant être rendue disponible par le projet, car cela déterminera le type de demandes pouvant être satisfaites par le projet. De ce fait, la collecte de données sur la qualité de l'eau devrait être conçue de manière à servir une telle investigation et à permettre la mesure des changements futurs.

Une approche relativement nouvelle concerne la gestion de la demande qui met l'accent sur les moyens de diminuer les demandes plutôt que sur les moyens d'augmenter la ressource. Les pénuries d'eau suggèrent que les demandes soient contrôlées par la disponibilité de la ressource. Cela peut être effectué au moyen d'instruments économiques visant à rehausser l'efficacité de l'utilisation d'eau et la durabilité financière des entreprises d'eau, et d'instruments judiciaires tels que restrictions, permis et réglementations.

#### 4.6.1 Demande en eau domestique et municipale

Les estimations des demandes en eau domestique devraient être coordonnées avec les études socio économiques prospectives de la croissance démographique. Ces estimations devraient concerner la localisation, le type d'utilisation, la demande totale, la demande de pointe, la consommation nette, ainsi que les quantités, qualités et la localisation des retours d'eau.

Les taux actuels de consommation par habitant et par jour, qui tiennent compte des habitudes présentes et futures, sont généralement le point de départ de l'évaluation de la demande en eau des ménages. Les tendances démographiques, ainsi que les arrivées touristiques présentes et prévues, sont essentielles pour évaluer les demandes futures. A ces volumes, s'ajoutent d'autres demandes dans les grands centres urbains: eau d'agrement, et autres besoins municipaux, etc.

Lors de l'évaluation des demandes en eau domestiques, les points suivants sont à prendre en considération (Figure 4.8):

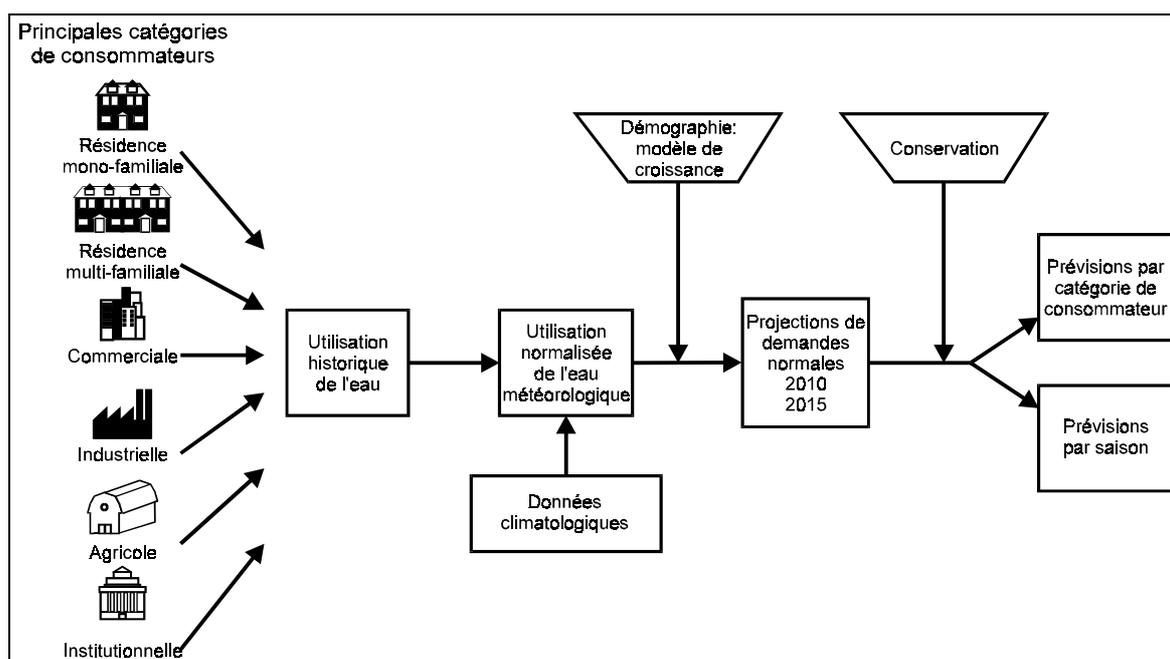


Figure 4.8: Flux d'informations sur les prévisions de la demande

- La situation actuelle devrait être examinée. Cela concerne: le système existant d'approvisionnement, la croissance historique de la demande, l'impact des pénuries d'approvisionnement et l'évaluation des demandes unitaires actuelles par catégorie de consommateur.
- La variation annuelle de la demande et sa variation journalière. Cela est particulièrement important dans les zones côtières du bassin méditerranéen, à cause des grands changements climatiques entre l'hiver et l'été, et surtout à cause de la grande variation saisonnière de la demande du fait des afflux touristiques à la fin du printemps, en été et au début de l'automne.
- Le recensement de la population actuelle et sa croissance probable à un horizon donné, y compris plans urbains et prévisions touristiques. Cela constituera un objectif de planification pour les demandes d'approvisionnements en eau futures.
- Les critères de consommation devraient être développés, afin de permettre l'estimation de la demande future des ménages, des industries, du commerce, etc.
- Les prévisions de la demande en eau peuvent être faites sur la base de ce qui précède, selon la demande de base et celle de pointe.
- La capacité de l'approvisionnement actuel à satisfaire la demande quantitative et qualitative.

En l'absence de données sur la demande actuelle par habitant, une quantité minimale de 40 litres par habitant par jour (l/h/j) peut être considérée comme nécessaire pour les besoins domestiques et d'hygiène personnelle. Dans les grandes villes, la demande en eau peut atteindre 100 à 250 l/h/j, et 500 l/h/j pour les touristes, y compris l'entretien d'agrément des hôtels. Pour les petites villes et les zones rurales, cela peut varier entre 80 et 150 l/h/j.

#### **4.6.2 Demande en eau industrielle**

Les demandes en eau industrielle devraient prendre en considération les types, la taille et le nombre escompté d'installations industrielles et les besoins spécifiques des secteurs industriels. Les prévisions des demandes en eau à des fins industrielles devraient être coordonnées avec les études économiques prospectives du développement industriel et prendre en compte le lieu et le type d'utilisation, les volumes, la qualité ainsi que la localisation des retours d'eau, du traitement et du rejet des déchets. L'utilisation d'eau industrielle peut être estimée à partir des volumes d'eau fournis à l'installation, pouvant comprendre la réutilisation ainsi que les pertes dues au transport, à l'évaporation, au suintement et aux fuites. Les taux d'utilisation d'eau dans les industries existantes devraient s'appuyer sur les pratiques y ayant cours. Pour les industries programmées, les normes internationales connues devraient s'appliquer. Les demandes en eau par installation industrielle varient selon la technologie utilisée. Pour un grand nombre d'industries, les prélèvements d'eau par unité de produit et par employé ont été réduits proportionnellement à l'accroissement de la réutilisation des eaux.

Les informations qui concernent la qualité des eaux usées industrielles, avant et après le traitement en particulier, devraient également être fournies.

Les demandes en eau commerciales sont calculées en fonction du nombre d'établissements commerciaux desservant la population et/ou de l'utilisation individuelle du produit commercialisé.

#### **4.6.3 Demande en eau agricole**

Cette demande devrait en premier lieu être fondée sur un aperçu général du secteur agricole dans le pays, et dans la région côtière, en particulier: état actuel de l'agriculture, contribution du secteur agricole à l'économie nationale, cadre de la politique générale. L'évaluation devrait comprendre les terres cultivées, les cultures, les pratiques agricoles et la population s'adonnant à l'agriculture.

Le modèle de croissance du secteur agricole devrait être étudié ainsi que sa contribution au revenu national, à la création de capital et d'emploi. De même les projections de la demande en produits agricoles devraient être déterminées.

La demande en eau agricole est celle qui est nécessaire pour les cultures comme complément au volume d'eau fourni par les précipitations efficaces directes.

Les estimations de la demande en eau pour le développement de l'irrigation dépendent de la terre et des observations de suivi de l'agriculture. Ces observations fourniront des informations sur les terres irrigables et sur les pratiques d'exploitation et de récolte pouvant être développées. La demande en eau d'irrigation devrait être déterminée sur la base des terres à cultiver, du climat, du type de sol, de la culture, et des systèmes de production mis en œuvre sur le terrain.

La demande d'eau d'irrigation peut être appréciée en confrontant les précipitations aux quantités d'eau utilisées dans les zones avoisinantes ou estimée à partir des besoins des cultures en fonction de la température et des pertes d'eau véritables. Les pertes au champ et de transport, peuvent augmenter de 50 pour cent l'eau d'irrigation et il y a lieu d'en tenir compte dans la demande en eau pour les cultures.

En résumé, la demande en eau pour l'agriculture devra inclure outre la terre et les systèmes de production, etc., les besoins des cultures, les pertes d'eau au champ, les pertes d'eau dues au transport et les demandes en eau du bétail.

## 4.7 Qualité de l'eau

La qualité de l'eau est une question de plus en plus importante pour plusieurs raisons:

1. Le nombre croissant de la population qui conduit à l'exploitation de ressources de moindre qualité.
2. La croissance démographique qui contribue à augmenter la pollution des écosystèmes naturels.
3. Les critères de qualité de l'eau qui sont devenus plus strictes avec le progrès de la protection sanitaire et de la sensibilisation du public à cette question.

La gestion intégrée des ressources en eau doit donc aborder les questions de qualité de l'eau à travers l'ensemble du processus de la gestion.

### 4.7.1 Système de suivi

Les différents critères de qualité de l'eau, tels ceux de la Directive 80/788/CEE (EU, 1980) de l'Union Européenne concernant la qualité d'eau potable et ceux des directives de l'OMS en matière d'eau potable (WHO, 1992) précisent les conditions de prélèvement des échantillons. La révision récente des différents critères a mis l'accent sur les exigences de l'échantillonnage afin qu'il soit plus centré sur le consommateur comme l'impose, de nos jours, la tendance universelle. Cela ne veut pas dire que l'échantillonnage ne doit pas avoir lieu ailleurs dans le système d'eau. Il s'agit plutôt d'encourager l'entreprise d'eau à connaître la façon de voir du consommateur. Pour comprendre pourquoi une qualité d'eau est jugée inacceptable il est nécessaire de l'avoir suivi à travers le système entier. Le suivi complet du système comprendra le suivi des incidents, mais aussi celui du milieu, pour fournir des informations de base sur la qualité "normale" de l'eau dans les différentes parties du système.

Un programme efficace de prélèvement d'échantillons doit être établi et les paramètres pertinents analysés. Un certain nombre de paramètres de base sont nécessaires pour caractériser différentes qualités d'eau, afin de protéger la santé et la sécurité du consommateur, mais aussi pour servir d'indicateurs de contamination potentielle inacceptable. Selon l'origine de l'eau, une attention particulière devrait être prêtée à certains types de contamination (voir le Tableau 4.1)

**Tableau 4.1: Source et type de contamination**

Source d'eau	Agents contaminants d'intérêt particulier
Zones agricoles	Eléments nutritifs, pesticides, herbicides
Zones industrielles	Métaux lourds, agents chimiques exotiques
Réutilisation des eaux usées	Agents microbiologiques exotiques

L'objectif de l'analyse des échantillons n'est pas seulement d'avoir une idée de la qualité de l'eau à travers le système, mais aussi de la caractériser et de pouvoir répondre positivement à tout incident se traduisant par une contamination. Des données insuffisantes ou mal appropriées peuvent induire un risque inacceptable au regard de la santé de la collectivité.

#### **4.7.2 Critères**

Les critères de qualité sont essentiels pour établir si la qualité de l'eau d'un système hydraulique est acceptable. Ils ont deux fonctions:

- établir des normes permettant d'accepter ou de refuser l'offre de qualité; et
- agir comme indicateur signalant toute dégradation possible de la qualité,

Il existe de nombreux critères de qualité. Ils concernent la qualité:

- de différentes sortes d'eau (par exemple l'eau potable, l'eau de récréation, etc.); et
- de différents pays (par exemple les Directives de l'UE, les Directives de l'OMS, les normes nationales).

Les directives de l'OMS en ce qui concerne les critères de potabilité représentent l'opinion d'experts internationaux sur ce que devrait être un approvisionnement en eau salubre, esthétiquement acceptable, et sûre pour le consommateur. Ces directives constituent un point de repère pour d'autres critères et normes nationales pour l'eau de boisson. La révision de 1992 des directives de 1984 est plus stricte, et reflète les changements de la notion d'eau salubre dans l'opinion mondiale. Les nouvelles directives de l'OMS sont maintenant généralement proches de celles de l'UE.

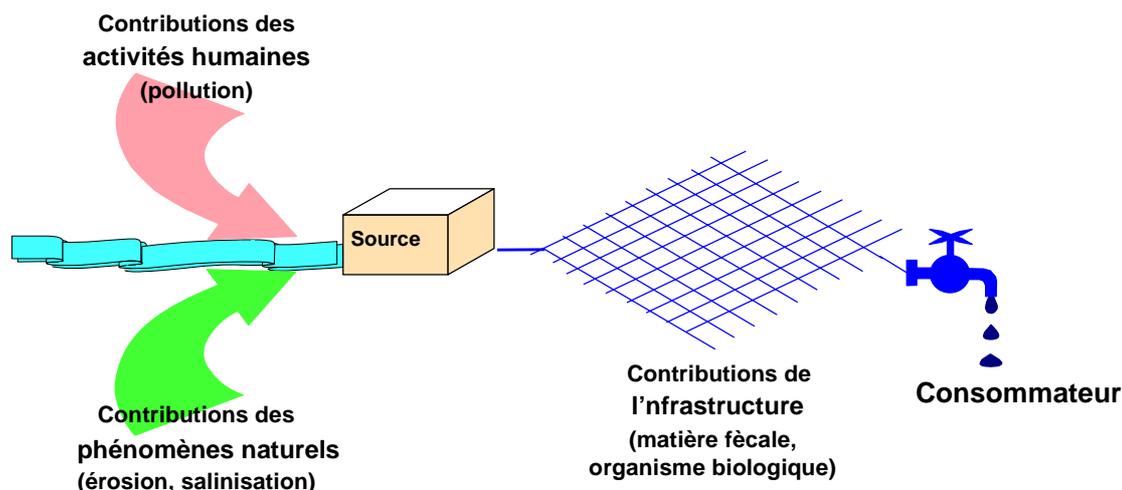
Les directives de l'UE sont par ailleurs en voie de révision. A première vue, exceptions faites de quelques métaux lourds et substances toxiques, elles semblent être moins restrictives. Les directives actuelles sont de nature normative. Les directives nouvellement proposées ne sont normatives que dans un domaine limité et elles introduisent le concept de "paramètres indicateurs", pour mettre en lumière toute contamination possible. D'après les nouvelles directives, les Etats membres sont tenus d'établir des normes nationales, qui respectent les exigences obligatoires des nouvelles directives, mais aussi de stipuler d'autres critères qui, au regard de l'opinion internationale, sont pertinents par rapport à leur situation locale propre. Ce changement dans l'esprit des directives de l'UE est en phase avec la nécessité pour les entreprises d'eau de répondre de leurs actes vis à vis de leurs consommateurs et non d'un quelconque organisme international.

Les directives recommandées par l'OMS sont largement reconnues dans plusieurs pays méditerranéens. Elles mettent en évidence les critères sur lesquels la recommandation a été faite qui souligne qu'il sera nécessaire, lors de l'établissement de normes nationales, de tenir compte de la variété de conditions géographique, économique, industrielle et diététiques locales.

#### **4.7.3 Sources de contamination**

Toutes les substances dans l'eau – même celles qui sont bénéfiques pour la santé humaine – pourraient être considérées comme éléments contaminant l'eau pure. Dans la nature, l'eau déminéralisée n'existe pas. Le problème se pose lorsque ces éléments sont en concentrations significatives rendant l'eau inacceptable pour son utilisation potentielle. Les sources de pollution peuvent être classées en trois groupes de sources, comme indiqué dans la Figure 4.9.

La pollution induite par des activités humaines a un impact direct sur l'environnement d'où l'eau est extraite. Ainsi en est-il du passage de fertilisants et d'autres produits agricoles dans un aquifère, de l'impact des eaux usées (même après épuration) sur les cours d'eau et l'environnement marin, du rejet direct des déchets industriels, du déversement des eaux pluviales et du trop plein des systèmes d'assainissement dans les cours d'eau et des incidents, tels que la pollution marine par déversement de pétrole, le sabotage de l'infrastructure hydraulique et autres accidents ou incendies. La liste est longue mais réelle. Ces questions, et bien d'autres liées à l'activité humaine, doivent être abordées dans la gestion intégrée de la qualité de l'eau. Ces questions sont généralement indépendantes des flux du système. Elles concernent l'ampleur des activités humaines comme par exemple le nombre de tonnes de fertilisants par hectare.



**Figure 4.9: Sources de contamination de la qualité de l'eau**

Les systèmes naturels subissent presque invariablement les effets des actions anthropiques. Par exemple les matières en suspension dans les cours d'eau, sont le résultat d'impacts d'érosion dans le bassin versant et/ou dans le lit d'un cours d'eau. Les activités humaines, tel l'abattage des arbres et les pratiques agricoles mal appropriées, augmentent invariablement l'érosion. La salinisation croissante d'un aquifère côtier à surface libre par l'intrusion marine est un autre exemple de problème causé par une exploitation excessive ou encore la stratification naturelle des réservoirs profonds pendant la période estivale, et qui cause des problèmes de fer et de manganèse. La différence entre la contamination induite par les systèmes naturels et celle par les systèmes d'activité humaine est que les premiers tendent toujours à rétablir l'équilibre. Même un bassin versant vierge subit une érosion, mais beaucoup plus lentement que lorsqu'on le déboise. L'érosion augmente avec le changement des caractéristiques du bassin versant. En fait, il se peut qu'elle soit accélérée jusqu'à ce que ce dernier trouve un nouvel état d'équilibre. Le problème est que dans ce nouvel état d'équilibre, la qualité de l'eau est inacceptable. De même, pour un aquifère côtier, la salinité augmente du fait de la modification du bilan d'eau, et elle se stabilisera peut être à un niveau qui sera inacceptable. Le problème avec les systèmes naturels est qu'il faut trouver un équilibre adéquat qui maximise le rendement, sans pour autant créer des problèmes de qualité d'eau inacceptable.

Une source de contamination qu'on oublie souvent a trait à l'infrastructure du système lui-même. Des exemples sont connus de réseaux de conduites revêtues de goudron dégageant des hydrocarbures aromatiques, de grandes concentrations de métaux lourds provenant de tuyaux de plomb, des chlorures de vinyl provenant de certains tuyaux PVC et, bien entendu, d'eau douteuse provenant de la corrosion des tuyaux de fer sans revêtement. D'autres exemples concernent la croissance d'organismes biologiques tels les crustacés et les bactéries. Les problèmes de goût et d'odeurs sont une autre illustration de contamination interne du système. Une chloration excessive pourrait aussi causer des problèmes.

#### **4.7.4 Vulnérabilité du littoral**

Pour tout ce qui leur est interne, les systèmes côtiers ne sont pas différents des autres. Ils utilisent les mêmes matériaux, construisent leur infrastructures de la même manière que dans l'arrière pays et les exploitent de la même façon. Les différences dans les zones côtières concernent la localisation, et non le système lui-même.

Comme cela a déjà été dit, les zones côtières sont généralement les plus sensibles aux changements qui se produisent ailleurs. C'est particulièrement vrai pour les problèmes de qualité de l'eau. Leurs aquifères sont inmanquablement liés à la mer et, par conséquent, exposés aux problèmes de salinité. Ils se trouvent à l'aval des systèmes fluviaux et sont les utilisateurs finaux de l'eau affectée par l'impact des villes de l'arrière pays, de l'industrie et des activités rurales. Un point fondamental de la gestion intégrée des ressources en eau est qu'elle doit tenir compte de l'ensemble des bassins versants. C'est surtout le cas pour les problèmes de qualité d'eau. L'entreprise d'eau doit non seulement planifier et gérer son infrastructure dans le cadre des bassins

versants entiers, mais elle doit s'assurer aussi que les entreprises voisines procèdent de la même façon et qu'elles collaborent étroitement avec les autorités des zones côtières.

#### 4.7.5 Compréhension des problèmes de qualité de l'eau

Il est nécessaire de promouvoir une compréhension des problèmes de qualité de l'eau. La Figure 4.10 propose un certain nombre de questions à aborder dans le cadre d'un "agenda" qualité de l'eau.

Le but essentiel du premier point de l'agenda est l'examen des performances. Comme indiqué dans le point 4.7.1, l'échantillonnage devrait être fait à l'échelle du système entier, c.a.d :

- à la source;
- au niveau des ouvrages de traitement/production;
- à la distribution; et
- aux robinets/consommateurs.

Des informations supplémentaires, concernent les difficultés liées à la qualité de l'eau, rencontrées par certains consommateurs (par exemple base de données sur les réclamations) et les rapports d'activités ayant trait au nettoyage des tuyaux et des réservoirs, etc. Une fois rassemblées, ces informations fournissent les données nécessaires à l'examen du second point de l'agenda: définir les caractéristiques qualitatives de l'eau et prévoir les tendances en utilisant les techniques statistiques.

• Conformité aux critères	Où la qualité de l'eau est-elle inacceptable?
• Tendances:	Quelle est la variation en qualité dans le système? Y a t-il une tendance pouvant conduire à des problèmes futurs?
• Mécanismes:	Quelles sont les raisons de la qualité de l'eau constatée? Comment la quantité de l'eau change-t-elle? Impact de stratégies/actions alternatives?

Figure 4.10: l' "Agenda" qualité de l'eau

Le troisième point de l'agenda demande le développement de modèles pertinents qui, par simulation, établissent le rapport de cause à effet expliquant la genèse et l'évolution de la qualité de l'eau au cours de son passage à travers le système physique. La sophistication du modèle est fonction de la complexité du système concerné et de la précision requise. Cela peut être une simple équation mathématique, telle que la fonction de désintégration du chlore, ou un modèle mathématique sophistiqué qui prenne en compte plusieurs interactions se produisant dans la réalité. Ces modèles comprennent les différents modèles hydrogéologiques, les modèles d'écoulement et d'émagasinement, ainsi que des modèles de qualité de l'eau dans les systèmes de distribution.

Avec des données suffisantes et des analyses appropriées, on peut comprendre les questions liées à la qualité de l'eau, ouvrant la voie à une définition efficace des problèmes de qualité de l'eau et à leur solution.

#### 4.7.6 Gestion de la qualité de l'eau

Les problèmes de qualité sont importants car ils influent directement sur la santé de la collectivité. Même pour les systèmes d'eaux usées, du fait de leur évacuation dans un environnement marin pouvant être utilisé à des fins récréatives, l'établissement de normes minimums de qualité pourrait éviter les problèmes de santé (par exemple du fait de la consommation de fruits de mer contaminés). La qualité de l'eau est une question de moindre importance pour les systèmes d'irrigation mais qui peut devenir cruciale lorsqu'il s'agit de préserver un écosystème fragile de certains déversements périodiques dans le milieu.

La gestion des problèmes liées à la qualité de l'eau peut être envisagée selon deux concepts extrêmes:

- l'approche préventive (éviter ou prévenir une situation inacceptable); et
- l'approche corrective (rehausser la qualité de l'eau jusqu'à un niveau acceptable par traitement).

La première approche peut être qualifiée d'approche à la "source". Elle comprend les actions telles que le contrôle législatif et gouvernemental pour éviter toute situation inacceptable (contamination d'aquifère, éléments nutritifs en excédent et autres agents de contamination des eaux de surface). Elle dépend d'une mise en œuvre adéquate et de l'application de ces décisions. Elle n'est par conséquent pas toujours un moyen sûr de protection de la source. Elle comprend des solutions techniques, telles que la tenure publique des parties critiques des bassins versants, des travaux d'amélioration des cours d'eau pour aider les processus naturels à fournir de l'eau de bonne qualité, des systèmes de suivi et d'alerte en cas de nécessité de détourner l'eau de qualité inacceptable et des travaux techniques pour minimiser toute possibilité de contamination potentielle de l'eau. Ces mesures sont obligatoirement orientées vers l'action. Il se peut que cela ne soit pas possible ou rentable. C'est alors que le recours à des mesures correctives s'impose.

L'approche corrective s'attache à résoudre les problèmes de qualité de l'eau avant qu'elle ne parvienne au consommateur, ce qui, généralement, exige un certain traitement en fonction du système d'eau et du type de problèmes à traiter. Les options correctives concernent:

- le stockage en réservoirs;
- l'épuration des eaux:
  - floculation, sédimentation et filtration conventionnelles;
  - technologie membranaires;
  - technologie de dessalement;
  - technologies de traitement des eaux usées: boues activées, aération forcée, etc.;
  - désinfection;
  - systèmes de revêtement:
    - réhabilitation des conduites;
    - revêtement des réservoirs.

Lors de la définition des actions correctives, il est impératif de prendre en considération la totalité du système. Par exemple, une stratégie de désinfection doit rendre l'eau microbiologiquement sûre à travers le système tout entier. Elle ne doit pas induire d'autres problèmes de toxicité, de goût et d'odeurs par exemple. Elle doit, de plus, être fiable et se suffire à elle même.

### **Gestion des incidents**

La gestion des incidents est nécessaire pour fournir une réponse efficace à toute situation d'urgence inévitable au moment où cela arrive. Cela peut être une contamination à la suite d'un sabotage, d'événements naturels (précipitations excessives) ou d'une panne importante dans une installation de traitement. Quoi qu'il en soit, il est d'importance vitale de minimiser ou de maîtriser l'impact d'une situation d'urgence. Une communication adéquate avec le grand public et les consommateurs pourrait s'avérer un facteur déterminant qui les informerait sur la situation et les actions correctives nécessaires. La gestion des incidents est le moteur des "Plans d'intervention en cas d'urgence". Le "Plan d'urgence", prépare à faire face à une situation inattendue pouvant porter atteinte à la qualité de l'eau distribuée au consommateur ou déversée dans le milieu récepteur.

## **4.8 Considérations environnementales**

Au sens général, l'environnement couvre nombre de situations diverses. Il concerne les circonstances, les alentours et les conditions au sein desquels un système fonctionne. Dans ce contexte, s'agissant de la gestion des ressources en eau, l'environnement peut être partagé en deux catégories principales:

- l'environnement de l'activité humaine; et
- l'environnement naturel.

L'environnement de l'activité humaine fait généralement l'objet du développement et de la gestion des ressources en eau. L'intention est de fournir l'eau et/ou de l'évacuer après son utilisation par l'homme. On y associe certaines questions, telles que le niveau de vie, la prospérité économique à travers la valeur ajoutée (tourisme et industries manufacturières), le maintien et l'amélioration de la santé humaine, etc. Ces aspects environnementaux sont normalement englobés dans la planification et la gestion des ressources en eau. Ils ne seront pas là étudiés plus en détail.

Les systèmes naturels constituent l'autre catégorie d'"environnement". Ces systèmes ne sont pas toujours traités de manière adéquate. Dans le passé, le système naturel a été considéré comme pouvant être exploité et pouvant se régénérer de lui-même. En réalité, cela n'est pas vrai et nous avons l'obligation de reconnaître et de prendre soin de l'environnement naturel. Faute de quoi, nous serons la cause non seulement des pertes d'habitats uniques et d'écosystèmes naturels mais nous finirons par créer de nouvelles situations d'équilibre instable qui ne permettraient plus au système de produire des ressources en eau de bonne qualité. Cette partie du texte concerne l'impact du développement des ressources en eau sur les écosystèmes, ainsi que sa gestion.

#### 4.8.1 Questions environnementales

Les questions environnementales concernent les changements des équilibres naturels. Nombre de ces questions influent directement ou indirectement sur la gestion des ressources en eau.

Les questions environnementales deviennent d'actualité non pas pour des considérations financières, mais plutôt à cause des changements qui bousculent les valeurs et convictions de la collectivité. Cela peut aller au delà des frontières nationales, comme par exemple "l'inscription sur la liste du patrimoine mondial" des aires de valeur environnementale significative. Les collectivités concernées considèrent que les changements sont inacceptables et les arguments deviennent émotionnels et extrêmement politiques.

Qu'ils aient un impact direct ou indirect sur l'entreprise d'eau, ils doivent être abordés et traités comme partie intégrante de la gestion intégrée des ressources en eau.

Il y a plusieurs façons d'examiner les questions environnementales. Deux d'entre elles prennent en considération la durabilité des changements: le changement est-il irréversible? quelles sont les causes de ces changements?.

La question du changement durable provoque souvent de longues discussions entre les différents groupes intéressés, surtout lorsque il est irréversible. Le Tableau 4.2 catégorise les changements relatifs à certaines questions environnementales du réversible à l'irréversible. Cette liste n'est pas exhaustive, la réversibilité d'un changement environnemental pouvant varier selon les conditions locales. Elle est une illustration généralisée du concept de réversibilité des changements.

La question de salinisation par l'exemple. Dans un aquifère, les niveaux de salinité peuvent être modifiés lorsque l'exploitation de l'aquifère excède sa recharge. Il y a certes un effet de retard par rapport au régime d'extraction, mais, avec le temps, les niveaux de salinité se stabiliseront à un autre niveau plus élevé. Pour les sols, la question est quelque peu différente: le sel se déplace vers le sol soumis à des pratiques inadéquates d'irrigation et il est beaucoup plus difficile de retrouver la productivité antérieure, même après que les niveaux hydrostatiques aient été ajustés.

**Tableau 4.2: Réversibilité de changements dans l'environnement**

Réversibles		Irréversibles	
(bactériens)	Pollution de l'eau	(déversements toxiques)	
(chimiques)		(de sédiments)	
(eau)	Salinisation	(sol)	
	Perte d'habitat		
	Réduction d'espèces sauvages		
(sols profonds)		Erosion	(sols minces)
			Pertes de biodiversité
			Destruction des caractéristiques naturelles

**Tableau 4.3: Exemples de changements dans l'environnement naturel**

Ajouter à l'environnement	Prendre de l'environnement
Matière <ul style="list-style-type: none"> <li>• apports eau</li> <li>• matière organique</li> <li>• apports solides</li> <li>• substances nutritives</li> <li>• éléments chimiques exotiques</li> </ul>	Eau <ul style="list-style-type: none"> <li>• dérivation de rivières</li> <li>• transfert entre bassins versants</li> <li>• drainage des terres basses</li> <li>• prélèvements à partir des aquifères</li> </ul>
Structures <ul style="list-style-type: none"> <li>• barrages</li> <li>• revêtement de chenaux</li> <li>• ouvrages de dérivation</li> </ul>	Végétation <ul style="list-style-type: none"> <li>• activités forestières</li> <li>• reconversion à l'irrigation</li> <li>• dégagement des francs bords de rivières</li> </ul>
Flore et faune <ul style="list-style-type: none"> <li>• arbres exotiques</li> <li>• mauvaises herbes et insectes nuisibles</li> <li>• animaux et poissons exotiques</li> </ul>	Caractéristiques naturelles <ul style="list-style-type: none"> <li>• zones piscicoles</li> <li>• variation de marée</li> <li>• submersion d'écosystèmes</li> </ul>

Même si les problèmes de changements réversibles ne doivent pas être ignorés, ce sont les problèmes d'irréversibilité qui retiendront l'attention du public et des organismes scientifiques. Il est donc nécessaire de s'en préoccuper particulièrement.

La cause des changements environnementaux peut être examinée de façon arithmétique; un changement se produit du fait que des actions humaines s'ajoutent à l'environnement naturel, un autre changement se produit parce qu'on en a prélevé une partie (voir Tableau 4.3).

Quelque soit la raison des changements produits dans l'environnement, l'important est que l'entreprise d'eau s'assure que dans le cadre de la gestion d'ensemble des systèmes terrestres, les changements seront durables et qu'ils offriront des bénéfices globaux sans porter d'atteinte inacceptable ni aux systèmes anthropiques ni aux systèmes naturels.

#### **4.8.2 Impact sur l'environnement des activités hydrauliques**

La question de l'impact sur l'environnement a été examinée en partie, au point 4.8.1. Les opérations dans le domaine de l'eau peuvent être considérées comme ayant des impacts à la fois positifs et négatifs. Le décideur a besoin d'apprécier les avantages et les inconvénients de ces impacts (dans le cadre des problèmes et des impacts d'un système plus large) pour pouvoir décider si l'activité proposée devrait être continuée ou pas ou si elle devrait être modifiée pour prendre en considération les impacts sur l'environnement qui sont nuisibles et inacceptables.

L'intention n'est pas ici d'entrer dans les détails de tous les impacts favorables ou nuisibles; mais plutôt d'indiquer les types d'impacts devant être pris en considération.

##### ***Impacts bénéfiques***

- **Vulnérabilité réduite:** dans les zones qui sont sujettes à la sécheresse, le stockage en réservoir est susceptible (excepté en périodes de grandes sécheresses) d'offrir à un écosystème une certaine sécurité au moment où il sera soumis à la pression de circonstances défavorables.
- **Stabilité:** la régularisation des systèmes anthropiques permet d'entretenir durablement flore et faune.
- **Ecosystèmes privilégiés:** de même, par une régularisation contrôlée, l'homme peut modifier l'environnement dans le but de privilégier un environnement particulier et de créer une valeur ajoutée à l'environnement naturel.

### **Impacts nuisibles**

- **Pertes d'écosystèmes:** en raison d'inondations, de pollution continue provenant par exemple du déversement d'eaux usées, les écosystèmes peuvent être détruits ou endommagés de manière irréparable au point de dépérir.
- **Croissance incontrôlée:** du fait de déversements d'eaux riches en éléments nutritifs, la multiplication d'algues pourrait changer les caractéristiques de l'environnement. La même chose pourrait se produire avec les espèces supérieures d'êtres vivants, lorsque disparaissent les conditions naturelles précédentes qui les ont tenues sous contrôle.
- **Manque de vigueur:** la conséquence naturelle d'un environnement stable est un appauvrissement de la biodiversité et une tendance à la monoculture. Cela augmente la vulnérabilité des espèces quand des conditions anormales surviennent.

Les impacts sur l'environnement ont également une dimension temporelle. Certains problèmes d'environnement s'inscrivent dans le temps, d'autres sont éphémères. Par exemple, l'épuisement ou la contamination des aquifères se développent typiquement durant de longues périodes de temps. Inversement, ces aquifères mettent longtemps à récupérer. Par contre, un écosystème aquatique naturel peut disparaître pour toujours en une nuit. En termes de gestion des ressources en eau, les problèmes urgents d'environnement sont prioritaires, mais cela ne veut pas dire qu'il faut négliger ceux à long terme car ils pourraient avoir un impact plus considérable.

Un autre impact des changements dans l'environnement concernant la dimension de temps est l'aspect de prévisibilité. Certains aspects de changement de l'environnement sont en cours, par exemple le changement graduel d'un écosystème lorsqu'il s'adapte aux nouveaux modèles de débits. D'autres impacts sont catastrophiques, tels que l'inondation et la sécheresse. La gestion des ressources en eau cherche à minimiser les impacts hydrauliques mais quand le réservoir est le plein, la plaine est déjà inondée. De même, quand il est vide, le lit de rivière se dessèche. Dans ces cas extrêmes, il y aurait des impacts aigus sur l'environnement, vu que, entre-temps, les systèmes ont perdu un peu de leur élasticité durant les périodes de stabilité relativement longues. Une entreprise d'eau devrait tenir compte non seulement des impacts "ordinaires" mais devrait aussi prendre en considération les Plans d'intervention en cas d'urgence.

#### **4.8.3 Les indicateurs de l'environnement**

Les indicateurs de l'environnement sont généralement de deux types:

- les indicateurs de la qualité de l'eau; et
- les indicateurs des écosystèmes.

Pour la qualité de l'eau voir les points 4.7.1 et 4.7.2.

Les indicateurs des écosystèmes concernent différents types de suivis tels que ceux de la densité biologique, de la biodiversité, etc. Cela pourrait être une recherche biologique de macro-invertébrés dans un cours d'eau, un suivi de densité dans une forêt ou une étude de stress chez les crustacées dans un milieu marin. Selon la nature du problème environnemental, des suivis appropriés peuvent fournir des informations de base et permettre de suivre les impacts favorables et nuisibles des changements dans l'environnement.

#### **4.8.4 Contrôles environnementaux**

Il n'y a pas de mesures adéquates disponibles simples et toutes faites pour s'attaquer aux problèmes des impacts négatifs sur l'environnement. Chaque situation est unique et exige ses propres évaluation et solution. A titre indicatif, les contrôles environnementaux peuvent être soit (et/ou):

- des contrôles de planification;
- des contrôles techniques;
- des contrôles opérationnels.

**Les contrôles de planification** cherchent à éviter un problème ou à l'identifier, et à trouver la meilleure façon de le gérer avant qu'il n'affecte l'environnement. Si le type et l'ampleur du problème

d'environnement l'exigent, il se peut qu'il soit nécessaire de suivre une procédure formelle externe imposée par l'Etat. Le problème sera de toute façon soumis à une procédure interne comme cela a été dit au point 4.1. La procédure interne examinera les problèmes d'environnement selon l'impact qu'ils ont sur les objectifs de l'entreprise d'eau en matière d'approvisionnement et/ou de rejet et selon leurs rapports avec les autres questions plus importantes. Il se peut que, grâce à une planification réfléchie, ces problèmes ne soient pas significatifs ou qu'ils puissent être gérés de l'intérieur. Selon le résultat de cette planification intérieure, une évaluation plus formalisée de l'environnement pourrait s'avérer nécessaire.

Les procédures formelles, imposées par les agences officielles en charge de la planification, portent différentes appellations: Etude d'Impact sur l'Environnement (EIE), Rapports de Planification Environnementale (RPE), Evaluation Environnementale (EE) et Rapport d'Impacts sur l'Environnement (RIE). Les différentes appellations concernent parfois différents niveaux de détail exigés, selon l'importance de l'impact sur l'environnement. Quoi qu'il en soit, ces procédures sont une opportunité pour que le public contribue aux débats sur les propositions pouvant influencer leur environnement. Un tel processus d'évaluation de l'impact des opérations proposées permettra d'émettre des recommandations et, si nécessaire, de formuler des mesures d'atténuation des effets négatifs.

**Les contrôles techniques** concernent les structures à mettre en place pour atténuer les effets négatifs. Ils sont essentiels, n'ajoutent généralement pas de valeur financière à l'eau mais qui ont une influence sur l'amélioration de l'environnement et/ou de la qualité de la vie. Comme exemples de contrôles techniques de l'environnement on peut citer: la recharge artificielle des aquifères pour maintenir les niveaux hydrostatiques, l'installation ou l'amélioration de stations d'épuration pour produire une eau de qualité supérieure et l'installation de mailles permettant la migration des poissons.

**Les contrôles opérationnels** sont des actions effectuées par l'entreprise d'eau pour atténuer les impacts négatifs, actuels ou potentiels, de son infrastructure sur l'environnement. Les actions opérationnelles préventives pourraient comprendre: le déversements des eaux de réservoirs dans le milieu, les programmes de reboisement pour minimiser l'érosion ou des initiatives pour substituer certains produits, tels les détergents sans phosphore. Les mesures correctives pourraient comprendre le nettoyage des rivières après un déversement chimique, la désinfection supplémentaire après une alerte de contamination ou un programme de secours aux animaux pendant ou après les inondations et les incendies. En cas d'impacts imprévisibles, il y a lieu de déclencher les Plans d'Intervention d'Urgence.

Avec une combinaison appropriée de ces contrôles, l'entreprise d'eau devrait être en mesure de gérer les problèmes d'environnement de manière qu'il lui soit possible d'atteindre ses objectifs fondamentaux, avec l'appui de la collectivité et dans un environnement durablement préservé.

#### **4.8.5 Planification pour l'environnement**

Treize questions peuvent être intégrées dans la planification de stratégies pour la protection environnementale:

- évaluation et prévision des quantités et de la qualité de l'eau sujettes à des problèmes de pollution;
- systèmes efficaces d'alerte d'inondations et de sécheresses;
- systèmes de suivi sur les bassins versants unitaires;
- promotion des centres de suivi sanitaire des animaux aquatiques;
- nouvelle évaluation et application de procédures d'évaluation rapide;
- développement et application de procédures d'évaluation rapide;
- programmes de développement dans les régions à hauts risques;
- amélioration des législations/accords nationaux pour la gestion de la pollution transfrontière;

- renforcement de la mise en œuvre des mesures de prévention et de contrôle des pollutions;
- là où cela est possible, l'utilisation des instruments économiques pour encourager le comportement responsable de l'utilisateur;
- développement et application de technologies à bon marché, de technologies propres, ou de recyclage et des biotechnologies, y compris les technologies locales;
- établissement de programmes nationaux de surveillance destinés aux zones à risques;
- développement de programmes pour identifier et contrôler les maladies hydriques.

#### **4.8.6 Evaluations d'impact sur l'environnement des projets hydrauliques**

Une Etude d'Impact sur l'Environnement (EIE) est un processus complet dans le cadre duquel se déroule un projet de dimensions et de nature précises, de manière que la décision concernant son approbation et son exécution éventuelle s'appuie sur une connaissance bien fondée des conséquences environnementales (Figure 4.11). L'EIE étudie et évalue ses impacts sur l'environnement lesquels varient en dimensions et en importance, selon la vulnérabilité de la zone et le degré de perturbation. Ce processus couvre de façon systématique la collecte d'informations sur la zone, les caractéristiques de son environnement, et la prévision des effets du développement sur cet environnement. L'EIE indiquera en connaissance de cause dans quelles conditions un projet de développement pourrait se réaliser.

Les objectifs-clés et les bénéfices d'une Etude d'Impact sur l'Environnement sont:

1. examiner et choisir la meilleure des options de projet disponibles;
2. identifier et intégrer dans le plan de projet des mesures de réduction et d'atténuation des impacts négatifs;
3. prévoir les impacts résiduels importants sur l'environnement;
4. identifier les coûts et avantages du projet au regard de la collectivité;
5. rassembler des informations supplémentaires relatives à la conception et à la prise de décision;
6. rationaliser le processus de consultation; et
7. encourager la coordination et l'entente entre les organismes responsables de l'environnement.

En général, il est envisagé que chaque projet de développement d'une certaine taille soit soumis à une évaluation d'impacts sur l'environnement. Le promoteur se doit de fournir des informations détaillées sur la description du projet, sa localisation, sa conception et ses dimensions.

Une EIE est principalement un outil de planification visant à empêcher les problèmes d'environnement provenant d'une activité. Elle cherche à éviter les fautes coûteuses dans la mise en œuvre du projet, du fait des dommages d'environnement pouvant survenir lors de la réalisation du projet, ou à cause des modifications pouvant être demandées ultérieurement, pour rendre l'activité concernée acceptable en termes d'environnement.

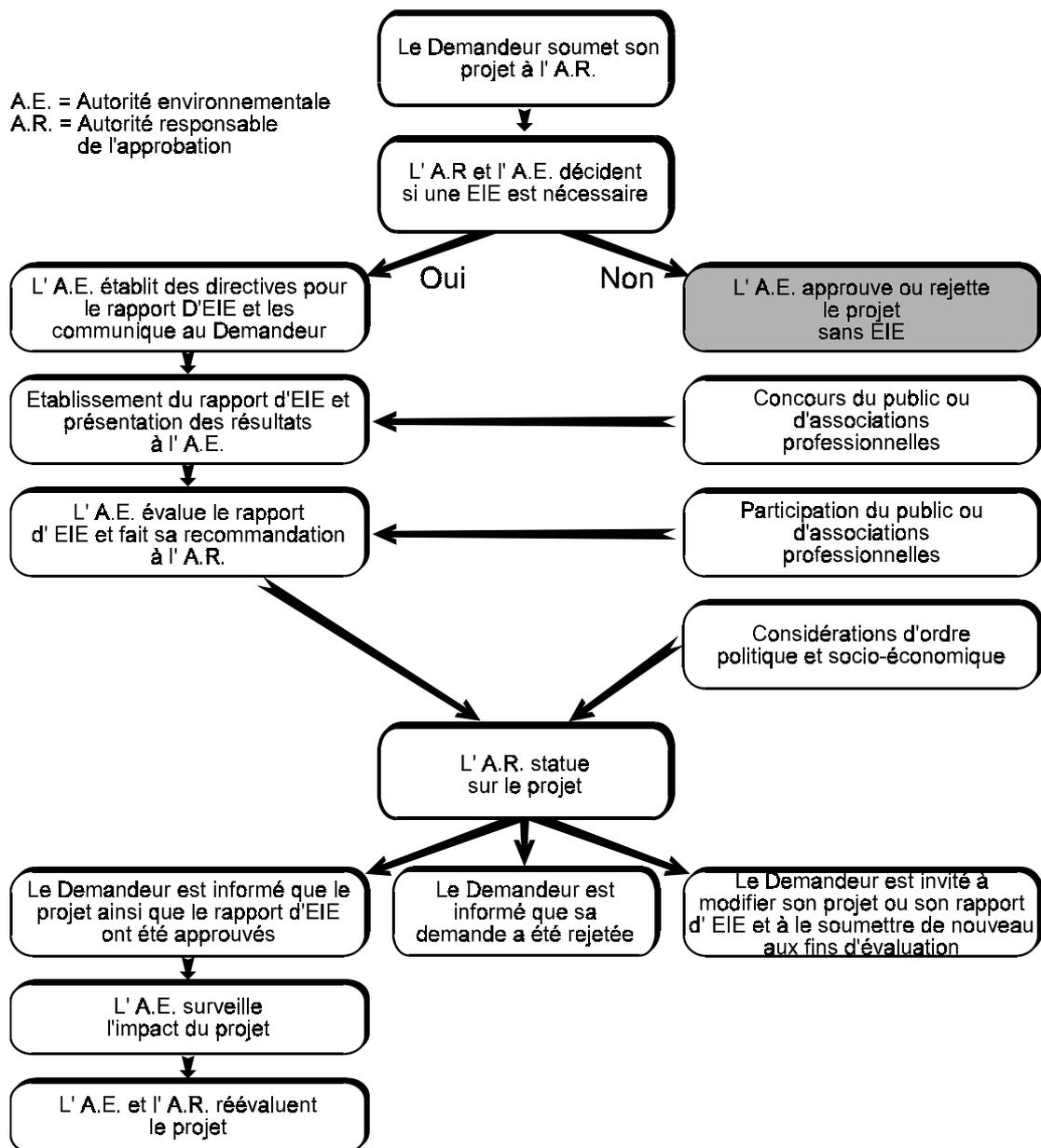


Figure 4.11: Diagramme simplifié de déroulement d'une EIE (PNUE-PAP, 1995)

### Le secteur de l'eau

L'identification, la caractérisation et les principes sous-jacents aux EIE de différents types d'action sont applicables aussi dans le secteur de l'eau. Cela concerne les projets hydrauliques tels les changements hydrographiques, la recharge des aquifères, les adductions d'eau et aqueducs, les principaux systèmes d'assainissement urbains, les voies de navigation, les travaux de drainage, les barrages, les ports, abris et digues, les réservoirs, les stations d'épuration des eaux usées, les installations de dessalement, les travaux d'assèchement et de dragage, les centrales hydroélectriques, le transport et les loisirs impliquant des plans d'eau.

Au sein du programme de développement et de gestion intégrée des ressources en eau défini dans l'Action 21, seize activités ont été proposées. Ces activités reconnaissent et mettent en œuvre, directement ou indirectement, le besoin de l'Etude d'Impact sur l'Environnement comme instrument d'une gestion améliorée des ressources en eau. Cela comprend:

1. L'intégration de mesures de protection et de conservation des sources potentielles en approvisionnement en eau douce, telles que l'inventaire des ressources en eau,

l'aménagement du territoire, l'utilisation des forêts, la protection des versants de montagnes et des bords de rivières, ainsi que d'autres opérations et activités de conservation.

2. Le développement d'une base de données interactives, de modèles de simulation, de modèles de planification économique et de méthodologies de planification et de gestion des eaux.
3. La gestion des inondations et des sécheresses, y compris l'analyse de risques et l'évaluation de l'impact sur l'environnement et la société.

### ***Evaluation du milieu aquatique***

Les impacts sur le milieu hydrique vont de la pollution marine jusqu'à la qualité de l'eau du robinet. Les effets indirects des changements qui affectent les masses ou les systèmes d'eau sont souvent plus importants que les effets directs. La vie aquatique, les systèmes aquifères, les habitats de la vie sauvage, les loisirs, l'irrigation et les interactions avec les cours d'eau ou les étangs sont influencés par toute variation du niveau de l'eau.

Chacun des secteurs de l'eau pourrait être évalué de plusieurs façons différentes:

- comme composante d'un système hydrologique global;
- comme habitat de la vie sauvage locale;
- comme source d'eau domestique ou industrielle; et
- comme milieu de récréation.

Les secteurs d'eau identifiés dans une telle évaluation comprennent:

- l'eau courante – écologie des ruisseaux, rigoles, rivières et cours d'eau;
- l'eau stagnante – écologie des étangs, des lacs;
- les marais et zones marécageuses;
- l'eau courante ou stagnante utilisée pour les activités récréatives et sportives;
- les systèmes hydrologiques – aquifères, nappes souterraines;
- l'approvisionnement en eau naturelle – puits, forages d'eau;
- l'eau courante ou stagnante utilisée à des fins commerciales – pêche, pisciculture;
- la collecte d'eau pluviale;
- les réservoirs;
- les eaux de mer et systèmes estuariens; et
- l'exhaure existant.

### ***Impacts environnementaux sur l'eau***

Les projets de développement ont différents effets sur l'eau:

1. perturbation physique de la masse d'eau;
2. introduction de polluants ou de produits chimiques; et
3. modification de l'écoulement.

**Les effets physiques:** la dérivation ou le récalibrage des cours d'eau détériorent l'écologie des berges et entraînent la formation de différentes obstructions qui altèrent l'écoulement. La sédimentation ou l'érosion qui en résulte change le lit du cours d'eau. Les excavations ou le remblayage altèrent les masses d'eau, y compris les utilisations récréatives et commerciales.

**Les effets des polluants:** l'eau est sensible aux petites altérations de sa composition, et le dommage est souvent irréversible. Les effets cumulatifs du déversement des effluents dans des systèmes d'eau peuvent avoir un impact considérable. Sont concernés les fertilisants, pesticides, alcalis, acides et autres effluents qui modifient la chimie de l'eau.

Les eaux de mer et d'estuaires sont particulièrement sensibles aux changements de salinité causés par la perturbation du débit des rivières. Le mode de déversement des effluents est important car les concentrations peuvent déséquilibrer l'écologie de l'eau.

**Les effets sur l'écoulement:** L'utilisation de l'eau pour l'industrie et le refroidissement, sa dérivation, ou son extraction lors de travaux d'excavation ou de terrassement réduisent le débit disponible pour l'approvisionnement en eau.

## **Encadré 8**

### **Déroulement d'une EIE à Malte**

A Malte, la Loi sur la Protection de l'Environnement (1991) stipule que tous les projets d'envergure ayant un impact potentiel sur l'environnement sont soumis à l'Étude d'Impact sur l'Environnement pour prévoir les effets du projet proposé sur le milieu physique, biologique, social et culturel.

La liste des projets nécessitant une EIE est établie par l'Autorité responsable de la Planification (AP). Les termes de référence pour un Rapport d'Impact sur l'Environnement (RIE) sont définis par le Service responsable de la Protection Environnementale (SPE), lors des discussions avec l'Autorité de Planification. Les questions-clés requises dans le cadre du RIE comprennent:

1. La description du projet de développement proposé, y compris les alternatives durant la construction et pendant l'exploitation:
  - caractéristiques physiques, y compris les détails d'accès et les arrangements de transport;
  - exigences concernant l'utilisation des terres et autres caractéristiques physiques du projet;
  - processus de production et caractéristiques opérationnelles, y compris types et quantités de matières premières, énergie hydrique et autres ressources, résidus, émissions, effluents, bruit, poussière, vibration;
  - principaux sites et processus alternatifs.
2. La description de l'environnement existant dans et autour du site en termes de caractéristiques physiques et de cadre de politique générale.

Caractéristiques physiques:

- population, habitations, lieux de travail;
- flore, faune et biologie marine (y compris habitats et espèces);
- sol, qualité agricole, dimensions et structure des fermes;
- géologie et géomorphologie;
- eau et caractéristiques hydrologiques;
- air, y compris facteurs climatiques, qualité de l'air, etc.;
- sites archéologiques et leurs caractéristiques, patrimoine architectural et historique, aires urbaines protégées et autres biens publics culturels;
- paysage et topographie;
- utilisation des terres;
- autres caractéristiques de l'environnement.

Cadre de politique générale: les politiques de planification définies par le plan directeur et les plans locaux sont examinés avec les autres politiques ministérielles (réglementations environnementales, contrôles financiers et économiques).

3. Évaluation d'impact du projet de développement proposé.

On décrit ci-après les effets du projet sur:

- a) les êtres humains:
  - effets sur la société (santé, bien-être, sécurité de la collectivité et effets économiques)
  - effets sur le paysage et le patrimoine culturel.
- b) les immeubles et les caractéristiques influencées par l'homme;
- c) la flore, la faune et la géologie;
- d) la terre et le sol, comprenant les effets sur: la topographie locale, le sol, la terre arable, les ressources en minerais, l'utilisation des terres avoisinantes, le rejet des déchets et les effets sur les aquifères, le réseau de drainage, les zones de recharge d'aquifères, l'hydrologie côtière et d'estuaire, la qualité de l'eau;
- e) l'air et le climat, y compris les émissions chimiques, les matières en particules, les couleurs voyantes;
- f) les effets indirects et secondaires associés au projet, y compris les effets de trafic et ceux générés par le projet ou requis pour le soutenir;
- g) l'évaluation des risques d'accidents et des activités dangereuses.

4. Conception de mesures d'atténuation: les mesures nécessaires pour prévenir, réduire et remédier les effets négatifs sont décrites.

Le projet de rapport d'EIE est ensuite soumis à l'Autorité responsable de la planification (AP), en consultation avec les agences publiques et gouvernementales, pour vérifier la cohérence avec les termes de référence et la mise en harmonie du point de vue technique. Une réunion publique est également organisée pour permettre la discussion sur le projet de RIE et pour suggérer aux promoteurs des améliorations pouvant être introduites. La proposition comprenant la version finale du RIE est soumise à l'AP aux fins de délibérations et décisions finales.



## **5. PROCEDURES POUR UNE APPROCHE INTEGREE DU DEVELOPPEMENT, DE LA GESTION ET DE L'UTILISATION DES RESSOURCES EN EAU COTIERES**

### **5.1 Introduction**

Bien que l'on considère que la quantité d'eau totale sur terre est restée pratiquement constante au cours de l'histoire, les périodes d'inondations et de sécheresse ont défié la capacité de l'homme à contrôler les ressources en eau qui sont à sa disposition. A l'heure actuelle, la croissance rapide de la population, celles de l'agriculture irriguée, le développement industriel et touristique, mettent l'accent sur les aspects quantitatifs et qualitatifs du système naturel. Les problèmes croissant, l'homme a commencé à se rendre compte qu'il ne peut plus simplement "utiliser et se débarrasser", des ressources en eau ou de toute autre ressource naturelle. Le besoin d'une politique cohérente de gestion rationnelle des eaux est donc devenu évident.

L'un des éléments importants de ce processus est le Plan Directeur des Ressources en Eau. Le Plan Directeur planifie, pour une période de temps donnée et une zone particulière, la meilleure solution possible aux problèmes posés à un moment considéré. C'est un plan détaillé et concret qui cherche à résoudre les problèmes actuels ou à venir dans une zone particulière durant la période de planification. Dans le processus de planification, le Plan Directeur offre les meilleures solutions aux problèmes de gestion et d'utilisation des ressources en eau, à partir de l'état de ces ressources et des programmes d'environnement.

Le Plan d'Action de Mar del Plata, adopté par la Conférence des Nations Unies sur l'Eau, a recommandé la formulation de plans directeurs pour les pays, les régions et les bassins fluviaux, afin de disposer d'une planification prospective à long terme, comprenant la conservation des ressources, utilisant des outils de planification tels les analyses systémiques et les modèles mathématiques, chaque fois que cela est opportun. Le Plan d'Action précité a aussi recommandé que la planification soit considérée comme une activité permanente et que les plans à long terme devraient être revus et complétés périodiquement, tous les cinq ans par exemple.

Aujourd'hui, les demandes en eau dans la région méditerranéenne dépassent la capacité naturelle des ressources existantes. Il est donc nécessaire de résoudre des problèmes très complexes. C'est pourquoi il est essentiel d'examiner les multiples objectifs et de les analyser en tenant compte des caractéristiques spatio-temporelles et dynamiques des systèmes d'eau. La plupart des décisions de développement visent aujourd'hui des objectifs multiples, impliquant des dimensions et des valeurs économiques, sociales et environnementales. Cependant, jusqu'à récemment, ce fait n'a pas toujours été sérieusement pris en considération lors de la planification du développement des ressources en eau. Au lieu de cela, le développement économique a été considéré comme une fin en soi, faisant souvent peu de cas des effets négatifs sur les systèmes sociaux et culturels et sur l'environnement naturel. Avec le rythme soutenu du développement économique ces effets ne peuvent plus être passés sous silence. La nécessité de définir de façon rationnelle les plans de développement des ressources en eau, la nature multidisciplinaire de la planification, du développement et de l'utilisation des ressources en eau, nécessitant une coordination entre les différents organismes gouvernementaux concernés par l'eau, ainsi que le besoin de minimiser les impacts négatifs sur l'environnement ont augmenté la complexité du développement et de la gestion des ressources en eau.

Chaque problème et développement du plan de gestion et d'utilisation des ressources en eau constitue un cas spécifique avec ses différentes caractéristiques, de sorte qu'il est toujours nécessaire de choisir l'approche la plus adéquate à la solution spécifique. L'approche à utiliser dans la solution du problème devrait être fixée et sélectionnée dans le plan de l'étude.

## **Contexte de la planification et approche de la planification pour la gestion des ressources en eau**

En général, chaque modèle de planification peut être décrit comme suit (Helweg, 1985):

1. **Déterminer les objectifs:** Qu'est-ce que le client cherche à accomplir? Ces objectifs peuvent être clarifiés ou modifiés au cours du processus de planification.
2. **Concevoir un plan d'étude (planifier la planification):** Quelle approche répond à l'environnement actuel? Comment les planificateurs devraient-ils répartir les ressources (financières et autres) disponibles entre les différentes étapes et tâches?
3. **Obtenir les données:** Les quantités exactes et la qualité des données sont essentielles pour chaque étude.
4. **Formuler les alternatives:** Quelles activités sont viables pour répondre aux objectifs posés? Généralement, une ou deux devraient être présentées au client.
5. **Choisir une alternative comme plan:** Les alternatives s'évaluent en fonction des objectifs, le client devant prendre la décision finale.
6. **Mettre le plan en œuvre:** Cela est souvent confié à un contractant et l'engagement du planificateur se termine par un rapport résumant les cinq premières étapes; cependant, le planificateur devrait prendre part à la mise en œuvre.
7. **Conduire une analyse postprojet:** Cela fait rarement partie de l'étude de planification et il y a des avis contraires à ce sujet. Si l'analyse est faite, elle permet de comparer les résultats prévus du plan à ceux qui ont été obtenus et d'analyser les différences.

Il est donc évident qu'au début chaque modèle de planification doit répondre à deux exigences: l'identification et la définition du contexte du projet, et le choix de l'approche de planification. L'analyse du contexte du projet et la sélection de l'approche possible de planification les mieux adaptées au problème spécifique, sont des facteurs décisifs pour le développement efficace du plan. Ces deux problèmes devraient donc être examinés avec une attention particulière, surtout si le problème est spécifique.

Ces deux termes: contexte de la planification et approche de la planification seront définis par le détail.

### **Contexte de planification**

Chaque étude de planification a un contexte différent et le planificateur adapte l'approche de la planification à ce contexte au début du processus de planification. Le contexte de la planification peut être représenté au travers trois éléments majeurs:

1. Les juridictions politiques du client.
2. L'ampleur de l'étude.
3. L'étape du processus de planification.

*La juridiction de la planification* décrit les principaux clients et les administrations responsables du plan: Elle peut être internationale (NU), fédérale, gouvernementale, intergouvernementale, locale, privée.

*L'étendue de la planification* décrit l'ampleur de l'étude. Elle peut être multisectorielle, sectorielle, fonctionnelle et élémentaire. La planification multisectorielle concerne par exemple un plan de développement; la planification sectorielle est un plan de ressources en eau dans le cadre du plan multisectoriel; la planification fonctionnelle est un plan de traitement des eaux usées, d'approvisionnement en eau, etc., en tant que fonctions du secteur de l'eau; le système de distribution d'eau, les réservoirs, les stations de pompage, etc. sont des éléments de planification fonctionnelle de l'approvisionnement en eau.

*L'étape de planification* décrit le niveau de détails nécessaire. Les étapes de planification peuvent être générales ou avoir un caractère spécifique. Les phases générales sont: la planification de la politique, planification-cadre, la planification de l'appréciation générale, la planification de la mise en œuvre et la conception de projet.

La planification de la politique générale définit les buts. La planification-cadre ou projet de planification définit, dans les grandes lignes, les besoins, les opportunités et les données qui nécessitent des études de planification additionnelles. La planification d'appréciation générale (comme par exemple le plan d'un bassin fluvial) est encore suffisamment large mais elle recommande des activités et des indicateurs économiques approximatifs, pour fixer les priorités de la planification de la mise en œuvre. La planification de la mise en œuvre détaille et évalue les stratégies, élabore et prépare le concept. A la fin, vient la conception du projet qui produit les documents d'appel d'offres, les spécifications et les détails d'élaboration.

La planification de problèmes plus globaux et plus complexes devrait suivre la même démarche pour éviter la répétition des étapes de planification et, éventuellement, obtenir des résultats performants. Pour des projets moins importants, ces étapes peuvent être éliminées, pour peu que les objectifs et les résultats des étapes précédentes du processus de planification soient clairement définis.

Un contexte de la planification plus détaillé peut être décrit par: les systèmes politique, sociologique, culturel, institutionnel, et juridictionnel du client, par l'ampleur de l'étude, ses étapes, son aire géographique, son objectif, ses contraintes techniques, sa situation financière et économique.

La connaissance du contexte de la planification permet de choisir une approche optimale et, en même temps, de déterminer la région dans laquelle les alternatives formulées seraient viables.

### ***Approche de planification***

Comment définir et choisir l'approche adéquate de planification? Comme cela a été dit précédemment, cette approche dépend du contexte de planification, et surtout de l'étendue de cette dernière. L'approche de planification a trois dimensions importantes: le contrôle, le type de couverture et le degré de rigidité.

Le contrôle de planification détermine le degré de contrôle exercé par la planificateur en ce qui concerne les buts, les objectifs et le déroulement de l'étude de planification. C'est fréquemment, la personnalité juridique d'un plan qui déterminera l'ampleur du contrôle à effectuer par le planificateur, depuis le contrôle du client jusqu'à celui du planificateur.

La couverture de planification peut être rationnelle globalisante ou discrète et progressive. L'ampleur du plan déterminera généralement le type de couverture devant être utilisé. La planification multisectorielle requiert une couverture rationnelle globalisante, tandis que les plans opérationnels et sectoriels exigent une approche discrète et progressive.

La rigidité exprime la différence entre la "planification d'exécution" et la "planification de processus". L'étape détermine le degré de rigidité, de sorte que la détermination de la politique générale et les schémas directeurs relèvent plus d'une "planification de processus", du fait de l'insuffisance des informations disponibles. A mesure que l'on avance dans l'appréciation générale, la mise en œuvre et les plans de conception du projet deviennent plus rigides, et la tendance est vers la planification d'exécution.

Toutefois, la transition d'un processus à l'autre est flexible, en fonction du contexte du projet.

Ces considérations concernent tout type de planification et l'on devrait généralement, en tenir compte, pour obtenir les meilleurs résultats. Les effets de l'approche de planification et du contexte de planification sur l'élaboration de schémas directeurs et sur la planification des ressources en eau en général, seront examinés dans le chapitre suivant.

## **5.2 Utilisation, développement et gestion durables des ressources en eau côtières**

Il existe plusieurs définitions du terme "développement durable"; selon la Commission Mondiale de l'Environnement et du Développement (WCED) par exemple, c'est un "développement qui répond aux besoins des générations présentes sans porter atteinte à la capacité des générations futures de satisfaire leurs propres besoins" (WCED, 1987).

S'agissant des ressources naturelles, la définition est plus précise: "L'essence du développement durable est que les ressources naturelles doivent être utilisées de manière à ce qu'elles ne limitent

pas leur disponibilité pour les générations futures. Le développement durable des ressources en eau nécessite le respect du cycle hydrologique, en utilisant des ressources en eau renouvelables qui ne soient pas épuisées à long terme” (Engelman et LeRoy, 1993).

Pour l'Association Canadienne des Ressources en Eau, **l'éthique de la durabilité** veut dire:

*Une gestion réfléchie des ressources en eau qui implique un véritable engagement pour:*

- *l'intégrité écologique et la diversité biologique visant à garantir un environnement salubre;*
- *une économie dynamique; et*
- *l'équité sociale pour les générations présentes et futures.*

Sur la base de cette éthique de durabilité, **les principes de gestion des ressources en eau** sont:

**1. La pratique de la gestion intégrée des ressources en eau en:**

- reliant les quantités et qualité de l'eau à la gestion des autres ressources;
- reconnaissant les systèmes hydrologique, écologique, social et institutionnel; et en
- admettant l'importance des limites de bassins versants et des aquifères.

**2. L'encouragement de la conservation de l'eau et la protection de sa qualité en:**

- reconnaissant la valeur et les limites des ressources en eau, ainsi que le coût de l'approvisionnement en eau en quantité et en qualité adéquates;
- admettant leurs valeurs marchande et environnementale pour les êtres humains et les autres espèces vivantes; et en
- équilibrant l'éducation, les lois du marché et les systèmes régulateurs pour promouvoir le choix et en reconnaissant l'obligation des bénéficiaires à payer pour l'utilisation de la ressource.

**3. La résolution des problèmes de gestion des ressources en eau en:**

- utilisant la planification, le suivi et la recherche;
- fournissant des informations multidisciplinaires pour la prise de décisions;
- encourageant la consultation et la participation active de toutes les parties concernées et du grand public;
- utilisant la négociation et la médiation pour rechercher le consensus; et en
- responsabilisant par l'éducation, la libre communication, et l'accès à l'information.

Les ingénieurs et les scientifiques du domaine de l'eau doivent accepter les défis d'une telle approche et les traduire en projets d'exploitation et de conservation des ressources en eau. Les actes de la Conférence de Rio (Rio de Janeiro, 1992) et les autres documents (Haimés, 1992; Plate, 1993) ont expliqué cette approche par le détail.

Au niveau technique de la résolution des problèmes, le concept de “durabilité” a été traditionnellement respecté sous une terminologie différente, de sorte que son application n'est pas nouvelle. Les problèmes surgissent lorsque le concept doit être transféré dans le domaine du développement ou au niveau politique de la résolution des problèmes. Les objectifs pourraient alors être atteints en appliquant l'analyse systémique à la planification économique et environnementale, au développement et à la gestion. La première condition d'une gestion rationnelle est la planification et la gestion intégrées de ces ressources.

La planification et la gestion intégrées peuvent être définies comme un processus continu de gestion du développement visant à réconcilier la croissance économique et les objectifs de la société, avec la protection et la mise en valeur de l'environnement, c'est à dire visant à assurer un “développement durable”. Un élément essentiel de la procédure de planification est l'intégration de la gestion de l'environnement dans le processus de développement. La planification et la gestion intégrées sont principalement un processus orienté vers l'action, c'est à dire que l'intérêt, doit dès le début, se concentrer sur les problèmes critiques de la zone concernée et sur leurs solutions.

Le processus de planification des systèmes de ressources en eau est présenté dans la Figure 5.1. Il comprend quatre étapes:

1. Le démarrage;
2. Le recueil et le traitement de données;
3. La formulation et la sélection des alternatives de projet; et
4. Le développement des résultats de l'étude finale.

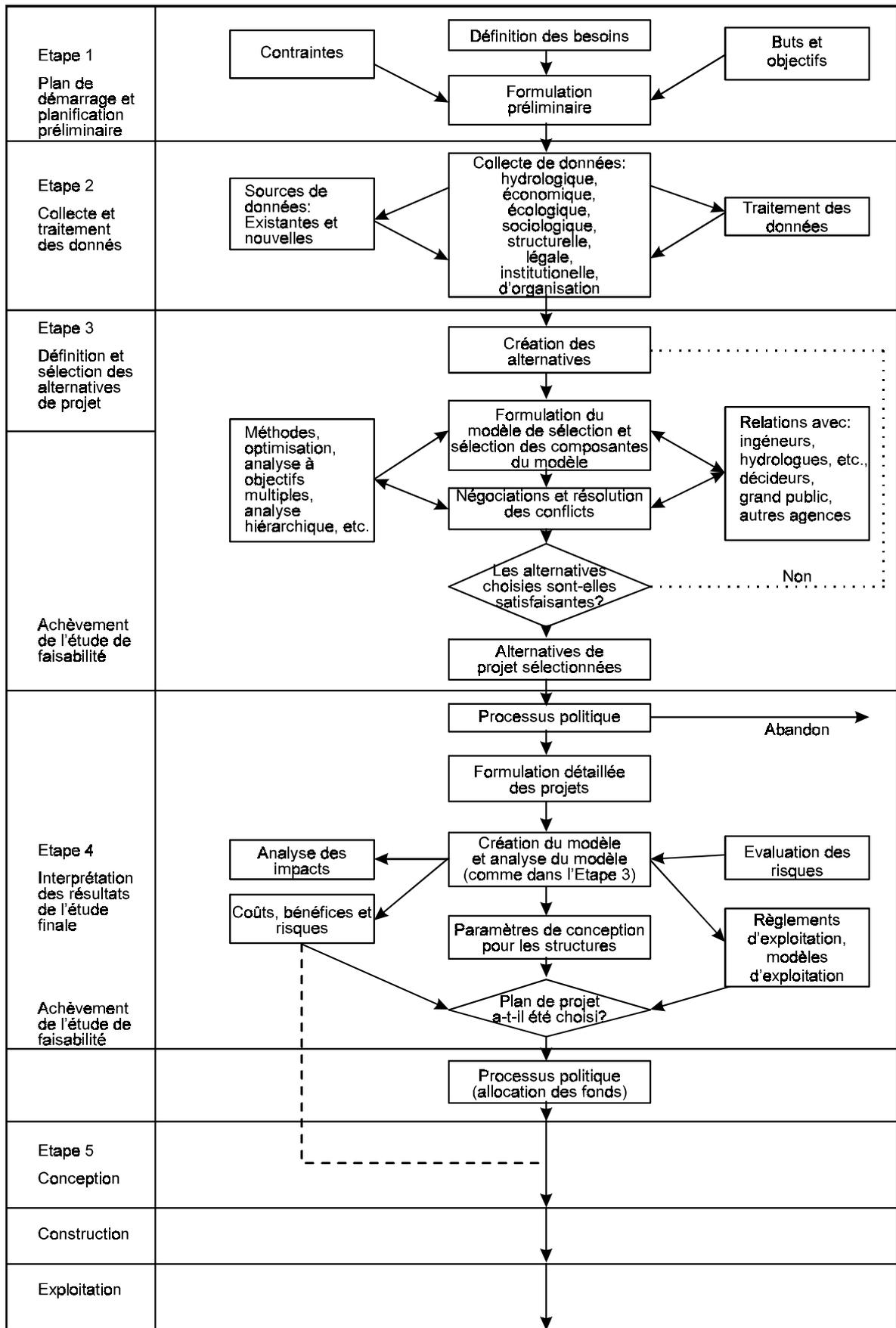


Figure 5.1: Les étapes du processus de planification du projet (Plate, 1993)

## **Encadré 9**

### **Points à souligner dans le développement durable des ressources en eau (Plate, 1993)**

#### **Planifier pour une société dynamique**

- La durabilité exige qu'on prenne en considération une utilisation à long terme sous les conditions futures. En fait, déjà dans la phase de planification et de conception, elle requiert une projection détaillée de futurs changements possibles dans l'utilisation du système de ressources en eau pour qu'il réponde aux besoins changeants.
- La durabilité implique que le système serve toujours ou presque toujours ses buts. Le système de ressources en eau nécessite des données pour qu'il soit amélioré sans interruption, et des règles d'exploitation qui doivent être adaptées pour pouvoir refléter les changements qui concernent la base de données et les demandes auxquelles le système doit répondre.
- Le cycle hydrologique est un processus aléatoire de sorte que les périodes de sécheresse sont imprévisibles autant qu'inévitables, et il est donc très probable que le système ne sera pas toujours capable de fournir suffisamment d'eau quand il le faut. Toutefois, la durabilité veut dire qu'on fera face aux pénuries d'approvisionnement sans impact excessif sur la société, cela veut dire qu'un plan d'urgence en cas de sécheresse existe.
- La durabilité implique que les systèmes assurent indéfiniment les services pour lesquels ils ont été conçus. Une auto-conservation est la condition sine qua non pour préserver l'utilité du système. Cela suppose également que la durée de vie d'un grand ouvrage ne soit pas courte et que les précautions financières et techniques ont été prises pour remplacer un ouvrage qui n'est plus utilisable. Cela signifie qu'un réservoir doit être conçu et exploité de manière à ce que sa capacité active de stockage ne soit aucunement réduite.

#### **Planifier pour changer l'environnement**

- Les planificateurs des ressources en eau responsables de la future utilisation des systèmes se posent souvent la question de savoir si des changements se produiront dans l'utilisation de la terre ou dans le climat et si ces changements modifieront la finalité et le rendement des systèmes. L'utilisation des terres peut altérer totalement ou partiellement un bassin versant ou une zone côtière. La durabilité implique que l'adaptation d'un système à un changement prévisible dans l'utilisation des terres peut se faire sans reconstructions coûteuses, ou que des précautions ont été prises pour s'adapter aux changements possibles.
- Quant aux projets à long terme, ils doivent prendre en considération le problème des changements climatiques. Cela est surtout important pour les zones côtières qui, selon les prévisions, seront fortement influencées par la température et la montée du niveau de la mer.

#### **Concevoir les ouvrages pour le développement durable**

- L'idée de durabilité s'applique aussi à la conception des ouvrages hydrauliques. Cela suppose que, moyennant une autre maintenance, les ouvrages (barrages, chenaux, etc.) auraient une durée indéfinie, ou que leur destruction causerait seulement une interruption maîtrisable des conditions de vie des populations affectées. Théoriquement, une telle conception devrait permettre la prise en considération des incertitudes de toutes les variables qui entrent dans le processus de conception.
- La conception stochastique s'appuie sur l'idée qu'un ouvrage parfaitement sûr ne pourra jamais être construit. Il est difficile de persuader les ingénieurs de la nécessité d'incorporer dans leurs considérations la possibilité d'échec. Ils estiment généralement que tout ouvrage conçu, construit et entretenu ne devrait pas faillir. Mais la durabilité exige un plan de gestion des risques: en cas d'accident, nous devons être prêts à affronter les conséquences.
- Un événement naturel (inondations, sécheresses, tremblements de terre, etc.), susceptible de causer de grands dommages, ne devient une catastrophe que lorsque la population habitant la zone concernée n'y a pas été préparée. En conséquence, dans un système de ressources en eau, on doit utiliser les technologies pertinentes pour empêcher les événements naturels de devenir catastrophiques.

#### **Concevoir l'environnement dans le développement durable**

- Le principe directeur de la planification de systèmes durables est le concept qu'un système de ressources en eau devrait interférer le moins possible avec le fonctionnement propre des cycles de vie naturels.
- Le développement durable nécessite que les environnements anthropiques (comprenant les éléments de système physique fait par l'homme) ne se détériorent pas avec le temps, c'est à dire qu'ils soient compatibles avec le contexte pédologique et climatique de la zone et adaptés aux styles de vie et aux coutumes de la population pour laquelle ils ont été créés. Il est donc important de savoir quelles conditions naturelles, durables et autosuffisantes, peuvent exister sous les contraintes hydrologiques et environnementales existantes.
- Le principe directeur de toutes activités futures pouvant conduire à la contamination du sol et de l'eau est que le coût de la dépollution ne doit pas être transféré aux futures générations.

#### **Exigences de gestion pour un système durable de ressources en eau**

- La stratégie de gestion des eaux pour une croissance et un développement durables devrait être optimisée par une planification stratégique, c'est à dire que le système de ressources en eau devrait être intégré dans le plan de développement de la région.

L'approche traditionnelle de la planification signifie que, en réponse à une demande politique, on projette un besoin et on identifie un horizon de planification. On lance un projet pour créer le système demandé. Le processus commence avec le recueil et l'interprétation de données, l'inventaire des ressources se poursuit par la formulation et la quantification de scénarios alternatifs, et se termine par la sélection du projet final par le biais politique. Les objectifs de planification, pouvant entraîner des conflits, sont introduits sous forme de contraintes. Un plan de développement durable ne procède pas différemment. Il met seulement l'accent sur quelques critères supplémentaires.

Traditionnellement, les ressources en eau sont gérées en tant que système fermé: l'ingénieur-conseil est informé des besoins. Il répond dans la mesure où le système le permet, et faisant supporter le coût au consommateur. En conséquence, les solutions sont partielles, répondant aux intérêts partiels de projets individuels, ne tenant pas compte des relations avec le système ni des effets sur l'ensemble du système à moins que cela ne soit explicitement demandé ou absolument nécessaire. Dans l'approche durable, la gestion des ressources en eau est plutôt concernée par un système ouvert (Figure 5.2): le gestionnaire des ressources en eau participe activement à la définition des solutions d'approvisionnement en eau. Il tient compte de la capacité de la ressource, de la pollution et de l'identification des demandes. Cela veut dire **qu'il participe aux stratégies de demande et d'approvisionnement en eau**. Son intérêt ne consiste pas seulement à satisfaire les demandes en eau mais aussi à s'assurer que les volumes disponibles ne soient pas réduits par suite de pollutions, et à aider les usagers à réduire et rationaliser leurs demandes en eau, à diminuer la production de déchets et par conséquent, la pollution de l'environnement. **Son approche est ainsi globale et équilibrée en ce qui concerne la demande et l'approvisionnement**. Comme cela a été dit précédemment, cette approche n'est pas nouvelle pour de nombreux pays. Les résultats cependant laissent parfois à désirer, pas uniquement pour des raisons techniques (manque de finances, infrastructure défaillante, etc).

La *condition sine qua non*, pour parvenir à un développement durable des ressources en eau, est le personnel car il constitue la pierre angulaire du développement durable. Il est également important que la population locale prenne la responsabilité du système de ressources en eaux. Elle doit être constamment informée et engagée activement dans le processus de prise de décisions, consciente de ses propres responsabilités.

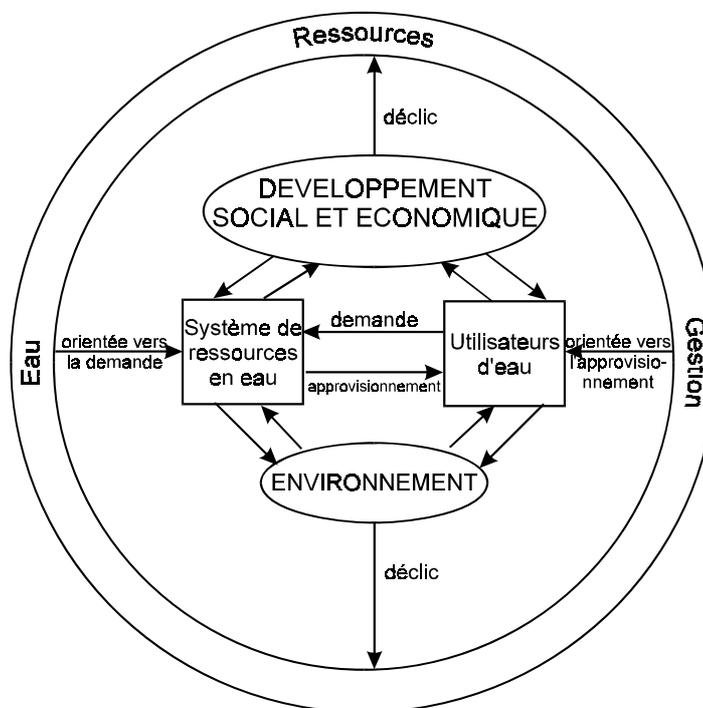


Figure 5.2: Représentation schématique de la gestion intégrée des ressources en eau (Plate, 1993)

Pour que le développement durable réussisse, le processus doit fondamentalement être “de bas en haut”, en prenant en considération les besoins réels des bénéficiaires potentiels. Bien entendu, certaines situations exigent une approche “de haut en bas”, les activités devant être lancées au niveau national, pour garantir la réussite du projet. Les activités typiquement gouvernementales concernent:

- les politiques et directives générales;
- les données de base et la recherche;
- la planification;
- les révisions et commentaires;
- l’assistance technique;
- l’appui financier;
- la réglementation;
- la gestion des ressources de l’Etat et des collectivités locales; et
- le développement, la construction et les acquisitions foncières.

Ce sont des activités très générales, traitant des politiques, de la planification et de la réglementation, tout en étant nécessaires pour préparer la “gestion globale des ressources en eau”.

En fait, elles constitueraient plutôt une masse de procédures, mise en œuvre à différents niveaux, depuis le niveau national jusqu’à à celui du village et du bassin versant.

Un problème socio-économique important et complexe, tel que la planification, le développement et la gestion durables des ressources en eau, ne peut trouver de solution qu’au travers d’une approche holistique/systémique. L’interprétation de l’analyse systémique du paradigme de développement durable conduit à une vision intégrant cinq principes essentiels (Haines, 1992):

- l’analyse multicritères;
- l’analyse des risques, y compris ceux des événements exceptionnels;
- l’analyse d’impacts;
- la prise en considération de multiples décideurs et autres composantes; et
- l’évaluation des relations entre les composantes du système, ainsi qu’entre le système et l’environnement, y compris l’EIE.

S’agissant des zones côtières et de leurs ressources en eau, il y a lieu de tenir compte du fait que, l’eau, le sol, y compris la végétation et la mer avec sa ligne côtière, constituent une même entité naturelle (Figure 5.3). Naturellement, l’air est aussi toujours là, comme ressource naturelle. Les caractéristiques environnementales et les processus naturels de ces zones sont donc plus complexes, sensibles et vulnérables que l’arrière pays où seules deux ressources sont dominantes, la terre et l’eau. La différence essentielle entre ces deux types de zones concerne les caractéristiques du système de ressources en eau: dans les zones côtières, les ressources en eau sont en contact avec la mer. Leur dynamique est fonction de la différence des densités, du bilan d’eau et des propriétés géologiques de la ligne de côte.

Logiquement, les caractéristiques naturelles conditionnent les sphères socio-économiques qui s’appuient sur elles et qui, en retour, constituent les fondements du développement économique de la région. Les caractéristiques naturelles et socio-économiques sont toujours interdépendantes, tout particulièrement dans la région méditerranéenne, le tourisme étant une activité économique très importante pour la plupart des pays (Figure 5.3). Le développement durable leur est donc, d’un intérêt stratégique. Il comprend inévitablement le développement durable des ressources en eau: eau douce et de mer à la fois.

Pour résoudre les problèmes de développement durable des ressources en eau côtières, toutes les hypothèses et approches habituelles sont applicables, moyennant le strict respect de toutes les caractéristiques naturelles et socio-économiques de la région.

## **5.3 Préparation de schémas directeurs**

### **5.3.1 Caractéristiques principales des schémas directeurs des ressources en eau**

La planification des ressources en eau peut être définie comme étant la recherche de l’équilibre entre les demandes en eau et les ressources en eau disponibles. Il s’agit de répondre aux demandes avec les ressources disponibles.

L'objectif global de la planification des ressources en eau devrait être l'amélioration de l'ensemble de la qualité de vie par le biais de contributions (Conseil des Ressources en Eau des E.U., 1980):

- a) au développement économique national;
- b) à la qualité de l'environnement;
- c) au développement économique régional; et
- d) à d'autres actions sociales.

Lorsque les plans de gestion des ressources en eau sont élaborés, une attention spéciale est à accorder à l'application du concept de durabilité.

L'eau douce est une ressource renouvelable. Il est donc possible de gérer les systèmes de ressources en eau sur une base durable, tout en réalisant les objectifs de la société. Le développement durable des ressources en eau exige que l'on respecte le cycle hydrologique, en utilisant les ressources en eau renouvelables qui ne s'épuisent pas à long terme.

Il se peut qu'une telle approche doive sacrifier une partie de la productivité économique à court terme ou pour cette génération, afin de parvenir à une durabilité à long terme et pour la génération future. Une approche pratique de la durabilité serait de maintenir et, si possible, d'augmenter avec le temps la valeur sociale de l'eau et des services liés à l'eau. Les valeurs sociales comprennent les valeurs économiques, environnementales et d'équité. Cette approche s'adapte aux changements des quantités, qualité et caractéristiques spatio-temporelles des ressources en eau, ainsi qu'à ceux affectant les services liés à l'eau.

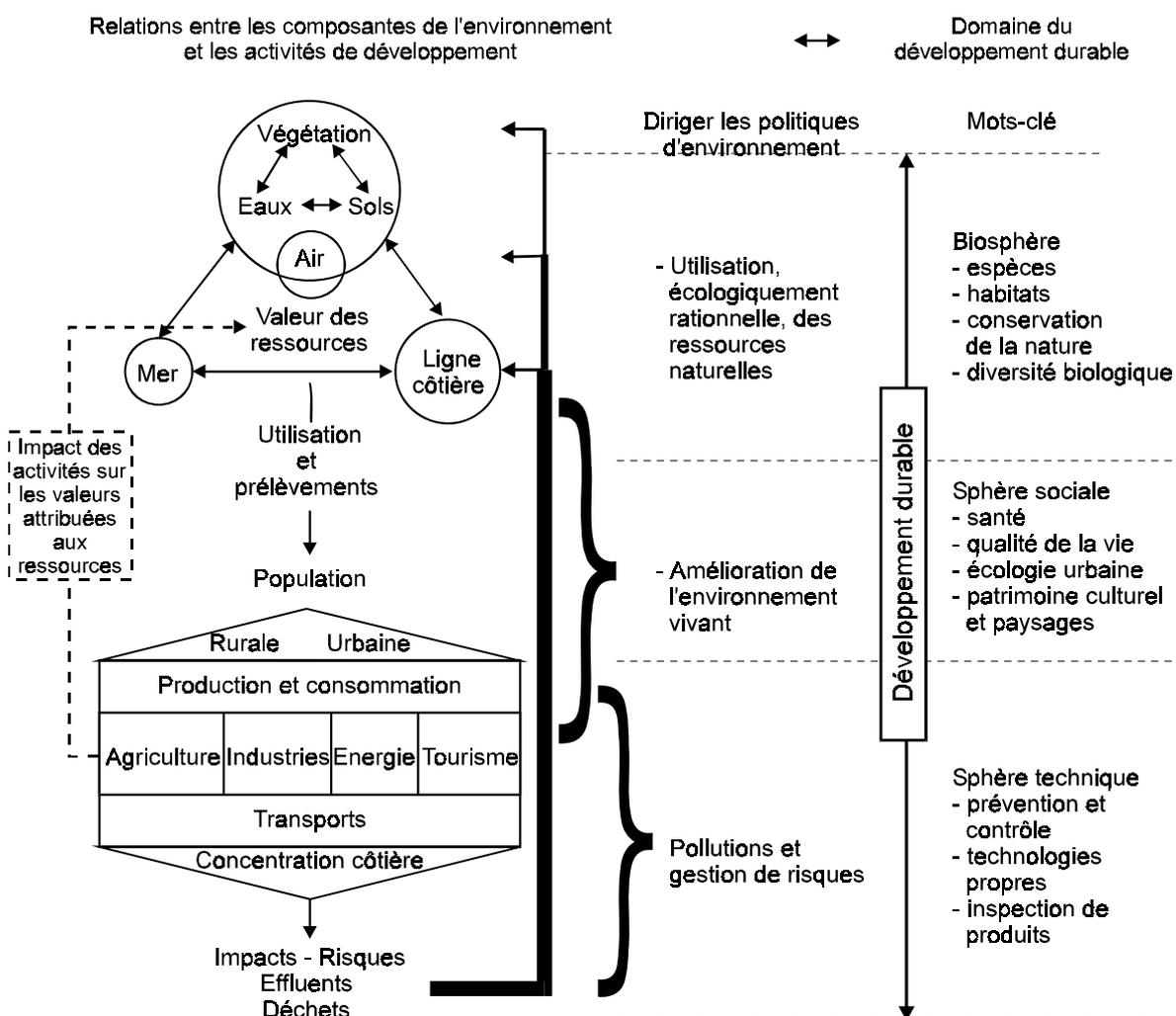


Figure 5.3: Relations entre les composantes de l'environnement et les activités de développement dans les zones côtières (Grenon et Batisse, 1989)

## Encadré 10

### Critères à satisfaire pour la planification de projets de développement durable des ressources en eau

- Le projet doit être considéré comme partie intégrante du système social, tenant compte de toutes les interactions du projet avec la société et l'environnement. Cela implique que le projet a été conçu pour des objectifs multiples et qu'avant la mise en œuvre, un plan prenant en considération tous les impacts du système sur les autres usagers et intégrant le système dans le plan de développement général du pays ou de la zone, a été préparé.
- Il comprend des ouvrages adaptés de manière optimale et conçus pour "travailler avec la nature", tenant au maximum compte des conditions et des matériaux locaux.
- Les solutions non structurelles, devraient être examinées comme première alternative. De telles solutions requièrent des recherches interdisciplinaires et intersectorielles et ne sont pas aussi définitives que les solutions techniques irréversibles.
- Une attention appropriée devrait être accordée à l'atténuation des problèmes de qualité de l'eau pouvant surgir durant l'exploitation du système. Cela implique que les impacts négatifs sur la qualité de l'eau ont été évités ou pris en considération, comme partie du plan.
- Une évaluation complète des impacts bénéfiques ou négatifs sur l'environnement et des moyens d'atténuation des effets négatifs, devrait être incluse. Cela implique qu'un système durable devrait intervenir le moins possible dans l'environnement naturel.
- Une évaluation des situations critiques et des mesures de précaution visant à prévenir les désastres, devrait être faite. Cela comprend des situations de rupture possible des ouvrages, ainsi que les situations de défaillance du système, comme par exemple lorsqu'il n'est pas en mesure de répondre aux demandes durant les périodes de sécheresse, etc.
- Les ouvrages devraient être résiliants de sorte qu'en cas de défaillance ils puissent être remplacés et réparés sans interrompre excessivement leur fonctionnement.
- Une attention soutenue devrait être prêtée aux incertitudes des approvisionnements et des demandes. Ceci implique des études hydrologiques globales sur les apports d'eau et des évaluations des demandes en eau additionnelles, du fait de la croissance de la population, de l'agriculture et du développement industriel, prévoyant une marge raisonnable d'erreurs permises et une variabilité stochastique.
- Les impacts sur la société, causés par le déplacement des populations ou par le stress durant les situations critiques dans le système, devraient être inclus. Leurs implications comprennent des mesures d'atténuation concernant les inondations et les sécheresses.
- Les dispositions visant à faire face aux changements (dans la demande, l'utilisation du sol, etc.) devraient être incluses.
- Les hommes concernés par le projet devraient être impliqués dans processus de planification pour que les projets soient adaptés de manière optimale aux conditions de vie locales et à l'environnement. Cela suppose que la population soit entièrement informée des plans de projet pour qu'elle soit préparée à la situation modifiée dans laquelle elle se trouvera, une fois le projet achevé; pour qu'elle puisse comprendre et appuyer le projet tout entier.
- Toute possibilité de futurs conflits nationaux ou internationaux découlant de la réalisation du projet devrait être éliminée. Cela signifie que les projets hydrauliques situés dans les parties supérieures des bassins fluviaux devraient être planifiés de sorte qu'ils ne portent pas atteinte aux populations vivant en aval, surtout dans les grands bassins internationaux.

Une structure efficace de gestion est indispensable à l'exploitation et à l'entretien d'un projet hydraulique, afin qu'il soit durable. Un projet hydraulique durable exige les conditions de gestion suivantes:

- Une équipe compétente de gestionnaires, techniciens et ouvriers pour l'exploitation et l'entretien, disposant d'une infrastructure propre, avant la réalisation et l'exploitation du projet.
- La gestion d'un projet hydraulique durable requiert qu'un apport d'eau permanent soit toujours disponible pour tous les besoins, impliquant l'exploitation du système selon des règles spécifiques, y compris des règles à appliquer durant les périodes de pénurie ou d'abondance.
- La gestion devrait être consciente des coûts et devrait améliorer les moyens pour couvrir les coûts d'exploitation et d'entretien de manière équitable et efficace. Cela veut dire que des ressources financières seront mobilisées et que les décisions de gestion seront prises de manière que le système fonctionne comme cela a été prévu.
- La gestion devrait continuellement suivre les rendements du système. Cela implique l'établissement d'un système adéquat de recueil et d'analyse de données visant à déterminer l'état du système et le fonctionnement propre de ses composantes à intervalles réguliers.

Les critères précités de durabilité d'un projet de ressources en eau montrent que les capacités techniques ne sont pas suffisantes pour rendre un système durable. Ils exigent aussi la volonté d'aller au delà des solutions techniques normales, et nécessitent une meilleure compréhension de l'interaction du système avec son environnement et avec les autres utilisations, y compris des ouvrages efficaces et adaptés de manière optimale.

Deux faits doivent être mis en relief: une période de temps spécifique et une zone géographique déterminée. Par conséquent, le plan directeur constitue l'une des phases de la planification des ressources en eau; il s'agit notamment d'un plan qui prend acte des conditions existantes, préalablement définies, et d'un contexte de planification strictement défini avec un état initial des ressources en eau. C'est un plan qui, juridiquement, devient obligatoire et doit être mis en œuvre par étapes ou comme un tout, conformément au planing d'exécution de toutes ses composantes. Par conséquent, le plan directeur prend en compte la juridiction aussi bien que l'envergure et les étapes de la planification. La juridiction relative à la planification est d'une manière générale régie par des lois, le plus souvent sous le contrôle des autorités responsables de l'eau au sein du ministère concerné.

Le plan directeur des eaux est toujours sectoriel mais il doit faire partie intégrante d'une planification plurisectorielle du développement. L'utilisation multiple des ressources en eau par les activités humaines, la nécessité d'assurer la protection contre les impacts négatifs de l'eau et de protéger l'eau en tant que milieu, montrent clairement que la planification, la gestion et l'utilisation des ressources en eau sont étroitement liées à la planification et au développement de l'économie et de la société au sens le plus large. De ce fait, l'élaboration des plans de gestion et d'utilisation des ressources en eau doit être considérée comme un processus interactif d'élaboration de plans de développement physique et économique d'une part et de plans directeurs des ressources en eau d'autre part pour soutenir un tel développement (Haines, 1977).

Pour ce qui est des étapes de planification, le plan directeur est plus spécifique, offrant des solutions concrètes. Il peut donc être considéré comme une étape de planification générale et d'estimation, mais également de mise en œuvre.

Au cours de l'élaboration des plans directeurs, la hiérarchie de planification doit être strictement respectée. Les aspects géographiques et les différentes étapes de planification seront pris en compte. Cela signifie que les plans directeurs, qui ont un caractère général, doivent être élaborés en premier, car ils précèdent les plans plus détaillés et plus spécifiques. De plus, les plans directeurs devraient être élaborés d'abord à l'échelle nationale, ensuite aux échelles régionale et locale. La même approche est applicable aux plans de développement, ce qui est déjà une pratique courante. Les petites agglomérations et les structures individuelles, ainsi que les zones isolées (îles), peuvent faire exception.

S'agissant de l'élaboration d'un plan directeur, la situation est idéale lorsque les limites administratives correspondent aux limites hydrologiques, comme c'est le cas des bassins versants ou des îles. Malheureusement, le plus souvent ces limites ne sont pas identiques, ce qui exige des efforts supplémentaires pour harmoniser les données administratives et hydrologiques. Dans de telles situations, il est nécessaire de garantir une coopération bénéfique entre les zones limitrophes lors de l'élaboration des plans et de leur mise en œuvre.

L'objectif principal d'un plan directeur des ressources en eau côtières est d'établir un cadre de base permettant la planification et la mise en œuvre méthodiques et intégrées des programmes et projets relatifs aux ressources en eau, ainsi qu'une gestion rationnelle de ces ressources, compatible avec les objectifs de développement socio-économique fixés à l'échelon national/régional. Pour atteindre ces objectifs, le plan directeur doit:

- Assurer la disponibilité de l'eau en quantité et qualité adéquates pour toutes les utilisations nécessaires pendant une période de temps déterminé sur un site donné;
- Mettre au point une approche globale et intégrée de développement des ressources en eau et des autres types de développement socio-économique, principalement en ce qui concerne les interrelations existant entre l'eau, l'aménagement des terres, l'environnement et les eaux côtières;
- Encourager l'élaboration et la mise en œuvre de plans intégrés à long terme visant le développement et la gestion durables des ressources en eau et des ressources marines connexes;
- Formuler des mesures et/ou des projets de développement des ressources en eau pour améliorer l'approvisionnement en eau et en assurer une utilisation plus rationnelle;
- Identifier les problèmes en matière de ressources en eau et définir les priorités nécessitant d'initier des projets prometteurs de développement des ressources en eau;

- Recommander la mise en œuvre de politiques financières et économiques assurant une répartition équitable des coûts d'approvisionnement en eau, encourageant l'utilisation la plus rationnelle possible des ressources en eau, et respectant les aspects sociaux et environnementaux du développement, y compris le développement du littoral;
- Contribuer à la mise en œuvre de plans de développement socio-économique à l'échelle globale, nationale/régionale, incluant les secteurs de l'eau douce et de l'eau marine;
- Contribuer à la formulation d'une politique à long terme en matière de ressources en eau, pour l'ensemble du pays ou pour la seule région littorale.

Lors de l'élaboration d'un plan, il est important de déterminer des solutions appropriées permettant de transformer les ressources en eau disponibles en offres pour différents usagers et services, en tenant compte de leurs demandes en eau quantitatives et qualitatives.

Le plan directeur des ressources en eau doit déterminer la solution la plus rationnelle du point de vue socio-économique, et de celui de la protection de l'environnement et de la santé. Lors de cette transformation, il est important de protéger les eaux et de prévenir les impacts négatifs des crues, et de l'érosion. Il est très important de tenir compte de tous les plans physiques et de tous les plans de développement social concernant la zone en question.

Cette transformation consiste principalement à convertir certaines quantités d'eau disponibles ( $Q_i$ ) et une certaine qualité d'eau ( $K_i$ ) en un point donné ( $L_i$ ) pendant un laps de temps déterminé ( $T_i$ ), en vecteurs exprimant la demande ( $q_j, k_j, l_j, t_j$ ) (Figure 5.4).

Dans les systèmes complexes, cette transformation, c.a.d le développement de solutions capables de satisfaire la demande grâce aux ressources disponibles, peut être réalisée de plusieurs manières, faisant appel à différentes alternatives. Toutefois, il faut rappeler que les précipitations constituent l'apport principal au système hydrologique. Il s'agit d'un phénomène stochastique typique, ce qui signifie que le cycle hydrologique est fortement sujet aux changements, et que les ressources en eau sont fonction du temps et de l'espace. La même remarque concerne l'horizon de planification, car la demande en eau change dans le temps et, parfois, même dans l'espace. C'est pourquoi il n'existe pas de solution unique et il est difficile d'en trouver une qui serait optimale. Afin de faciliter la solution du problème et de sélectionner la solution optimale, le système d'eau est divisé en sous-systèmes. Cette décomposition du système doit se faire en tenant compte des caractéristiques des ressources en eau, des objectifs de leur utilisation, de l'espace disponible et du temps. D'une manière générale, les problèmes de ce type peuvent être résolus avec succès grâce à l'approche systémique.

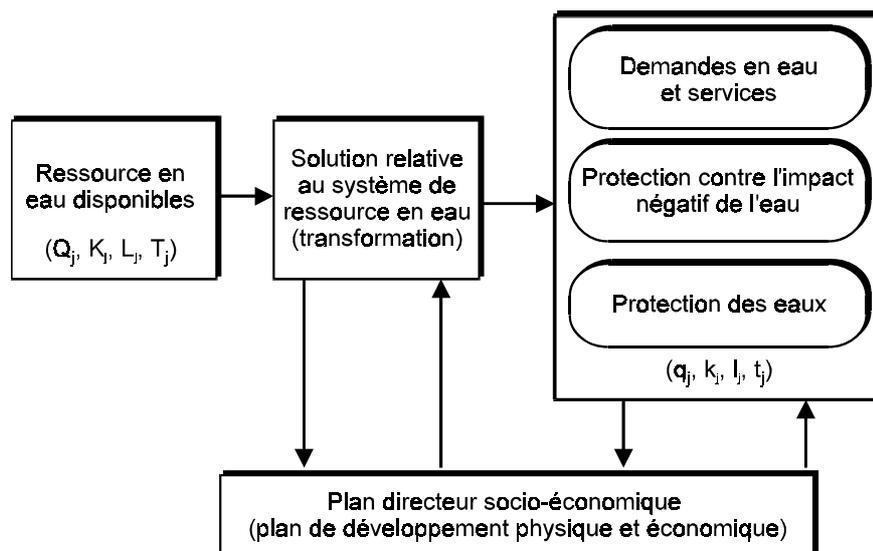


Figure 5.4: Objectifs d'un plan directeur des ressources en eau

### 5.3.2 Éléments d'un plan directeur des ressources en eau

Les principaux éléments d'un plan directeur type de ressources en eau et leurs objectifs sont:

1. *Approvisionnement en eau des ménages et des industries*: fourniture de l'eau destinée à l'usage ménager, industriel, commercial, municipal et autres.
2. *Irrigation*: production agricole.
3. *Lutte contre les inondations*: prévention ou réduction des dégâts causés par les inondations, protection du développement économique, stockage à des fins de conservation, régularisation des rivières, recharge des nappes souterraines, alimentation en eau, production d'énergie, et protection de la vie.
4. *Energie hydroélectrique*: fourniture de l'énergie indispensable au développement économique et à l'amélioration de la qualité de la vie.
5. *Navigation*: transport des biens et des passagers.
6. *Assainissement*: production agricole, développement urbain, et protection de la santé publique.
7. *Aménagement des bassins versants, conservation des sols et contrôle de l'érosion*: conservation et amélioration des sols, réduction de la sédimentation, ralentissement du ruissellement, amélioration des forêts et des pâturages, et protection de l'approvisionnement en eau.
8. *Utilisation de l'eau à des fins de récréation*: augmentation du bien-être et amélioration de la santé des populations.
9. *Maintien des écosystèmes aquatiques*: amélioration des habitats de poissons et d'animaux sauvages, réduction ou prévention des pertes de biodiversité liées au développement, augmentation des opportunités sportives, et développement de la pêche commerciale.
10. *Réduction de la pollution*: protection ou amélioration des eaux à usage municipal, ménager, industriel et agricole, et des eaux destinées à la récréation et à la vie aquatique.
11. *Lutte contre les insectes*: santé publique, protection des valeurs récréatives, et protection des forêts et des cultures.
12. *Lutte contre la sédimentation*: réduction de l'envasement, protection des réservoirs et des estuaires.
13. *Contrôle de la salinité*: diminution ou prévention de la contamination par l'eau de mer des ressources en eau destinées à l'usage agricole, industriel et municipal.
14. *Aquaculture marine et d'eau douce*: production de poissons dans les sites d'élevage et amélioration du niveau de vie.

Les plans directeurs doivent assurer le maintien de systèmes hydrologiques durables. Cela est compliqué du fait des conflits et des effets subsidiaires générés par les différentes utilisations de l'eau. Un plan intégré doit tenir compte de toute une série d'utilisations, d'objectifs de gestion, de prélèvements et de problèmes liés à l'eau, tels que les inondations et la pollution. Le plan doit présenter le niveau actuel de développement, fournir une évaluation des ressources en eau et des autres ressources associées, examiner les besoins en matière de développement et intégrer ces besoins en tenant compte des ressources disponibles et potentielles.

Le plan directeur national des ressources en eau concerne généralement **une période minimum de 20 ans**. De tels plans devraient être périodiquement révisés et complétés. Certains pays ont adopté une périodicité de 5 ans pour ce faire.

*La planification est un processus continu. C'est pourquoi les plans directeurs doivent être révisés et modifiés au fur et à mesure que les capacités du pays de construire et de financer les projets augmentent, et que la demande en matière d'utilisation de l'eau et de la terre change.*

### 5.3.3 Quatre étapes dans élaboration des plans directeurs

Partant des principes précédents ayant trait au plan directeur, le processus de planification se concentre en quatre étapes fondamentales:

1. Inventaire, prévision et analyse des ressources en eau disponibles;
2. Inventaire, prévision et analyse de la demande en eau;
3. Formulation de solutions alternatives pour satisfaire la demande en eau à partir des ressources en eau disponibles; et
4. Comparaison et classement des plans alternatifs.

Dans le cadre de ces étapes, les solutions techniques permettent de redistribuer les ressources en eau dans le temps et dans l'espace au sein du cycle hydrologique, afin d'obtenir les effets voulus.

Vu que l'élaboration des plans directeurs des ressources en eau fait partie intégrante du processus de planification du développement, les buts et les objectifs de cette dernière devraient être identifiés et définis avant le démarrage des travaux sur le plan directeur.

Le cadre de planification est présenté dans la Figure 5.5.

### I. Inventaire, prévision et analyse des ressources en eau disponibles

Cette étape du processus de planification comprend six activités majeures:

- l'inventaire et l'analyse des données hydrométéorologiques;
- l'estimation des eaux souterraines disponibles et l'analyse des caractéristiques des aquifères;
- l'analyse des eaux de surface;
- les réservoirs et retenues;
- les sources non conventionnelles; et
- l'optimisation du rendement des réservoirs.

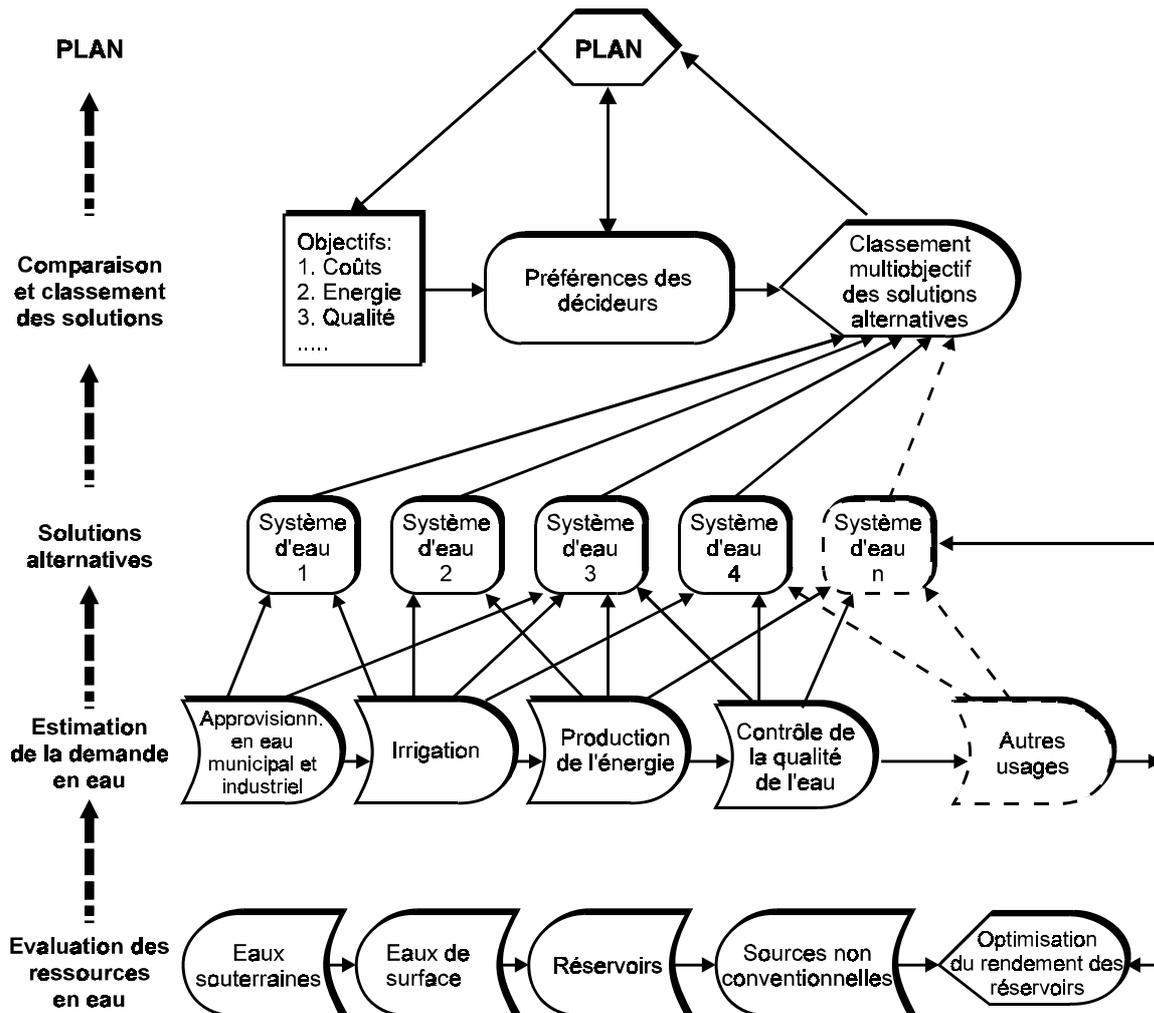


Figure 5.5: Procédure de planification à quatre étapes (adaptée à partir de celle de Simonovic, 1989)

L'objectif principal de cette étape de planification est d'évaluer les capacités totales des ressources en eau et les caractéristiques (quantité et qualité des eaux souterraines, des eaux de surface et des sources non conventionnelles) de chaque **unité hydrologique** (limites physiques du bassin versant).

L'idéal serait d'évaluer les ressources en eau des bassins versants et des zones concernées par la gestion de l'eau. Leur délimitation repose sur des facteurs naturels et géographiques. Elle reflète les aspects administratifs/territoriaux, économiques et de gestion des eaux, intégrant ainsi l'ensemble des problèmes spécifiques d'évaluation des ressources en eau pour les besoins de la planification.

La délimitation des zones concernées par la gestion des eaux et celle des sous-zones se fait en utilisant les cartes topographiques et hydrologiques ou les photographies aériennes. Ainsi, les zones de plus haut niveau concernées par la gestion des eaux peuvent être représentées par:

- le bassin entier d'un fleuve important se déversant en mer ou dans un grand lac;
- un bassin lagunaire et ses affluents, à l'exception de ceux identifiés comme zones particulières;
- une partie d'un grand bassin versant définie par un point de contrôle;
- le bassin entier d'un affluent de premier ordre;
- un canal important dérivant l'eau à partir d'un cours d'eau majeur, y compris les affluents; et
- la zone côtière marine, à l'exception des bassins des grands fleuves, considérés comme zones particulières.

D'une manière générale, les zones concernées par la gestion des eaux sont utilisées dans le cadre du système national de données sur les eaux, lequel fournit l'information de base sur laquelle s'appuie le plan directeur des ressources en eau.

## II. Inventaire, prévision et analyse de la demande en eau

Les catégories de demande en eau qui se traduisent par des prélèvements comprennent les utilisations publiques (domestique, commerciale, industrielle, communale), rurales (ménages, bétail), agricoles ainsi que l'auto approvisionnement industriel (refroidissement, traitement, énergie thermo et hydroélectrique). Toutefois, il existe d'autres types d'utilisation in situ de l'eau (services) tels que le contrôle de la qualité par dilution, la récréation, la navigation, le maintien des écosystèmes aquatiques, la réduction de la pollution, la lutte contre les insectes, l'évasement, le contrôle des inondations et autres.

L'objectif principal de cette étape de la planification est d'estimer la demande totale en eau (caprice et in situ) pour chaque **unité territoriale**, car les plans de développement sont élaborés selon la délimitation administrative du pays.

Cette étape devrait commencer avec l'analyse de l'utilisation des ressources en eau par les secteurs économiques: (a) approvisionnement en eau urbain et municipal; (b) approvisionnement en eau des zones touristiques; (c) approvisionnement en eau des zones rurales; (d) agriculture; (e) industrie; (f) énergie électrique; (g) récréation; (h) pêche; (i) navigation continentale. Des données sommaires sur l'utilisation des ressources en eau superficielles et souterraines par tous les secteurs économiques situés dans les différents bassins versants et régions concernées par la gestion des eaux doivent être fournies en se basant sur le système national de données sur les eaux. Cette analyse doit être effectuée pour la période de référence.

Les données initiales à utiliser dans la préparation de cette étape du plan directeur sont:

- le concept du développement et la part des secteurs économiques nationaux;
- les plans de développement social et économique;
- les données recueillies par les institutions sectorielles sur les principaux types de production manufacturière, leurs besoins en matière d'utilisation et d'évacuation de l'eau; et
- le développement des ressources terrestres et autres et la demande en eau.

L'évaluation des projections relatives à la demande en eau doit nécessairement inclure l'analyse de tous les prélèvements à partir des sources superficielles et souterraines, des volumes totaux d'eaux usées et du flux de retour des effluents vers les systèmes d'eau. La quantité des lachûres

en aval doit être déterminée sur la base de toutes les demandes en aval et des débits minimum indispensables à l'assainissement et aux besoins écologiques. Le bilan d'eau doit être préparé pour tous les horizons de planification à court et à long terme, sur la base des quantités disponibles et des demandes en eau, exigées pour chaque échéance.

### **III/1. Formulation de solutions alternatives pour satisfaire la demande en eau à partir des ressources en eau disponibles**

A ce stade et utilisant les résultats des deux étapes précédentes, il est nécessaire d'élaborer une carte montrant le déficit et le surplus d'eau prévalant dans chaque région étudiée, en.

L'équilibre entre les ressources disponibles et la demande relative au "système d'eau" doit être établi. Les systèmes d'eau représentent des unités territoriales à l'intérieur desquelles toutes les demandes peuvent être satisfaites à partir des ressources disponibles. Ces systèmes sont déterminés par l'agrégation d'unités territoriales initiales pour lesquelles la demande et les ressources en eau disponibles (y compris le transfert d'eau) sont définies, jusqu'au ce que la demande puisse être satisfaite par l'eau disponible.

L'effort majeur à cette étape de la planification consiste à créer un certain nombre de solutions techniques alternatives, capables de satisfaire la demande en eau à partir des ressources en eau disponibles à l'intérieur de chaque "système d'eau". Les solutions techniques alternatives sont proposées par les ingénieurs, sur la base d'ouvrages types tels que les puits, les stations de pompage, les barrages, les ouvrages de prise d'eau, les installations d'épuration des eaux, les réservoirs, etc., et en mettant en corrélation le coût de chaque type d'ouvrage avec ses capacités. La conception technique sera abordée à un niveau de planification plus élevé. Les résultats obtenus sont des alternatives pour chaque système d'eau. Ce système d'eau doit être harmonisé avec les systèmes d'eau et les solutions existants déjà.

Les solutions alternatives doivent envisager l'utilisation des ressources en eau non conventionnelles (dessalement, réutilisation des eaux usées, eaux d'orage et autres) ainsi que les citernes, le transport d'eau à longue distance, etc. Un des éléments de cette étape est l'élaboration de mesures et de plans de conservation de l'eau. Les projets de conservation de l'eau doivent être définis, et une estimation de leurs coûts d'investissement doit être faite.

Ces systèmes d'eau ne dépendent ni des limites administratives ni des limites physiques du bassin versant. Ils constituent des unités de planification applicables uniquement à l'intérieur de la région objet de la planification, en tenant compte de l'horizon temporel.

### **III/2. Protection contre les impacts négatifs de l'eau**

Les ressources en eau du cycle hydrologique dans une zone spécifique ont des effets négatifs, tels que les crues, les remontées des eaux souterraines et l'érosion des sols. En région méditerranéenne, les crues peuvent être particulièrement dangereuses car elles sont rares, de courte durée et très fortes. L'érosion est le plus important des effets négatifs, ayant des conséquences à long terme, particulièrement dans les zones agricoles de la région méditerranéenne. De ce fait, le plan directeur doit offrir des solutions visant à réduire les dégâts causés par les inondations et l'érosion. Dans les zones côtières, il faut également aborder l'influence de la mer (houle) sur les inondations.

### **III/3. Protection des eaux**

La protection des eaux contre la pollution, le maintien et l'amélioration des habitats de l'avifaune et celle des écosystèmes biologiques divers font parties intégrantes du plan directeur. Trois types de conséquences négatives indésirables du développement des ressources en eau sur l'environnement sont particulièrement importantes:

- la création d'habitats favorables au développement des maladies parasitaires et hydriques du fait de la mise en place de réservoirs et de systèmes d'irrigation mal conçus;
- les impacts négatifs sur les systèmes écologiques causés par l'érosion, la pollution et les changements du régime des écoulements; et
- la sédimentation dans les cours d'eau et les réservoirs, la salinisation des sols, et l'engorgement.

Les lachûres à des fins environnementales doivent assurer une dilution suffisante des polluants dans les cours d'eau et les estuaires et permettre ainsi la préservation de la vie sauvage. Outre le maintien d'un débit minimum, les lachûres doivent assurer le curage régulier des lits de rivières pendant les crues.

Les conséquences environnementales peuvent être évaluées par une approche multi-objectifs de la planification, qui représente une véritable synthèse de la justice environnementale et sociale et des valeurs économiques. Une alternative pratique et commune est la méthode d'évaluation d'impact sur l'environnement. Une telle évaluation doit démarrer dès le début de l'étape de planification et se poursuivre jusqu'au choix final du projet le plus approprié. Les mesures proposées pour éliminer ou réduire les effets sur l'environnement doivent être incluses dans le plan directeur.

#### **IV. Comparaison et classement des solutions alternatives**

L'approche économique générale consiste à utiliser les rares ressources en eau disponibles pour améliorer le bien-être humain dans des conditions environnementales durables. Cela signifie que des scénarios alternatifs d'utilisation spacio-temporelle des ressources en eau par différents usagers, doivent être comparés en termes de bénéfices nets générés et être interprétés dans le contexte le plus large possible. Le coût réel de chaque scénario particulier doit inclure les bénéfices qui auraient pu être générés par les autres alternatives d'utilisation des ressources, qui ont été rejetées.

Un plan aussi exhaustif que le plan directeur des ressources en eau exige une analyse multi-objectifs, car une telle planification implique de nombreux buts et objectifs susceptibles de s'avérer conflictuels au regard de l'approche durable de la gestion des ressources naturelles. La planification couvrant des périodes dépassant 20 ans est une question complexe qui implique différents intérêts: économiques, environnementaux, sociaux, politiques, sanitaires, etc. Vu que la plupart de ces objectifs ne sont pas en général quantifiables en termes monétaires ou autres, il est nécessaire de recourir à l'analyse multi-objectifs.

Le choix des objectifs dépendra des caractéristiques de chaque problème individuel. Les objectifs suivants peuvent être pris en considération:

- minimiser les coûts alternatifs totaux;
- minimiser les conséquences négatives du développement des ressources en eau;
- minimiser la consommation d'énergie;
- maximiser les effets positifs des plans alternatifs concernant la qualité de l'eau;
- maximiser les intérêts nationaux;
- maximiser les intérêts régionaux (des communautés);
- maximiser les effets positifs des plans alternatifs sur l'environnement;
- maximiser la fiabilité du système;
- maximiser la durabilité du système, et autres.

En appliquant les méthodes appropriées d'analyse multicritères, il sera possible de classer les solutions alternatives et de les présenter aux décideurs en fonction des caractéristiques de chaque alternative et des critères choisis.

#### ***Présentation du plan***

La qualité du plan est entre autres influencée par deux facteurs: la participation de toutes les parties intéressées à son élaboration et la présentation technique et visuelle du plan terminé. Le plan directeur doit contenir, entre autres produits, une série de données et d'informations, y compris plusieurs cartes telles que les cartes climatologique, géologique, hydrogéologique, hydrologique, les cartes de vulnérabilité, d'occupation du sol, celles des systèmes d'eau, de classification des eaux souterraines, et des eaux de surface, les cartes des eaux disponibles dans les systèmes d'aquifères, de la demande en eau, des déficits et des surplus d'eau, etc. Ces données doivent être présentées de manière aussi claire et concise que possible pour faciliter leur utilisation par tous ceux qui ne sont pas spécialistes en ressources en eau. Outre le respect des normes internationales, le plan doit satisfaire dans toute la mesure du possible aux exigences imposées par les organisations et institutions internationales, nationales et locales, ce qui ne peut être réalisé que par le biais d'une coopération continue entre toutes les parties concernées et non seulement par des contacts directs avec un seul interlocuteur.

## **Résumé**

La planification de systèmes complexes de ressources en eau est une tâche difficile et de responsabilité. Elle exige étude et analyse minutieuses et exhaustives de tous les aspects du problème. Les plans directeurs de haute qualité pour le développement et la gestion des systèmes de ressources en eau, nécessitent:

- d'étudier et de définir soigneusement les objectifs à atteindre par la planification;
- d'évaluer avec soin et de manière exhaustive la capacité et la qualité des ressources en eau disponibles;
- d'analyser minutieusement et de définir de manière exhaustive la demande en eau, les exigences en matière de protection de l'eau, de protection contre les impacts négatifs de l'eau et de développement des ressources en eau sur la base des plans de développement physique et économique élaborés pour la même période que celle retenue pour la planification des ressources en eau;
- d'analyser toutes les solutions alternatives possibles qui présentent un intérêt pour la gestion et l'utilisation des ressources en eau, y compris la protection de l'eau, la protection contre les effets négatifs de l'eau et le développement des ressources en eau; et
- de sélectionner avec soin la solution la plus réaliste et la plus appropriée, tenant compte des intérêts de tous les usagers au niveau local régional, national et autre.

Du fait des quantités d'eau limitées des ressources en eau disponibles d'eau et des demandes croissantes en eau et en services dans la région méditerranéenne, la durabilité est devenue un objectif difficile à atteindre. La gestion intégrée des ressources en eau, qui sous-entend une meilleure utilisation de ces ressources dans le but de satisfaire la demande actuelle et future, est une bonne réponse à ce problème, et le Plan Directeur des Ressources en Eau est une condition préalable à une telle gestion.

## **5.4 Techniques et méthodes de gestion des ressources en eau côtières**

La nature du développement des ressources en eau côtières, les interactions sociales et environnementales des activités sectorielles, ainsi que les exigences complexes en matière de gestion et de planification imposées aux décideurs et aux professionnels impliqués dans la gestion intégrée des ressources en eau côtières (GIREC), rendent nécessaire l'application de nombreux outils et techniques analytiques spécifiques. Les classes générales suivantes d'outils et de techniques peuvent être utilisées dans la GIREC:

### **1. Outils de prévision et de simulation**

- Analyse systémique et modèles de simulation;
- Prévision et simulation de l'approvisionnement et de la demande en eau;
- Prévision et simulation de la quantité et de la qualité des ressources en eau;
- Modélisation des réseaux;
- Estimations financières, etc.

### **2. Outils d'évaluation d'impacts**

- Evaluation d'impact sur l'environnement;
- Evaluation de l'impact social;
- Evaluation des risques;
- Impacts des changements climatiques attendus;
- Projections et analyse de faisabilité, etc.

### **3. Outils d'aide à la décision**

- Modèles d'optimisation;
- Modèles d'optimisation multi-objectifs;
- Analyse des décisions et analyse des décisions appuyée par l'ordinateur;
- Analyse des risques et analyse des mesures d'atténuation des risques, etc.

## Encadré 11

### Contenu des plans directeurs des ressources en eau

#### 1. Résumé à l'intention des décideurs

#### 2. Nécessité d'un plan directeur, son ampleur et ses objectifs

#### 3. Renseignements généraux et historique

##### *Etat de développement*

- Emplacement, caractéristiques physiques
- Développement social, données démographiques, centres urbains, etc.
- Conditions économiques, emplois, agriculture et alimentation, industrie, tourisme, transport, financement public, etc.
- Occupation du sol

##### *Développement actuel des ressources en eau*

- Historique de l'approvisionnement et demande en eau
- Irrigation
- Assainissement
- Contrôle et gestion de la pollution des eaux
- Gestion de la lutte contre les inondations
- Installations de gestion des eaux usées
- Navigation, énergie hydroélectrique, pêche, récréation, etc.
- Ecologie et aires spécialement protégées
- Législation relative à l'eau
- Cadre institutionnel, etc.

#### 4. Evaluation des ressources liées à l'eau

- Géographie
- Climat et météorologie (précipitations, température, évaporation, vents, ensoleillement, etc.)
- Géologie et hydrogéologie
- Caractéristiques des sols (problèmes d'érosion des sols, etc.)
- Ressources terrestres (terres cultivées, forêts, spéculations céréalières, intrants agricoles, etc.)
- Ressources minières
- Ressources énergétiques (combustible fossile, combustible importé, etc.)
- Ressources halieutiques (pisciculture, aquaculture, production de poissons, etc.)
- Caractéristiques de l'environnement et de l'écosystème naturel
- Ressources humaines (ampleur et répartition, possibilités d'emploi, etc.)

#### 5. Evaluation des ressources en eau

- Ressources en eau de surface (débit moyen, débit d'étiage, débit de crue, charge sédiments, utilisation actuelle, etc.)
- Ressources en eau souterraines (aquifères perchés, aquifères en contact avec la mer, emplacement, rendements sûrs, utilisation actuelle, etc.)
- Estuaires, ressources en eau saumâtre et ressources marines
- Qualité de l'eau (situation actuelle et déversement d'effluents, règlements portant sur la pollution des eaux, etc.)
- Réservoirs (emplacement, caractéristiques, volume, etc.)
- Ressources en eau non conventionnelles (eaux usées épurées, dessalement, etc.)

#### 6. Besoins en matière de développement

- Scénarios sociaux et économiques nationaux (croissance démographique et répartition de la population, production agro-industrielle, développement touristique, transport, ressources financières indispensables au développement, ressources humaines, etc.)
- Approvisionnement en eau des ménages et des industries (expansion urbaine et demande en eau, demande en eau industrielle, demande touristique, demande en eau rurale, variations de la demande, etc.)
- Alimentation et agriculture (fourniture d'aliments et demande, extension de la zone d'irrigation, amélioration des techniques agricoles, demande en eau, etc.)
- Énergie électrique (demande, sources alternatives, demande en eau, etc.)
- Navigation continentale et dans les estuaires (croissance, alternatives, etc.)
- Contrôle des crues (dégâts passés causés par les inondations, zones faisant l'objet de plans d'intervention en cas d'inondation, mesures, etc.)
- Lutte contre la pollution (sources et qualité des effluents d'eaux usées, épuration des eaux usées, règlements, etc.)
- Pêche (demande, zones de production piscicole dans les cours d'eau et les réservoirs, etc.)
- Tourisme, sport et récréation
- Milieux et aires spécialement protégés, etc.
- Autorités administratives
- Aperçu du développement actuel et planifié

## **7. Evaluation de la demande en eau (utilisation des eaux par les principales catégories)**

### *Infrastructure*

- Eau potable
- Eau utilisée par les ménages
- Utilisation publique dans les agglomérations
- Navigation
- Décharge de déchets
- Récréation
- Agrément esthétique, etc.

### *Agriculture, sylviculture et aquaculture*

- Agriculture pluviale
- Cheptel
- Maintien des écosystèmes aquatiques et de l'avifaune sauvage.
- Sylviculture
- Irrigation
- Habitats des marécages et des zones humides
- Décharge de déchets
- Utilisation des estuaires
- Aquaculture
- Conservation du sol, etc.

### *Industrie*

- Energie hydrique
- Energie de vapeur
- Exploitation minière
- Charbonnage
- Traitement
- Transport hydraulique
- Décharge de déchets, etc.

## **8. Examen des conditions**

- Description du système de distribution d'eau (emplacement, vétusté, coût, états physiques des équipements d'approvisionnement et de pompage, des équipements de transfert, de traitement et de stockage etc.)
- Description des réseaux d'eaux usées
- Description des autres réseaux d'infrastructure relatifs à l'eau
- Description du système de tarification
- Quantité d'eau (approvisionnement, demande, sécheresse, conservation, etc.)
- Qualité de l'eau (surveillance continue, banque de données, contamination, etc.)
- Besoins en réseaux d'eau et autres besoins connexes (déplacement, améliorations, capacités complémentaires pour satisfaire la demande accrue, etc.)

## **9. Description et examen préalable des alternatives visant à satisfaire les besoins en développement (structurels et non structurels)**

- Exploitation de l'eau (approvisionnement en eau des agglomérations, industrie, agriculture, énergie hydrique, navigation, tourisme, etc.)
- Stockage
- Protection contre l'eau
- Systèmes d'assainissement
- Protection des ressources en eau
- Synthèse des caractéristiques techniques, économiques, environnementales et autres des projets proposés

## **10. Projets potentiels**

- Etudes hydrauliques
- Ingénierie, géologie et estimation des coûts, coordination et fonctions dans le plan de développement et d'utilisation du bassin versant, etc.
- Evaluation économique
- Evaluation d'impact sur l'environnement, etc.

## **11. Formulation d'un plan directeur des ressources en eau**

- Définition des objectifs à long terme et des objectifs de développement (scénario socio-économique, contraintes, production alimentaire, développement industriel, amélioration de la santé publique, protection de l'environnement, emploi, etc.).
- Critères pour la formulation du plan, etc.

## **12. Evaluation des alternatives**

- Analyse des alternatives
- Sélection d'alternatives pour le plan
- Analyse des impacts des alternatives choisies (économiques, environnementaux, sociaux et culturels, réglementaires, risques)
- Organisation et gestion des ressources en eau
- Législation et autres mesures administratives
- Programme de conservation des eaux
- Proposition concernant la surveillance continue
- Proposition d'études futures
- Proposition de projets futurs
- Coordination et concertation

## **13. Mise en œuvre**

- Mise en œuvre planifiée
- Administration et financement
- Participation du public
- Programmes et efforts complémentaires

#### 4. Outils d'évaluation

- Evaluation économique;
- Analyses coûts-avantages et coûts-efficacité;
- Systèmes d'évaluation qualitative;
- Méthodes d'évaluation des processus;
- Evaluation de la performance, etc.

#### 5. Outils de mise en œuvre

- Réglementaires et économiques;
- Mesure de l'acceptabilité sociale;
- Techniques de gestion des conflits;
- Négociations et accords volontaires;
- Inspection, groupes de travail, et autres méthodes de participation;
- Analyse des impacts des utilisateurs ou des payeurs, etc.

La gestion intégrée des ressources en eau côtières encourage de nouvelles participations institutionnelles et accroît le nombre des outils et techniques analytiques, qualitatifs et quantitatifs susceptibles de guider les planificateurs des ressources en eau qui appliquent les principes de l'approche intégrée. La plupart des outils et techniques sont basés sur des méthodologies standards, applicables par les capacités nationales existant dans bon nombre de pays en développement. Certains des outils et techniques ont déjà été présentés dans d'autres chapitres (Chapitre 4, EIE); dans le texte qui suit ne seront détaillés que les plus récents et ceux qui présentent un intérêt particulier pour la gestion des ressources en eau.

##### 5.4.1 Approche systémique

Les systèmes de ressources en eau sont complexes sur le plan physique, biologique et institutionnel, et encore plus en termes de structure de décisions. La plupart de ces dernières sont prises dans un contexte politique par une autorité structurée en multiples niveaux de délégation et d'engagement. Cela implique un large spectre d'objectifs et des opinions encore plus diversifiées sur ce qui résultera ou ne résultera pas de l'amélioration de ces objectifs.

L'objectif de la gestion est d'exploiter les ressources de manière à atteindre les meilleurs résultats possibles. Cela nécessite de nombreuses activités, y compris les prévisions, la planification, la programmation, les estimations budgétaires, la coordination, le suivi et la mise en fonctionnement.

La quantité et la diversité de données et d'informations dont les gestionnaires de l'eau disposent sont souvent considérables. La question critique concerne l'importance des données pour le problème de développement à résoudre, la manière dont ces données doivent être traitées, organisées et analysées, ainsi que le type et la quantité d'informations complémentaires indispensables.

Afin de prendre les meilleures décisions l'on s'efforcera de créer et d'utiliser des outils plus efficaces pour élaborer les plans de gestion des ressources en eau. Cela est possible parce que: a) les ordinateurs modernes sont capables d'organiser et de traiter rapidement, efficacement et avec précision des quantités énormes de données; b) les ordinateurs sont largement disponibles à des prix relativement bas; c) le développement de règles mathématiques ou d'algorithmes sophistiqués permettent sur ordinateur une présentation et une analyse rapide et efficace d'informations complexes.

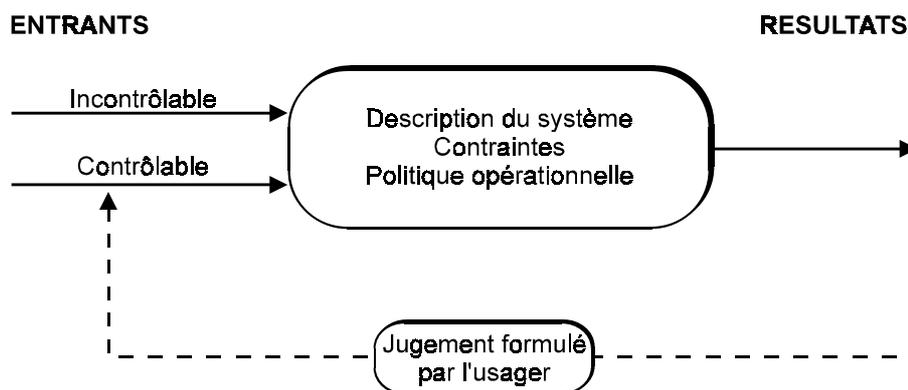
L'analyse systémique permet une prise de décisions efficace. C'est *une approche rationnelle permettant de prendre des décisions concernant la gestion d'un système particulier, sur la base de l'organisation et de l'analyse systématiques et efficaces des informations pertinentes*. Elle s'applique en une séquence d'opérations ou de procédures qualifiée *d'approche systémique*. Ces opérations comprennent:

1. la définition du problème de gestion,
2. l'identification de la méthode de travail et l'acquisition des données pertinentes,
3. la définition des buts et objectifs spécifiques,
4. la définition des mesures quantitatives pour évaluer dans quelle mesure une solution alternative d'un problème de gestion répond aux objectifs fixés,

5. l'élaboration d'alternatives réalisables qui répondront aux contraintes physiques, sociales, politiques, économiques et morales imposées au système et leur gestion,
6. l'évaluation et le choix de la meilleure alternative possible, compte tenu des outils, de la main d'œuvre, du temps, du budget et des moyens informatiques disponibles,
7. la révision, la mise à jour et le feed-back pour garantir la réalisation des objectifs initiaux et pour incorporer de nouvelles informations.

La modélisation mathématique acquiert une importance croissante dans les études d'ingénierie. Les deux modèles mathématiques les plus utilisés dans l'approche systémique sont:

- a) la simulation: modèle descriptif;
- b) l'optimisation - modèle descriptif et prescriptif.



**Figure 5.6: Présentation graphique du processus de simulation**

### **Techniques de simulation**

Le modèle de simulation est utilisé pour prévoir les résultats de différents concepts et politiques opérationnelles (Figure 5.6). Il s'agira d'améliorer le résultat, en utilisant la boucle de rétroaction, processus technique qui modifie les variables contrôlables dans le système pour en améliorer le produit. L'avantage du modèle de simulation est que l'utilisateur ne doit pas à juger quantitativement le résultat pour décider des changements sur les variables contrôlables. Il a seulement à décider si le résultat est bon ou mauvais, ce qui est aisé si l'on est familiarisé avec le système réel.

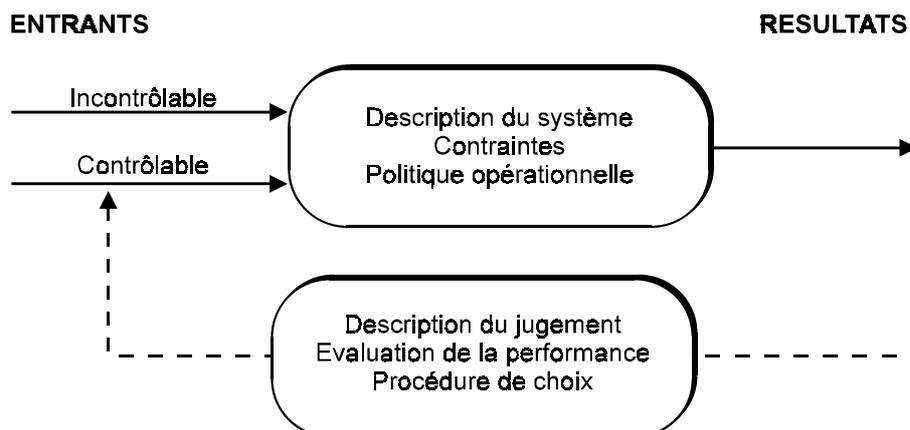
Les modèles de simulation sont utilisés pour:

- la prévision des impacts,
- l'identification des besoins en données,
- le stockage des données,
- l'identification des rapports physiques et institutionnels,
- les recherches à mener,
- l'identification des objectifs systémiques, et
- le mécanisme de formation.

Différents types de modèles de simulation mathématique ont été utilisés dans la gestion des ressources en eau, tels que les modèles d'écoulement en permanent et en transitoire, les modèles quantité-qualité, les modèles hydrologiques, les modèles écologiques, etc.

### **Techniques d'optimisation**

La Figure 5.7 montre le processus d'optimisation. On peut noter que la seule différence entre ce dernier et le processus de simulation est que le jugement de l'utilisateur est remplacé par une description mathématique du processus de jugement, comprenant une évaluation de la performance et une structure performante de choix d'une meilleure solution ou situation.



**Figure 5.7: Présentation graphique du processus d'optimisation**

Toute optimisation comprend un modèle de simulation. Le résultat des modèles d'optimisation n'est pas facile à évaluer car, très souvent, il simplifie les options des décideurs, et les modèles mathématiques peuvent imposer uniquement leurs caractéristiques propres aux résultats. L'utilisation des modèles d'optimisation peut aider à:

- identifier les meilleures actions possibles;
- identifier les objectifs systémiques;
- identifier les priorités parmi les objectifs; et
- identifier les impacts des contraintes du système.

Plusieurs types de techniques mathématiques d'optimisation sont utilisés pour la gestion des ressources en eau, telles: la programmation linéaire, la programmation non linéaire, la programmation dynamique, l'optimisation stochastique, l'optimisation déterministe, etc.

Une question que l'on se pose souvent est: quelle est la meilleure méthode? C'est celle qui est choisie en fonction de la nature du problème. En général, aucun modèle n'est adapté à toutes les situations.

#### **5.4.2 SIG dans la gestion des ressources en eau**

Dans les projets de gestion des ressources en eau, il est essentiel de collecter, traiter et analyser les données ayant trait à la topographie, l'hydrologie, l'hydrogéologie, la qualité de l'eau, l'écologie, l'occupation du sol, etc. dans la zone d'étude. Le SIG est l'outil le plus approprié à ces analyses et il est fréquemment utilisé dans les études des ressources en eau.

Le SIG peut être utilisé dans toutes les activités liées à la gestion des ressources en eau, telles que les projets de développement, de gestion et d'utilisation des ressources en eau. Il peut s'appliquer à l'analyse du problème dans la phase de préparation du projet, et pour la gestion. Une fois établie, la base de données du SIG peut facilement être élargie et ajustée, pour satisfaire de nouvelles demandes.

Certaines des activités de gestion des ressources en eau auxquelles le SIG peut s'appliquer avec succès, sont:

- la présentation graphique des niveaux d'information de base indispensables à la gestion;
- la modélisation (modèles d'eaux souterraines, modèles d'eaux de surface, modèles de bassins versants, etc.);
- la présentation et l'analyse des réseaux hydrographiques, de l'écologie des cours d'eau, de la limnologie, de l'hydrologie urbaine, de la qualité de l'eau, des processus d'érosion et de sédimentation, etc.

### 5.4.3 Système informatisé d'aide à la décision concernant la gestion des ressources en eau

Les systèmes informatisés d'aide à la décision sont des systèmes interactifs, qui s'appuient sur l'ordinateur et qui permettent de transformer les données en informations indispensables aux décideurs pour résoudre des problèmes non structurés. Les composantes principales de ces systèmes sont: le sous-système de données, le sous-système de modèles et le sous-système de dialogue, comme illustré dans la Figure 5.8.

Le sous-système de données est centré sur l'acquisition, le stockage, la gestion, la récupération et le traitement de données. Il sera sous-divisé en bases de données statique et dynamique. La base de données statique concerne les caractéristiques physiques, économiques, démographiques, environnementales, d'occupation du sol et autres caractéristiques importantes du système. Par contre, la base de données dynamique englobe des séries temporelles d'informations concernant, par exemple, l'hydrologie, le débit des eaux usées, la qualité des eaux usées, la qualité de l'eau de mer et les données climatologiques.

Le sous-système de modèles est utilisé pour analyser, faire des prévisions et orienter les décisions. Ce sous-système comprend une diversité de modèles variant des modèles de simulation jusqu'aux modèles d'optimisation plus ou moins sophistiqués.

Le sous-système de dialogue est la composante du système d'aide à la décision qui assure l'interface fondamentale entre l'homme et la machine. Les progrès impressionnants réalisés dans le domaine de la technologie informatique (logiciel et matériel) ont fourni les moyens de développer des interfaces faciles à maîtriser, y compris une haute résolution graphique en couleurs, l'animation et la présentation multimédia.

L'expérience montre que les systèmes d'aide à la décision ont été utilisés dans de nombreux domaines de la gestion des ressources en eau et qu'ils font désormais inévitablement partie du processus de prise de décisions.

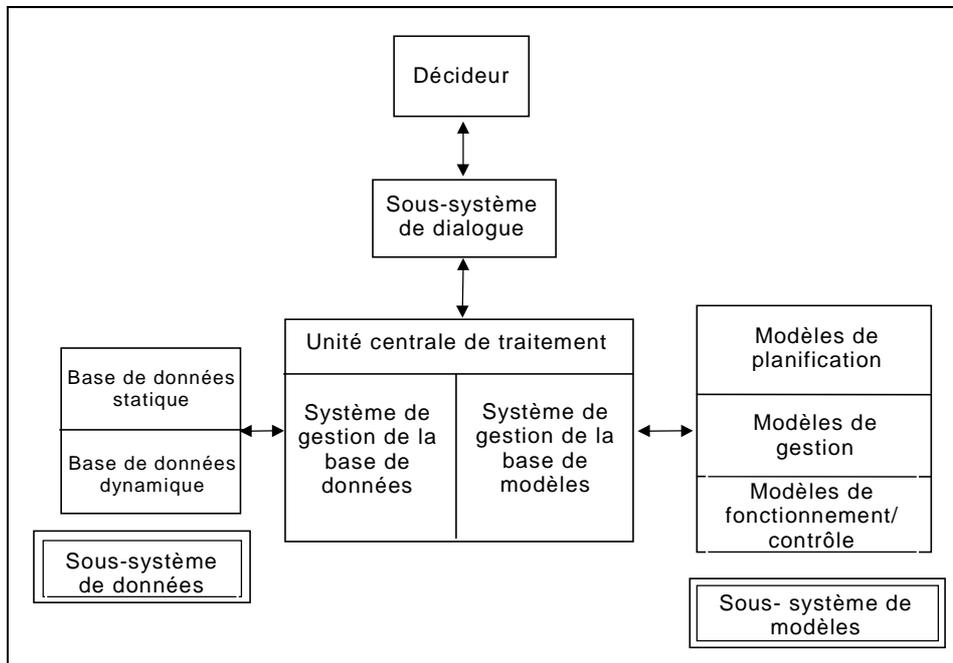


Figure 5.8: Composantes de base d'un système d'aide à la décision

## **5.5 Gestion des données**

### **5.5.1 Données exigées**

#### **5.5.1.1 Introduction**

La nature et la diversité des utilisateurs de données et d'informations sur l'eau mettent en évidence la valeur de ces données et leur importance pour l'environnement et l'économie de la région. Le type de données et la durée d'observation nécessaires pour assurer une évaluation valable des ressources en eau sont en principe plus modestes que ce qui est nécessaire pour étudier chaque problème individuel. Normalement, l'institution responsable de la collecte de données dispose d'un plan général spécifique de collecte auquel se réfèrent la plupart des projets de développement des ressources en eau qui utilisent l'information à des fins particulières.

Ces données, qui sont indispensables à la planification, à la conception, à la construction, au fonctionnement et à la gestion des projets relatifs aux ressources en eau dans les zones côtières, relèvent de la responsabilité d'institutions concernées et sont le plus souvent définies à l'avance. Les données hydrologiques et météorologiques sont obtenues à partir de réseaux et constituent la base principale pour les calculs hydrologiques des projets hydrauliques. La qualité des calculs, de l'interprétation des données et de la conception dépend de la disponibilité des données, de leur précision ainsi que de leur suivi dans le temps et l'espace. Le stockage de données dans les banques de données informatisées en facilite l'accès, ainsi que l'utilisation des différentes techniques analytiques d'interprétation. A défaut, un fichier bien organisé et facilement accessible peut également être utile.

Les données hydrologiques indispensables à différents niveaux d'un système de ressources en eau, ou au fonctionnement et à la gestion d'un tel système, sont dans la plupart des cas identiques et sont présentées dans le Tableau 5.1. Toutefois, les informations spécifiques, qui sont très souvent nécessaires à la planification, à la conception et à la construction comme au fonctionnement et à la gestion, sont présentées dans le texte qui suit.

#### **5.5.1.2 Données utilisées dans la planification**

La planification des projets de ressources en eau est basée sur des concepts, des buts et objectifs définis par le promoteur, le gouvernement ou l'autorité locale, très souvent à la demande de la population locale. Ces premières idées doivent être basées sur des informations complètes et suffisamment fiables.

Considérant que l'étape de planification est normalement évolutive et adaptable, elle peut, dans sa phase initiale, être fondée sur des données provisoires nécessitant d'être réexaminées et mises à jour. Il se peut que les plans aient à être ajustés au fur et à mesure que les informations sont révisées et réévaluées. Au cours de l'étape de planification, diverses données sont demandées concernant tous les aspects du plan en question. C'est pourquoi la planification peut en partie reposer sur des données indirectes, une synthèse d'informations disponibles ou sur un jugement professionnel rationnel. Les données complémentaires et les informations nécessaires pour mener à terme la planification d'un schéma, doivent être identifiées le plutôt possible pour permettre la vérification du plan avant d'entamer des recherches détaillées.

Lors de la planification d'un projet de ressources en eau il y aurait lieu de tenir compte des points suivants:

- la même attention doit être accordée à toutes les parties du plan jusqu'à l'obtention des informations permettant une décision rationnelle;
- les données disponibles doivent être évaluées en termes de rationalité et de précision pour pouvoir servir de base à la planification;
- les conséquences possibles à long terme doivent plus retenir l'attention que les avantages à court terme;
- des ressources suffisantes doivent être affectées aux évaluations appuyant l'étape de planification.

L'inventaire de l'eau disponible pour différents usages comporte trois composantes principales:

1. La collecte de données hydrologiques sur les composantes du cycle de l'eau en différents points de la zone d'évaluation.
2. L'identification des caractéristiques physiographiques du territoire, qui déterminent les variations spatio-temporelles des composantes du cycle de l'eau (climat, topographie, sols, surface, géologie, occupation du sol, couverture du sol, y compris les changements causés par l'homme, végétation, etc.).
3. Les techniques de mise en corrélation des données hydrologiques et physiographiques pour obtenir des informations sur les caractéristiques des ressources en eau en tout point de la zone d'évaluation.

La qualité de l'analyse dépend directement de la qualité et de la quantité des données, ce qui signifie qu'une analyse réussie implique:

1. Des normes communes pour l'évaluation des ressources en eau; et
2. Des systèmes standardisés de collecte et de mesure pour enregistrer les données hydrologiques, celles sur l'utilisation de l'eau et les autres données connexes.

### **5.5.1.3 Données utilisées dans la conception et la construction**

Les données et les informations utilisées pour la conception et la construction d'un projet de ressources en eau sont plus spécifiques et plus restreintes. Simultanément, le degré de détail, de fiabilité et de précision augmente considérablement. L'ampleur et le niveau de détail de la collecte de données dépendent du type de développement planifié du milieu physique devant l'accueillir et de la précision des informations disponibles. Il convient de souligner la nécessité de collecter:

- les données géohydrologiques spécifiques au site en question, indispensables à la conception du schéma;
- les données hydrologiques, hydrogéologiques et sur la qualité de l'eau, indispensables à l'élaboration du schéma;
- les données de nature plus globale pour combler les lacunes dans l'évaluation générale des ressources en eau.

### **5.5.1.4 Données indispensables au fonctionnement et à l'entretien**

Le fonctionnement et la gestion d'un projet durent un certain temps, durée de vie du projet. L'on a généralement le temps de collecter suffisamment de données pour orienter la gestion à long terme. La pratique la plus correcte serait cependant d'être en position d'anticiper le fonctionnement et la gestion du projet bien avant sa mise en œuvre. Cela signifie que des données suffisantes soient disponibles pour permettre une telle anticipation du régime de fonctionnement. Le fonctionnement et la gestion d'un projet constituent une composante essentielle de l'étape de planification et de conception, et doivent absolument être pensés avant la mise en œuvre du projet.

Afin de définir le régime de fonctionnement et de gestion, les données doivent être collectées de manière sélective. Elle permettraient ainsi de discerner et de surveiller les effets que la modification de l'environnement pour les besoins du développement peut produire sur l'hydrologie et la qualité de l'eau. Elles pourraient ensuite être comparées et évaluées par rapport aux données de départ, qui concernent la situation précédant le développement. Ces études comparatives sont essentielles pour la reconnaissance des problèmes de développement qui accompagnent la plupart des grands projets de développement. Elles peuvent faciliter la prise des décisions appropriées pour résoudre ces problèmes. Des ajustements dans le fonctionnement et la gestion peuvent être faits en fonction du changement des conditions hydrologiques et autres prévalant dans la zone en question ainsi que de l'utilisation de l'eau.

### **5.5.1.5 Informations hydrologiques à utiliser dans les projets relatifs aux ressources en eau**

Le Tableau 5.1 contient une liste générale des types d'informations hydrologiques utilisées le plus souvent dans les projets de ressources en eau, adaptés aux zones côtières.

Les données hydrologiques demandées sont relatives à l'écoulement et la sédimentation, bien que les données sur la qualité soient très utiles dans la plupart des applications.

Les données météorologiques indispensables à la plupart des projets sont relatives aux précipitations durant une longue période de temps et bien distribuées dans la région. Elles sont utilisées pour l'estimation des épisodes extrêmes, pour les modèles pluie-débit, pour compléter les séries de données sur le ruissellement, l'évaporation, la radiation, l'humidité, la neige, la direction et la vitesse des vents.

Pour augmenter la précision des calculs hydrologiques, il est souhaitable d'avoir à disposition des séries continues de données. Ainsi, des données journalières, hebdomadaires ou mensuelles sont souvent disponibles qui concernent des points spécifiques et des périodes de temps particulières. Elles doivent être utilisées de la meilleure manière possible. Par exemple, pour le calcul de la capacité de stockage exigée d'un réservoir d'approvisionnement en eau, les valeurs mensuelles sont suffisantes.

Il est impossible d'établir la liste exhaustive des données de base demandées en raison de la diversité des problèmes de ressources en eau et des conditions prévalant dans les différentes zones côtières.

## 5.5.2 Acquisition, traitement, stockage et récupération de données

### 5.5.2.1 Généralités

Le développement intégré des ressources en eau d'une zone côtière implique de nombreuses études sur l'environnement physique et socio-économique de l'homme et sur les besoins particuliers de la zone.

**Tableau 5.1: Données hydrologiques indispensables à un projet de ressources en eau**

Projet relatif à l'eau	Niveaux d'eau			Écoulement			Sédiment			Qualité de l'eau		
	séries	max	min	séries	max	min	séries	max	min	séries	max	min
	temp.			temp.			temp.			temp.		
redistribution de l'eau <i>déviations, canal, prise d'eau</i>	M	M	M	H	H	H	H	M	M	H	M	M
redistribution de l'eau dans le temps <i>(réservoirs)</i>	M	M	M	H	H	H	H	M	M	H	M	M
production de l'énergie <i>puissance hydrique, etc</i>	H	M	M	H	M	H	H	M	M	M	M	M
retenues d'eau <i>digues, barrages</i>	H	H	M	M	H	M	M	M	M	M	M	M
évacuateurs d'eau <i>évacuateurs de crue</i>	M	H	M	H	H		M			M		
amélioration de la qualité <i>épuration de l'eau et des eaux usées</i>				H	M	H	M	M	M	H	H	H
zonage <i>plaine(s) inondable(s), fleuves scéniques</i>	H	H	H	M	H	M	M					
lutte contre l'intrusion de l'eau de mer <i>recharge artificielle</i>	H	H	H	H	M	H				H	H	H
schéma des eaux souterraines <i>batterie de puits, pompage</i>	H	H	H	H	M	H				H	H	H
assurance <i>(inondations, dégradation de la qualité de l'eau)</i>		H	H		H	H				H	H	
prévision du débit / niveau <i>lutte contre les inondations, réservoirs</i>	H	H	H	H	H	H						
normes/législation <i>utilisation, qualité de l'eau</i>	M	H	H	M	H	H				H	H	H

H = haute priorité M = priorité moyenne

\* les paramètres de la qualité de l'eau dépendent du projet

L'acquisition, le traitement, le stockage et la récupération des données sont présentés ci-après principalement pour les besoins des études hydrologiques indispensables à la préparation du plan de développement des ressources en eau d'une grande région. Bien que les études hydrologiques soient très importantes pour un tel plan, la réussite de l'effort de planification dépendra de l'analyse critique de tous les moyens alternatifs susceptibles d'améliorer le bien-être social et la croissance économique de la zone côtière.

Le développement des ressources en eau, loin d'être une fin en soi, doit être considéré comme une contribution au progrès général envisagé par les autorités locales et le gouvernement national.

La spécification qui suit, basée sur le "Développement intégré des bassins versants" (Nations Unies, 1970) adapté aux zones côtières, sert d'abord d'illustration et de liste de contrôle pour les étapes majeures de recherche hydrologique à effectuer pour les besoins de la partie de la planification des zones côtières relative au développement intégré des ressources en eau:

- Apprécier l'adéquation des données hydrométéorologiques disponibles (précipitations, évaporation, évapotranspiration, température de l'air) et des données hydrologiques (séries temporelles d'écoulement, hydrogrames des crues, caractéristiques de la recharge des aquifères, paramètres de qualité, paramètres de transport des sédiments).
- Sélectionner les points de contrôle clés dans le système fluvial en tenant compte de l'emplacement des stations de jaugeage, des principaux utilisateurs de l'eau, des ouvrages de contrôle du débit, existants et planifiés. Définir l'emplacement des sources d'alimentation des eaux souterraines.
- Déterminer les données complémentaires à recueillir en tenant compte des objectifs de recherche et des méthodes qui seront utilisées dans l'analyse subséquente de la gestion de l'eau (bilans classiques, simulation, optimisation).
- Mettre au point des méthodes, normes et schémas pour l'acquisition de données complémentaires (renforcement des enregistrements du débit, application des modèles pluie - débit, analyses régionales).
- Organiser l'acquisition de nouvelles données.
- Analyser et organiser les données pour l'étude des problèmes liés à:
  - l'approvisionnement en eau des ménages, des industries et de l'agriculture;
  - la lutte contre les inondations;
  - le contrôle de la qualité de l'eau;
  - l'interface entre l'eau douce et l'eau marine;
  - la production de l'énergie hydroélectrique;
  - la navigation continentale;
  - l'utilisation de l'eau aux fins de récréation; et
  - la conservation de la nature.
- Estimer la variabilité annuelle du débit et les caractéristiques de la distribution inter-annuelle du débit.
- Estimer la quantité d'eau qui peut être prélevée à partir des ressources en eau souterraines sans produire de résultats indésirables (intrusion saline ou intrusion d'eau de qualité inférieure).
- Mettre en place et maintenir un réseau de piezomètres d'observation des niveaux et de la qualité de l'eau souterraine.
- Evaluer les prélèvements d'eau souterraine mensuellement et/ou annuellement (sur la base du nombre de mètres cubes d'eau, de l'occupation du sol, du type de culture et des méthodes d'irrigation utilisées).
- Evaluer le bilan hydrique annuel des principaux aquifères, vérifier les niveaux d'eau, la qualité, et estimer les prélèvements.
- Estimer le débit fluvial minimum indispensable à la réalimentation des nappes souterraines.
- Examiner les possibilités de réutilisation des effluents traités (pour la réalimentation artificielle de l'aquifère, l'irrigation).

## Encadré 12

### Liste générale des données de base pour les besoins des projets relatifs aux ressources en eau

#### Cartes

- administrative;
- topographique;
- géologique (y compris la structure, la stratigraphie, la lithologie);
- hydrologique (y compris l'emplacement des puits, le suivi des puits, le niveau hydrostatique et les courbes piézométriques, la profondeur de l'eau, la profondeur du substratum de la nappe aquifère, la qualité de l'eau de recharge et de la décharge de l'eau et des zones affluentes, les captages d'eau souterraine, les courbes iso-rendement des forages, l'isotransmissivité et d'isorendement spécifique);
- du couvert végétal et de l'occupation du sol;
- pédologique;
- pluviométrique;
- hydrogéologique;
- hydrographique.

#### Données concernant les eaux souterraines

- délimitation des aquifères, leur géométrie et lithologie avec des coupes;
- type de nappes aquifères (à surface libre, artésienne ou perchée);
- épaisseur, profondeur et désignation;
- limites;
- transmissivité et perméabilité;
- rétention spécifique;
- décharge et recharge;
- rapports entre eaux souterraines et eaux de surface;
- modèles hydrogéologiques;
- emplacement, profondeur, diamètre, types de puits, et diagraphies;
- niveaux statique et dynamique de l'eau, hydrogrammes, capacité spécifique, qualité de l'eau;
- développement et utilisation actuels et projetés des eaux souterraines;
- corrosion, incrustation, interférence des puits, et problèmes similaires de fonctionnement et d'entretien;
- emplacement, type, contexte géologique et hydrographique des sources;
- réseaux de piezomètres d'observation;
- sites d'échantillonnage;
- distribution dans le temps et l'espace des prélèvements des eaux souterraines.

#### Données concernant les eaux de surface

- stations hydrographiques;
- distribution du ruissellement, capacités des réservoirs, données sur les apports et l'écoulement;
- utilisation de l'eau par type de consommateur (ménages, irrigation, industrie, etc.) avec distribution temporelle et spatiale;
- données sur la qualité;
- données sur la charge solide en suspension et le charriage de fond;
- débit de retour, débit différentiel;
- débit de pointe des crues, décrues, sécheresses.

#### Données climatologiques

- précipitations;
- température;
- évapotranspiration;
- vitesse, direction et intensité des vents.

#### Données sur la consommation

- zone concernée et type de cultures;
- consommation par type de culture;
- méthode d'irrigation utilisée et efficacité de l'irrigation;
- municipalités, sources d'approvisionnement en eau, population, taux de consommation;
- industries et taux d'utilisation de l'eau;
- autres utilisations de l'eau (récréation, lachûres pour des raisons écologiques, etc.).

- Examiner les mesures de conservation des eaux souterraines et promouvoir les règlements sur l'utilisation des eaux souterraines (licences, surveillance des permis de pompage, etc.).
- Estimer le débit minimum qui doit être maintenu pour des raisons esthétiques, paysagères, sanitaires, et/ou biologiques.
- Déterminer les ressources en eau disponibles et analyser les alternatives potentielles de stockage de pointe.
- Examiner les possibilités d'utiliser simultanément les eaux de surface et les eaux souterraines pour accroître la disponibilité de l'eau (réalimentation artificielle des eaux souterraines pendant les périodes humides, pompage accru pendant les périodes de sécheresse).
- Estimer les caractéristiques de la crue pour quelques profils choisis (courbes de fréquence des débits de pointe pour les débits naturels et régulés, calcul des débits de crues, critères de dérivation par canaux).
- Développer des alternatives pour le contrôle des crues (stockage, mesures visant à retarder l'écoulement, digues de protection, murs de protection, amélioration des chenaux, évacuateurs de crues).
- Estimer les caractéristiques de la décrue pour quelques profils sélectionnés (courbes de fréquence du débit minimum pour les débits naturels et régulés, calcul des débits de base).
- Développer des alternatives pour le contrôle de la qualité de l'eau (dilution des débits minimums).
- Estimer les caractéristiques hydrologiques pour les besoins des études concernant la production de l'énergie hydroélectrique (développer des alternatives de production de l'énergie hydroélectrique).
- Évaluer la faisabilité et les coûts des installations de dessalement pour l'approvisionnement en eau douce.
- Estimer les caractéristiques hydrologiques pour les besoins des études sur la navigation continentale (profondeur, largeur, vitesse du courant).
- Développer des alternatives pour l'amélioration de la navigation.
- Estimer les caractéristiques hydrologiques pour les besoins des études sur la récréation (profondeur, surface, qualité de l'eau).
- Développer des alternatives pour l'utilisation de l'eau à des fins de récréation.
- Estimer les caractéristiques hydrologiques pour les besoins des études sur les ressources halieutiques et des animaux sauvages (température de l'eau, qualité de l'eau, écoulement souterrain).
- Développer des alternatives pour améliorer les habitats de poissons et de l'avifaune sauvage.
- Analyser les arrangements institutionnels actuels et potentiels dans le domaine de la gestion des ressources en eau.
- Évaluer toutes les alternatives et préparer un plan global et à long terme de développement intégré des ressources en eau dans la zone côtière, y compris une évaluation des impacts des projets envisagés sur l'environnement et le régime hydrologique.

Les données demandées et leur acquisition, traitement, stockage et récupération sont présentés dans le texte qui suit.

#### **5.5.2.2 Utilisation de l'eau et demande en eau**

Les données sur l'utilisation de l'eau dans un bassin versant ou dans une zone côtière sont indispensables au suivi du bilan hydrique de la zone. Elles servent également à évaluer la demande actuelle et future. Cela comprend les taux de consommation, les tendances et les variations selon les usages, la consommation par les différentes cultures en fonction du type de sol et de la méthode d'irrigation appliquée. Les données sur l'utilisation de l'eau comme les ressources en eau de la zone à développer servent à établir la faisabilité globale d'un projet hydraulique.

La consommation par les différentes cultures dans une zone agricole peut théoriquement être déterminée en utilisant des formules empiriques sur la base de l'évapotranspiration et d'autres données météorologiques. La quantité totale d'eau utilisée par type de culture et par unité de surface pour différentes efficacités d'irrigation peut être évaluée grâce à des questionnaires annuels sur l'occupation du sol, la consommation électrique du pompage, etc. La qualité de ces estimations dépend de l'effort déployé. On n'utilisera ces dernières qu'à titre indicatif.

Les taux de consommation de l'eau par les ménages sont le plus souvent obtenus par les institutions responsables de la distribution d'eau. Ils doivent être ajustés en ce qui concerne les pertes dans le système de distribution s'ils doivent être utilisés dans d'autres zones.

Les dérivations et la pratique de l'irrigation par épandage des crues est plus difficile à évaluer, car ces pratiques ne sont pas régulières. Les prélèvements d'eau souterraine, l'utilisation des eaux de barrage, la récréation, la production d'énergie thermique, etc. font aussi partie intégrante de l'utilisation de l'eau dans la zone, et comme tels doivent être suivis, estimés et mis à la disposition de la gestion des ressources en eau de cette zone.

L'organisme chargé de l'allocation des ressources en eau pour différents usages tient en principe un dossier sur l'usage fait. Ces données doivent être stockées dans des banques de données informatisées, facilement accessibles. Les rapports annuels feront état des utilisations de l'eau dans les différents secteurs.

### **5.5.2.3 Eaux de surface**

Les études hydrologiques des eaux de surface sont basées sur les différents types d'observations, le plus souvent obtenues à partir du réseau de stations hydrographiques enregistrant en continue le régime fluvial, et à partir de jaugeages ponctuels choisis.

Les informations obtenues par le biais du réseau hydrométrique général doivent comprendre:

- l'écoulement de base et le débit de crue, l'accent étant mis sur les valeurs extrêmes;
- le transport de sédiments (en suspension et charriés); et
- la qualité de l'eau et ses variations en fonction du débit, de l'étendue du chenal et de l'utilisation en amont.

Une base de données informatisée offre le moyen le plus approprié permettant le stockage et la récupération de ces données pour faciliter l'accès aux informations nécessaires aux analyses et aux évaluations dans le cadre des projets hydrauliques. Il est important de choisir et mettre en place la meilleure base de données possible afin de répondre aux besoins de la région.

### **5.5.2.4 Données sur les eaux souterraines**

Les eaux souterraines font partie intégrante des ressources en eau d'une zone. Elles acquièrent une importance particulière dans les zones côtières méditerranéennes car, très souvent, c'est par elles et grâce à elles que le développement y débute et se renforce.

En plus des études hydrogéologiques standards ayant trait notamment à la géométrie, aux propriétés, à la lithologie et à la réalimentation des aquifères, les données obtenues à partir des réseaux permanents rendent possible l'étude de leur performance, de leur bilan hydrique, de leur rapport avec l'eau de mer, de la qualité de l'eau et de ses tendances. Elles permettent l'élaboration de plans de gestion concernant la répartition saisonnière et spatiale du pompage.

Les informations à recueillir à partir du réseau permanent d'observation doivent concerner:

- les niveaux d'eau (mensuellement ou saisonnièrement, pour illustrer les variations de l'émagasinement.);
- l'échantillonnage de l'eau souterraine pour en contrôler la qualité (composition ionique, teneur en chlore ou conductivité électrique), la surveillance de la pollution et de l'intrusion marine; et
- les effets du pompage et de l'interférence des nouveaux pompages ou ceux des actions de réalimentation.

Les informations collectées à partir des puits et des forages doivent englober les estimations de l'eau extraite sur la base des superficies irriguées, du type de culture et des méthodes d'irrigation employées.

Les données obtenues durant le forage sont essentielles pour la détermination de la géométrie et de la lithologie de l'aquifère. Un levé topographique et géographique du réseau d'observation et, si possible, de tous les puits et forages, est essentiel pour un contrôle adéquat des performances de l'aquifère. Les essais de pompage sur des puits sélectionnés fourniront des données sur la perméabilité, le débit spécifique et la capacité spécifique, très importantes pour les études d'évaluation des aquifères, la modélisation hydrogéologique et les études de l'interface entre l'eau douce et l'eau de mer.

Les informations sur les eaux souterraines sont le plus souvent stockées dans les fichiers, qu'elles aient été trouvées dans les annuaires hydrologiques ou dans des études antérieures sur l'aquifère. Le stockage informatisé et la récupération des données sont le moyen le plus approprié de traitement des grandes masses d'information généralement disponibles.

#### **5.5.2.5 Conservation des ressources en eau**

La conservation des ressources en eau concerne les eaux de surface comme les eaux souterraines aussi bien en quantité qu'en qualité. La rareté de l'eau et la demande croissante rendent les mesures de conservation absolument nécessaires si l'on veut répondre à la demande actuelle et future de manière satisfaisante.

Les programmes de conservation nécessitent des informations sur l'état actuel des ressources en eau et sur les tendances de développement, en termes de quantités et de qualités. Les données sur l'utilisation de l'eau sont également importantes, particulièrement en ce qui concerne l'efficacité de l'utilisation et l'évolution quantitative de la demande. Les plans et les mesures de conservation deviennent normalement nécessaires dès que l'on constate qu'une source d'eau, un aquifère ou un système aquifère, un cours d'eau, un réservoir ou un lac devient inapproprié ou que son utilisation continue est menacée. Cela peut être la conséquence de sa surexploitation, de sa pollution ou de sa contamination.

Les données sur les paramètres qui conditionnent ce type d'évolution sont essentielles non seulement pour suivre la situation mais aussi pour mettre en application les règlements et contrôles qui concernent une ressource particulière. La déclaration de zones de sauvegarde ou de zones faisant l'objet de règlements et contrôles spéciaux, exige des faits et des données convaincantes, destinés non seulement aux autorités civiles mais aussi au grand public. C'est pourquoi il est important de collecter, de stocker et d'évaluer ces données en permanence.

### **5.5.3 Stockage et récupération des données - concept de banque de données**

Le stockage approprié des données sur le cycle de l'eau et d'autres données auxiliaires est essentiel pour l'évaluation, la mobilisation et la gestion des ressources en eau. Les procédés de stockage et de traitement primaire de telles données sont présentés dans les documents cités en bibliographie (WMO, 1981) et (UNESCO/WHO, 1977).

Les données sur le cycle de l'eau peuvent être stockées sous forme de fiches minutes, sur microfilm ou sur ordinateur. L'efficacité et l'adéquation du système de stockage peuvent être évaluées sur la base de la quantité de données préservées et du temps nécessaire pour repérer et récupérer les données spécifiques. Les données sur le fonctionnement des projets hydrauliques sont le plus souvent collectées et stockées de la même manière que celles sur le cycle de l'eau. Toutefois, ces données sont difficiles à récupérer car elles sont stockées par l'utilisateur.

Le traitement primaire consiste à classer et à stocker les données, ensuite à les préparer à l'intention des différents usagers. Cela est décrit en détail dans les documents (WMO, 1981) et (UNESCO/WHO, 1977).

Le classement des données exige l'établissement d'un inventaire efficace pour assurer exhaustivité, disponibilité et récupération rapide des données. Celles-ci sont le plus souvent classées selon l'ampleur du sujet abordé, l'objet, le temps, l'espace, la qualité et la source de données. Les données ainsi classées et accessibles à tous les usagers à travers l'ensemble des six critères, constituent une "banque de données conventionnelle". L'informatisation de ce classement permet de rechercher les données selon l'une des six "dimensions" précitées. Elles sont ensuite transférées à un logiciel existant ou intentionnellement créé, facile à utiliser.

### Encadré 13

#### Développement d'une base de données sur les ressources en eau

##### Objectifs

Organisation d'une base de données.

La base de données devra permettre:

- le stockage structuré de données;
- l'accès facile aux données;
- la mise à jour des données;
- les possibilités de sélectionner les données: sélection croisée, demandes et gestion;
- l'impression et le traçage des données traitées;
- l'intégration des enregistrements des stations de mesure;
- la sortie des données en vue de les utiliser dans les différents modèles ou sous-modèles.

La banque de données doit comporter des informations concernant:

1. l'hydrologie;
2. le climat;
3. l'écoulement de surface;
4. les forages;
5. les sources de pollution existantes et potentielles;
6. la production et l'utilisation de l'eau, etc.

Ces informations comporteront les **catégories** suivantes:

**1. Les paramètres d'identification:**

- type de point de mesure;
- nom(s);
- numéro(s) d'inventaire;
- nom du propriétaire;
- réseau;
- date de mise en place.

**2. Les paramètres de localisation:**

- coordonnées;
- côte au-dessus du niveau de la mer;
- entité physique et/ou administrative;
- carte: nom, numéro, échelle;
- photographies aériennes, numéro, année.

**3. Les caractéristiques techniques**

**4. Les paramètres fonction du temps:**

- fréquence de stockage des données des mesures, pas de temps constants, étapes et variables;
- emplacement des points de mesure et date de mise en place.

**5. La source de données:**

- enregistrement original;
- bibliographie, références;
- estimations basées sur les analyses statistiques des données.

##### Résultats

- une base de données centralisée contenant toutes les données disponibles,
- une base de données informatisée permettant le stockage, la mise à jour, la récupération, la présentation et l'analyse des données, les analyses statistiques élémentaires (moyenne, minimum, maximum, écart standard),
- descriptions de la base de données adaptées aux usagers (sectorielles).

Les systèmes utilisés pour stocker les données hydrologiques générales sur ordinateur sont nombreux. Le programme HOMS de l'OMM, qui est un système de transfert technologique en hydrologie opérationnelle en cite un certain nombre qui peuvent être étudiés plus en détail pour voir s'ils répondent aux besoins spécifiques du pays avant acquisition.

- logiciel pour l'archivage et la récupération des données fonction du temps (TIDEDA),
- HYDSYS - logiciel pour la gestion des séries temporelles de données,
- système automatique de contrôle de la qualité et d'analyse des données (SYSCAD),
- HYDATA - base des données hydrologiques et système d'analyse,
- système de gestion des données de terrain (FIELDMAN),
- HYMOS: gestion des bases de données et système de traitement des données hydrométéorologiques, qualitatives,
- HYDROM: gestion des données hydrométriques,
- PLUVIOM: gestion des données pluviométriques et,
- Hydroinform: unité de diffusion automatique d'informations hydrologiques, contrôlée par le micro-ordinateur.

Outre de telles bases de données commerciales, les systèmes peuvent être adaptés aux exigences réelles et aux problèmes particuliers, comme par exemple MS-ACCESS, dBase, etc.

## **5.6 Eléments d'un plan directeur des ressources en eau**

### **5.6.1 Introduction**

L'eau a des fonctions naturelle et sociale. La demande peut être au fil de l'eau, in situ et ex situ. Les deux premières utilisations ne prélèvent pas d'eau à partir des ressources, ce qui signifie que tout se passe au sein ou sur les ressources en eau elles-mêmes. Les prélèvements détournent la ressource en eau superficielle ou souterraine, ce qui signifie qu'elle doit être déplacée du lieu de prélèvement vers le lieu de consommation, ce qui signifie aussi que l'eau, une fois utilisée, doit retourner à la ressource par le biais de structures appropriées.

Pour que l'eau remplisse ses fonctions naturelle et sociale, elle doit être disponible en quantités suffisantes et être de qualité satisfaisante. Si l'eau naturelle n'a pas la qualité requise, elle doit être conditionnée afin de présenter la qualité voulue au moment de son utilisation.

Les caractéristiques de l'eau changent en fonction de son utilisation dans le système socio-économique. C'est en premier lieu la qualité qui change, de sorte qu'un certain nombre de substances nocives introduites dans les ressources en eau, menacent les fonctions aussi bien naturelles que sociales de l'eau pour les utilisateurs en aval. Afin de protéger les ressources en eau, les eaux usées doivent être purifiées et évacuées dans le milieu récepteur de manière appropriée. La catégorisation des fonctions naturelles de l'eau et de son utilisation, y compris les caractéristiques de base, est donnée dans le Tableau 5.2.

L'eau menace l'homme et ses activités (inondations, érosion, humidité, etc.) l'incitant à se protéger par des interventions appropriées, d'ordre structurel et non structurel. L'utilisation multiple de l'eau par tous types d'activités humaines, ainsi que la nécessité de se protéger d'une part contre les impacts négatifs de l'eau, et de protéger d'autre part cette dernière en tant que milieu habité par différentes formes de vie, montrent clairement que la planification, la gestion et l'utilisation des ressources en eau sont étroitement liées à la planification et au développement de l'économie dans son ensemble et de la société au sens le plus large. La demande en développement de ressources en eau correspond par conséquent aux besoins socio-économiques.

**Tableau 5.2: Catégorisation des fonctions naturelles et de l'utilisation de l'eau (Jerman, 1987)**

I Fonctions naturelles	II Utilisations au fil de l'eau	III Prélèvements	
Conservation de l'humidité des sols, transformation des sols	Niveau des nappes souterraines et régulation de l'humidité du sol, CE	Boisson et cuisson, QE	Demandes en eau urbaine et rurale
Transport des éléments bio-géochimiques	Transport et élimination des déchets VE, QF, IE	Autres utilisations domestiques, QE, IE	
Fonctions biologiques	Poissons et animaux sauvages, BE	Utilisations publiques, QE, IE	Demandes en eau industrielle et d'infrastructure
Fonctions de régulation climatique	Utilisation générale, CF	Eau chaude, énergie de vapeur, climatisation IE, CE	
Agrément esthétique	Transport sur l'eau, personnes et biens	Processing, IE	
Autres fonctions environnementales	Production hydroélectrique VE, QF, CF	Refroidissement, VE, QF, CE	
	Recréation et sports nautiques, CF	Exploitation des mines et transport hydraulique, IE, QF Autres utilisations industrielles et agricoles, VF	Demandes en eau agricole
		Irrigation, VE, CE	
		Processing, IE	
		Elevage de bétail et de volailles, IE	
		Élevage de poissons et d'oiseaux d'eau	
Consommation	CE, élevée	CF, faible	
Exigences de qualité	QE, élevée	QF, faible	
Impact sur la qualité de l'eau	IE, élevé	IF, faible	
Besoins en volume	VE, élevé	VF, faible	
Besoins en espace	BS, élevés		

### 5.6.2 Ouvrages hydrauliques importants

Un certain nombre d'ouvrages hydrauliques (barrages, chenaux, etc.) sont utilisés dans presque tous les types de projets de ressources en eau. Certaines de leurs caractéristiques essentielles seront brièvement présentées ci-après.

#### Les réservoirs

Les projets d'approvisionnement, d'irrigation ou de production hydroélectrique, utilisant directement les ressources en eau, ne peuvent pas satisfaire la demande de leurs usagers durant l'étiage. Un cours d'eau à faible débit en saison sèche, devenant souvent torrentiel après de fortes pluies et constituant un danger pour toutes les activités le long de ses berges, est une situation méditerranéenne typique. Un réservoir de stockage peut retenir ces surplus d'eau des périodes excédentaires afin qu'ils puissent être utilisés durant les périodes de sécheresse. Outre la conservation de l'eau pour une utilisation ultérieure, le stockage des eaux peut également réduire les dégâts des inondations en aval du réservoir.

Du fait de la variation journalière de la demande en eau, les systèmes urbains d'approvisionnement en eau doivent comporter des réservoirs de distribution. De tels réservoirs permettent le traitement de l'eau et le fonctionnement des installations de pompage à un rythme raisonnablement uniforme

à un débit optimal, ainsi que la continuité de la fourniture d'eau lorsque les demandes dépassent le régime de fonctionnement du pompage. Dans les fermes, les bassins ou les réservoirs pourraient entretenir un écoulement intermittent dans les petits ruisseaux pour l'irrigation ou à d'autres fins.

Comme on le voit, la fonction essentielle d'un réservoir est de stabiliser le débit d'eau, soit en régularisant un approvisionnement variable dans un cours d'eau naturel soit en satisfaisant la demande variable du consommateur final.

La plus importante caractéristique physique d'un réservoir est sa capacité de stockage. Si le réservoir est utilisé pour une centrale hydroélectrique, la hauteur du barrage ou la profondeur de son réservoir ont une grande importance.

La construction d'un réservoir sur une rivière modifie considérablement les caractéristiques naturelles de l'eau, quantitativement et qualitativement, à l'aval mais aussi dans la retenue. Le ralentissement ou l'arrêt des apports d'eau dans le réservoir entraîne un certain nombre de processus physiques (évaporation/réchauffement des eaux, sédimentation), chimiques et biologiques et une modification des caractéristiques en aval, vu que l'eau se déverse du réservoir. Les impacts sur l'environnement de tout réservoir important sont considérables, de sorte qu'une EIE détaillée et globale est à effectuer préalablement à sa construction. Plusieurs réservoirs n'ont jamais été construits à cause de leurs impacts inacceptables des points de vue environnemental et social.

Pour définir correctement les caractéristiques d'un réservoir, il est extrêmement important d'avoir un historique du régime d'écoulement au droit du site de construction, ainsi que toutes les autres caractéristiques (qualité de l'eau, données écologiques, géologiques, géotechniques, sismiques, utilisation de la terre, etc.).

### **Barrages**

Un barrage est un ouvrage technique ayant pour rôle de retenir l'eau dans un espace donné. C'est l'élément le plus important d'un réservoir. Les barrages sont classés d'après le type et le matériau de construction (barrage poids, barrage en terre, barrages-voûtes). La sélection du meilleur type de barrage pour un site donné est un problème de faisabilité technique (topographie, géologie et climat) aussi bien que de coûts. Les coûts relatifs aux différents types de barrages dépendent principalement de la disponibilité des matériaux de construction à proximité du site et de l'accessibilité aux moyens de transport.

Les plus importantes caractéristiques d'un barrage sont sa hauteur, sa longueur et son étanchéité. La hauteur d'un barrage est la différence en élévation entre la chaussée ou la crête du déversoir et la partie la plus basse des fondations. Un barrage doit être relativement imperméable à l'eau et capable de résister aux forces en présence. Les plus importantes sont: le poids du barrage, la pression hydrostatique, les contre pressions, la pression de la glace et l'énergie sismique.

Les impacts environnementaux du barrage lui-même sont d'importance locale, n'affectant que le site sur lequel il est. Mais l'aire affectée est beaucoup plus large, du fait de la retenue d'eau générée par le barrage.

### **Déversoirs, vannes et ouvrages d'évacuation.**

Pour contrôler le débit d'eau dans les canaux et conduites, le niveau de remplissage dans les différents réservoirs, citernes, bassins, etc. et pour exploiter ces ouvrages de manière appropriée, il est nécessaire de construire un certain nombre de déversoirs, vannes, pertuis, etc. La plupart de ces dispositifs sont construits à proximité des barrages pour contrôler le fonctionnement du réservoir.

Certaines dispositions sont à prévoir dans la conception de la plupart des barrages pour permettre le déversement des eaux à l'aval. Un évacuateur de crue est nécessaire pour assurer la protection du barrage. Les vannes de fonds permettent à l'opérateur de contrôler la vidange des eaux en aval pour différentes raisons. Dans certains cas, des dispositifs de régulation du débit dans les canaux ou conduites, à partir du réservoir, sont également nécessaires. Pour chacune de ces fonctions, des dispositifs variés, de caractéristiques particulières, existent. Les caractéristiques de ces dispositifs dépendent, en premier lieu, de l'importance du débit et de leur finalité, mais aussi d'autres paramètres comme la pression de l'eau, la géologie, la topographie, etc.

### ***Canaux à ciel ouvert***

Le rôle des canaux ouverts est la distribution spatiale de l'eau brute pour différentes utilisations, à partir de la source. Deux moyens sont utilisés pour le transport de l'eau: le canal à ciel ouvert et la conduite sous pression. Le canal à ciel ouvert peut être un canal d'essais, un tunnel ou une conduite partiellement remplie. Les canaux à ciel ouvert sont caractérisés par une surface d'eau libre. S'agissant d'eau de boisson, les conduites doivent dans ce cas être fermées. Pour le transport de l'eau brute on peut utiliser les canaux ouverts.

Le problème de l'emprise du canal est, à bien des égards, analogue à celui d'une autoroute, mais la solution pourrait être plus difficile, car la pente de la ligne de fond du canal doit être descendante, et ses changements angulaires peu fréquents. Dans la limite des contraintes topographiques, le tracé exact du canal est déterminé par les pentes qui peuvent être tolérées. Les pentes excessives pourraient se traduire par des vitesses à même de provoquer l'érosion du fond du canal. Si la pente du canal est trop faible, la vitesse peut être suffisamment réduite pour que la végétation aquatique réduise l'efficacité hydraulique du canal.

Les canaux peuvent être en terre (sans revêtement) ou être revêtus de différents matériaux (béton, plastiques, etc.). On utilise différents types de revêtement pour réduire les fuites ou pour augmenter la vitesse de l'écoulement. Les pertes d'eau dans les canaux peuvent également être dues à l'évaporation. Plusieurs dispositifs sont nécessaires pour le bon fonctionnement des canaux: dispositifs de dérivation, prises d'eau, crépines, chutes, etc.

Les caractéristiques du canal dépendent principalement du débit d'écoulement, de la topographie, de la qualité de l'eau et des paramètres économiques. Les impacts des grands canaux sur l'environnement sont considérables. Ils peuvent également influencer sur les ressources en eau locales par la recharge des nappes souterraines à partir des fuites durant des périodes de sécheresse ou par le drainage des berges en périodes humides.

### ***Conduites sous pression***

Une conduite sous pression est une conduite pleine d'eau. De telles conduites sont souvent moins coûteuses que les canaux, car elles peuvent suivre un tracé plus court de la source aux utilisateurs. En cas de manque d'eau, les conduites sous pression évitent les pertes par suintements et évaporation qui se produisent dans les canaux à ciel ouvert. Les conduites sous pression protègent également l'eau contre la pollution. Elles conviennent donc mieux pour les approvisionnements en eau, car elles réduisent le risque de pollution.

Les principaux matériaux pour les conduites sont: l'acier, la fonte, le béton, l'amiante ciment, les plastiques, etc. Les aspects économiques jouent un grand rôle dans la sélection des matériaux pour les conduites, mais la disponibilité de la main d'œuvre et l'accessibilité du site pourraient être des facteurs déterminants. Un grand nombre et différents types de dispositifs sont nécessaires pour le bon fonctionnement d'une conduite: vannes, valves de contrôle, surpresseurs, anti coups de béliers, soupapes de sûreté, valves anti retour.

En général, les impacts des conduites sous pression sur l'environnement sont négligeables.

### ***Machines hydrauliques***

Il y a deux types de machines hydrauliques ayant un intérêt pour l'hydraulicien: les pompes et les turbines. Une pompe transforme l'énergie mécanique en énergie hydraulique, en transportant l'eau d'une côte plus basse à un niveau plus élevé, tandis que les turbines servent à faire l'inverse, utilisant la pression hydraulique pour produire de l'énergie. Il existe plusieurs types de pompes et de turbines. Chaque type a ses propres caractéristiques, et pour des conditions de fonctionnement données il y a un type optimal de machine hydraulique, de dimensions données, adapté au travail. Pour le pompage ordinaire, on utilise habituellement la pompe centrifuge, car elle assure un service satisfaisant et rentable.

Deux variables importantes influent sur les caractéristiques des pompes et des turbines: la capacité et la hauteur de charge. La conception des machines hydrauliques est un domaine hautement spécialisé. Les mécanismes et pièces hydrauliques peuvent avoir différents types d'impact sur l'environnement: vibration, bruit ou pollution.

## 5.6.3 Principales utilisations de l'eau

### 5.6.3.1 L'eau dans les systèmes agricoles

La production agricole est le résultat des systèmes agricoles et doit être gérée dans le cadre de ces derniers. Un système agricole peut être défini comme un ensemble interactif d'éléments pédologique et microbiologique, végétal, mécanique et humain, étroitement liés, qui produisent la matière organique pour la nourriture de l'homme à partir du soleil, de l'énergie mécanique et humaine, de l'eau, des engrais et de produits agrochimiques (Figure 5.9).

Les demandes en eau agricole sont fréquemment satisfaites par un auto-approvisionnement sur place et par des apports externes. Les apports externes assurent la régularisation de l'approvisionnement afin de permettre:

- la régulation de l'humidité du sol au moyen de l'irrigation et du drainage;
- l'élevage du bétail et des volailles;
- l'élevage de poissons et de volailles d'eau;
- le process, l'eau vapeur, le refroidissement, le chauffage, l'élimination des déchets, etc.; et
- l'utilisation publique dans le système agricole.

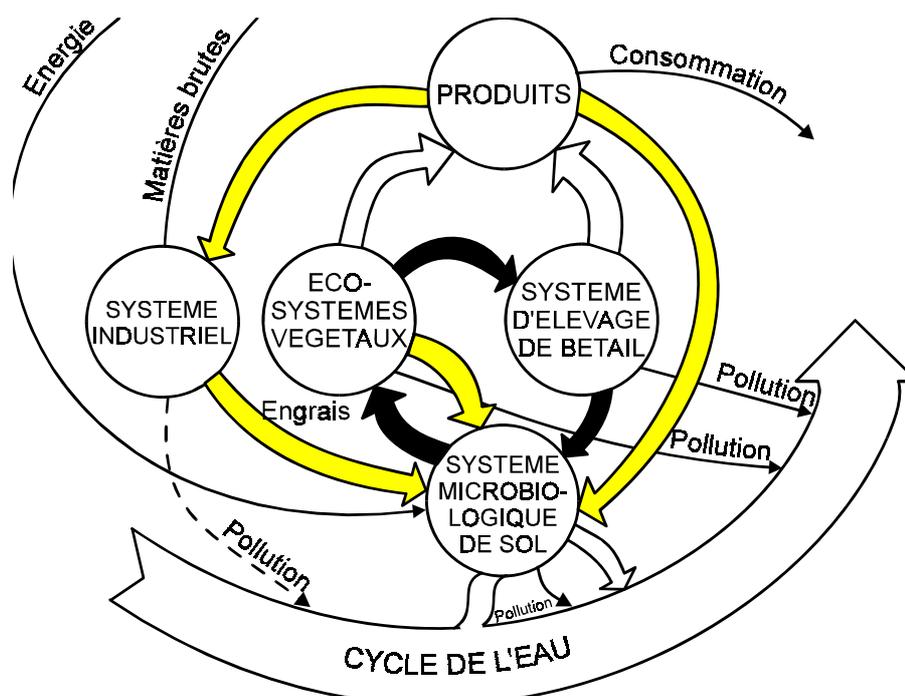


Figure 5.9: Le système agricole, son environnement et principales interrelations de ses sous-systèmes. Principales entrées et sorties

#### **Eau pour l'irrigation**

L'irrigation est la plus importante utilisation de l'eau dans le secteur agricole. C'est l'application de l'eau sur le sol pour assurer l'humidité indispensable à la croissance des plantes en cas de précipitations insuffisantes. Cet objectif principal n'est cependant pas l'unique. L'irrigation apporte, de manière naturelle ou artificielle, les bio-éléments et autres matières qui améliorent la production végétale et les conditions édaphiques du sol, entretiennent les conditions microclimatiques favorables à la croissance des plantes et éliminent les matières mettant en danger la structure et la texture du sol ou la santé des plantes.

De ce point de vue, l'irrigation concerne les catégories suivantes:

- l'irrigation complémentaire;
- l'irrigation fertilisante;
- l'irrigation de protection; et
- l'irrigation de lessivage.

La qualité de l'eau d'irrigation dépend du but poursuivi, des propriétés du sol et du type d'irrigation. Les principales qualités exigées de l'eau destinée à l'irrigation peuvent être récapitulées comme suit:

- elle doit influencer favorablement sur la croissance des plantes et la qualité du produit cultivé;
- elle ne doit pas causer d'interruptions durant l'irrigation;
- elle ne doit pas provoquer de récriminations d'ordre sanitaire durant l'irrigation, le conditionnement ou lors de la consommation des produits agricoles en question;
- elle ne doit pas mettre en danger la qualité des eaux superficielles et souterraines; et
- elle ne doit pas détériorer la surface du sol ni la porosité et les autres propriétés du profil pédologique.

La qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation doit être classée par catégories selon ses caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et bactériologiques. Une importante caractéristique de l'eau d'irrigation est la salinité.

L'humidité du sol peut être contrôlée au moyen d'un système d'irrigation et/ou de drainage. Un système d'irrigation est composé de cinq sous systèmes: le stockage, le transport, la distribution, l'humidité du sol et, exceptionnellement, les aquifères souterrains.

L'irrigation compense essentiellement l'eau qui s'échappe du système végétatif par évapotranspiration, contribuant ainsi à maintenir son développement. Sa faisabilité dépend des conditions du sol et de la parcelle. La demande en eau totale pour une saison d'irrigation est la somme des utilisations et des pertes, correspondant aux besoins de la culture et du lessivage, déduction faite des précipitations et apports d'eau souterraine durant le cycle végétatif, qui contribuent à l'humidité du sol en question, déduction faite aussi de la réserve facilement utilisable (RFU) du sol au début du cycle.

Les précipitations totales, ayant une fréquence d'occurrence de 80% pendant le cycle végétatif, sont considérées comme décisives, en fonction des conditions climatiques locales et des rendements. L'efficacité des précipitations dépend de l'évapotranspiration et de l'écoulement, c'est à dire des facteurs climatologiques, géomorphologiques, et edaphiques. La profondeur de la tranche humide qu'il faut pénétrer par irrigation, ainsi que les besoins en eau des cultures, dépendent de la profondeur du système racinaire. La réserve facilement utilisable du sol au début du cycle végétatif dépend aussi de la profondeur du système racinaire et surtout de la montée capillaire liée à la structure du sol. Les apports d'eau souterraine durant la saison agricole dépendent principalement de la profondeur de la surface de la nappe souterraine et de la structure du sol.

Les pertes d'eau d'irrigation sont généralement très élevées (jusqu'à 50%) si des mesures particulières ne sont pas prises. Les pertes typiques concernent:

1. Les pertes se produisant avant l'irrigation au champ:
  - suintements à partir des canaux et réservoirs;
  - fuites à partir des vannes, de déversoirs non utilisés et autres fuites;
  - évaporation; et
  - eau non utilisée dans le réseau d'irrigation.
2. Les pertes à la parcelle:
  - compensation de l'humidité du sol non utilisée par les plantes;
  - écoulement de surface et souterrain à partir de l'eau non utilisée (surirrigation);
  - percolation profonde dans le sous-sol;
  - évaporation à partir du sol;
  - évaporation à partir de l'irrigation par aspersion; et
  - évapotranspiration des mauvaises herbes.

3. Les pertes à proximité de la parcelle (l'irrigation de parcelles non programmées ou ne se prêtant pas à l'irrigation).

L'économie agricole et l'efficacité de l'irrigation sont étroitement liées. Les doses réelles sont à déterminer et les opérations d'irrigation sont à effectuer sur la base de mesures d'évapotranspiration effectives. Les doses d'eau ne doivent surcharger ni la plante ni le sol. On devra aussi éviter les pertes inutiles du fait d'écoulements non utilisés, de percolation profonde et d'évaporation excessive non productive.

L'efficacité d'utilisation de l'eau en irrigation est actuellement le problème clé de la gestion des eaux, car:

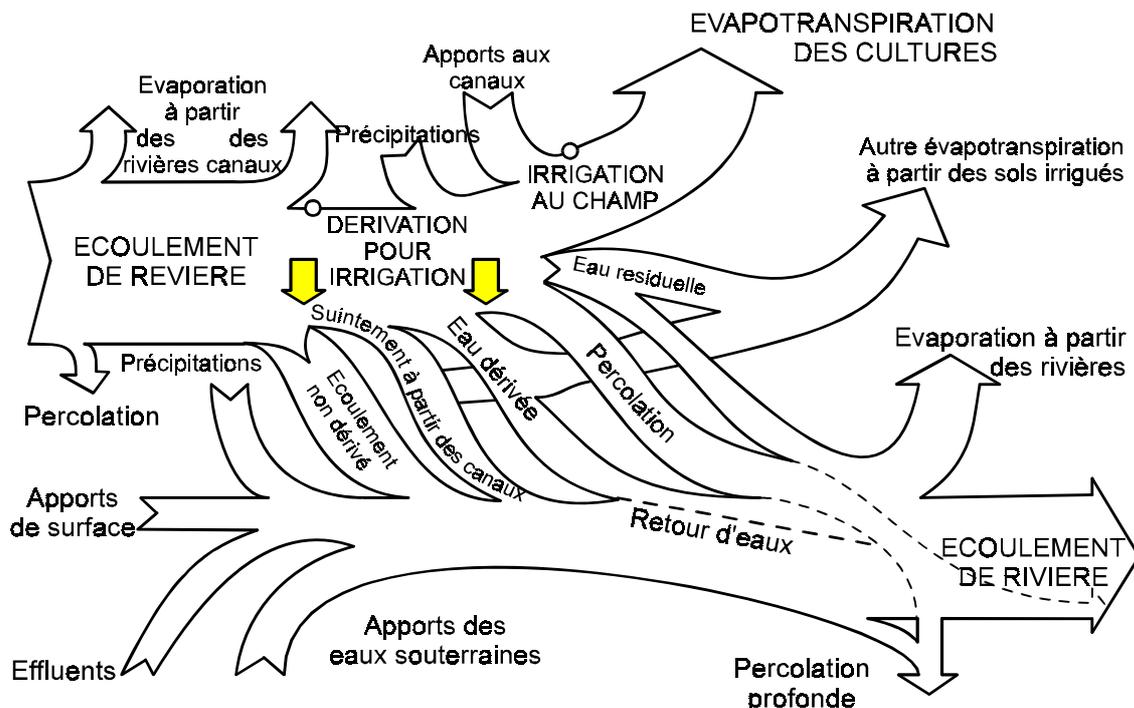
- l'irrigation constitue l'élément essentiel de la demande en eau au niveau global. Les périmètres irrigués et l'intensité de l'irrigation sont en augmentation à cause de la demande alimentaire accrue;
- l'irrigation est en soi un usage d'eau qui réduit considérablement toute possibilité de réutilisation ou de recyclage futurs; et
- les réseaux d'irrigation et leurs systèmes d'approvisionnement ont un impact important et durable sur l'environnement.

Les bénéfices des investissements dans les projets d'irrigation dépendent de l'utilisation appropriée de l'eau au champ, conjointement avec les autres intrants agricoles et pratiques culturales. La première étape à franchir dans la planification d'un projet d'irrigation est d'établir la capacité des terres à produire les cultures qui assurent un profit adéquat à l'investissement dans les infrastructures d'irrigation.

### **Eau pour le bétail et le conditionnement**

Au cours de l'élevage de bétail et du conditionnement agricole, l'eau est utilisée:

- pour le bétail (y compris la cuisson, la préparation du fourrage, etc.);
- pour le service (élimination des déchets, lavage, etc.);
- pour le conditionnement; et
- comme eau de boisson pour les animaux et la main d'œuvre.



**Figure 5.10: Modèle d'un système de retour des eaux d'irrigation (Jerman, 1987)**

S'agissant de la qualité de l'eau pour le bétail, les exigences sont relativement moins sévères par rapport à celles de l'eau potable. Mais la réaction de certaines espèces d'animaux domestiques varie en fonction de l'âge. L'état de santé et le rendement des élevages de bétail et de volailles dépendent de la qualité et des quantités d'eau délivrées.

Les demandes en eau pour le bétail et le service dépendent nécessairement de la technologie d'élevage. Une technologie moderne, répondant à des normes sanitaires plus sévères, utilise 50 à 100% plus d'eau qu'un petit élevage. La demande journalière totale en eau concerne l'eau à boire, l'eau pour le conditionnement, ainsi que l'eau de service pour éliminer les déchets, laver et nettoyer. La demande réelle en eau pour la boisson dépend de la saison, de la température, de la durée du jour, du poids réel des espèces en question et des pratiques particulières d'élevage.

Comme pour l'industrie, l'eau en agriculture est nécessaire pour:

- le conditionnement;
- le transport hydraulique;
- la cuisson, le chauffage; et
- le triage, le lavage, le rinçage et le nettoyage.

En agriculture, l'eau entre dans la constitution du produit. Elle peut venir directement en contact avec le produit intermédiaire ou final, ou bien être vecteur de froid ou de chaleur. Les exigences en qualité peuvent donc être classées de la même manière que celles ayant trait à l'eau industrielle.

#### ***Pollution de l'eau due à la production agricole***

Il y a trois groupes essentiels de pollution en agriculture:

- la pollution due à la production agricole: lavage à l'eau des particules de terre, épandage et stockage d'engrais, décharge de produits végétaux, eaux usées et eaux de drainage polluées par lessivage de sel du fait d'une surirrigation, etc.;
- la pollution due à l'élevage bovin, ovin et de volailles: déchets de petits et de gros bétails provenant des enclos, eaux usées des écuries, lixiviats des silos de fourrage, etc.; et
- la pollution due aux procédés agricoles: eaux usées de laiteries, lavage de machines agricoles, fuites de carburant et de produits pétroliers, produits agrochimiques stockés, etc.

La pollution des ressources en eau du fait de la production agricole dépend des conditions locales, de sorte que l'un ou l'autre des groupes de pollution peut prévaloir en un lieu donné. Dans les conditions de production agricole intense, la pollution minérale et synthétique due aux engrais et aux pesticides, est dominante. Cette pollution peut être très prononcée. Les précipitations et l'irrigation de surface lessivent le sol, surtout dans les conditions de production intensive et conduisent à l'infiltration des produits agrochimiques et à une contamination ultérieure des ressources en eau de surface et souterraines.

#### **5.6.3.2 Systèmes d'approvisionnement en eau**

Les volumes et les qualités de l'eau utilisés par les agglomérations influent considérablement sur le développement économique et social: conditions sanitaires améliorées du fait d'une alimentation augmentée en eau potable, meilleur niveau de vie grâce à la disponibilité de l'eau pour les besoins domestiques, etc.

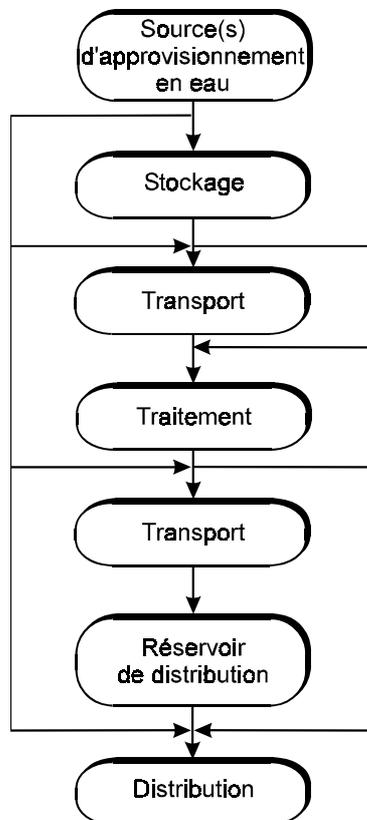
Un système moderne d'approvisionnement en eau comprend:

1. la source d'approvisionnement;
2. les installations de stockage (eau brute);
3. les ouvrages de transport (pour le traitement);
4. les installations de traitement;
5. le transport (à partir du traitement);
6. les installations de stockage ou réservoirs de distribution (eau potable); et
7. les ouvrages de distribution.

**Tableau 5.3: Eléments fonctionnels d'un système public d'approvisionnement en eau**

Élément fonctionnel	Principales préoccupations dans la conception des installations (primaire/secondaire)	Description
Source d'approvis.	Quantité/qualité	Sources d'approvisionnement en eau de surface (rivières, lacs et réservoirs ou source d'eau souterraine)
Stockage	Quantité/qualité	Installations utilisées pour le réservoir des eaux de surface (eau brute)
Transport	Quantité/qualité	Installations utilisées pour le transport de l'eau à partir du réservoir jusqu'aux installations de traitement
Traitement	Quantité/qualité	Installations utilisées pour l'amélioration ou le changement de la qualité de l'eau
Transport	Quantité/qualité	Installations utilisées pour le transport des eaux traitées jusqu'aux réservoirs de distribution
Stockage	Quantité/qualité	Installations utilisées pour le stockage journalier des eaux traitées
Distribution	Quantité/qualité	Installations utilisées pour la distribution des eaux aux utilisateurs individuels raccordés au réseau

Dans le développement de systèmes publics d'approvisionnement en eau, les quantités et qualités d'eau ont une grande importance. Les relations de ces deux facteurs avec chacun des éléments fonctionnels figurent dans le Tableau 5.3. La Figure 5.11 montre que chaque élément fonctionnel ne sera pas incorporé dans tout système d'approvisionnement en eau. Cela dépend des conditions locales, qui exigent une configuration adaptée du système d'approvisionnement en eau.



**Figure 5.11: Interactions des éléments fonctionnels d'un système urbain d'approvisionnement en eau**

Chaque système d'approvisionnement en eau peut être décrit au moyen des facteurs suivants:

- la population;
- l'utilisation de l'eau;
- l'approvisionnement en eau;
- le système de distribution;
- la répartition géographique des demandes, les demandes sectorielles;
- les données sur les fuites;
- la protection contre l'incendie;
- le système de gestion;
- le cahier des procédures;
- l'analyse de la qualité, etc.

### ***Les demandes en eau***

Dans les agglomérations, on utilise l'eau à différentes fins: domestiques, dans le secteur public et pour la protection contre l'incendie. L'utilisation de l'eau varie d'une agglomération à l'autre en fonction du climat, du niveau de vie, des préoccupations environnementales, de la population, de l'industrialisation, etc. Dans une région donnée, l'utilisation de l'eau varie selon les saisons, les jours, les heures - surtout en Méditerranée à cause du tourisme. Dans la planification d'un système d'approvisionnement, la demande en eau probable et ses fluctuations devront donc être estimées le plus précisément possible.

Les données les plus importantes pour l'évaluation des demandes en eau domestiques sont:

- la population urbaine (superficie, densité);
- la population rurale (superficie, densité);
- la demande en eau par habitant pour les régions urbaines et rurales;
- l'approvisionnement en eau domestique des régions rurales; et
- la capacité de l'approvisionnement en eau actuelle à répondre aux demandes quantitatives et qualitatives.

Dans un système d'approvisionnement, les demandes en qualité des ménages, des ateliers et des services publics sont différentes s'agissant:

- de la boisson et de la préparation des repas;
- des autres utilisations domestiques impliquant un contact avec le corps humain; et
- d'utilisation d'eau sans contact avec le corps humain.

Dans le réseau d'approvisionnement, la qualité de l'eau est uniforme quelque soit l'utilisation. C'est la méthode la plus simple de respecter toutes les exigences. Dans plusieurs pays méditerranéens, il est habituel de boire l'eau en bouteilles au lieu de celle du réseau d'approvisionnement. Chaque pays a ses propres normes qui réglementent la qualité de l'eau dans le système d'approvisionnement.

### ***Planification***

La conception d'un système complet d'approvisionnement en eau relève plus de l'exception que de la règle. Habituellement, le travail consiste à agrandir ou à améliorer l'infrastructure existante plutôt que de concevoir un projet entièrement nouveau. Lors de la planification d'un projet, l'ingénieur devrait bénéficier de conseils sur le statut juridique des sources d'eau possibles, avant d'en recommander toute utilisation. L'entité en charge de la gestion des eaux est légalement responsable de l'approvisionnement de ses clients en eau potable.

En général, les étapes à suivre dans la planification d'un système urbain d'approvisionnement en eau sont:

1. Obtenir des informations ou faire des estimations concernant la population future de la collectivité et étudier les conditions locales pour déterminer la qualité de l'eau à fournir.
2. Repérer une ou plusieurs sources d'eau adéquates quantitativement et qualitativement.
3. Prévoir le stockage d'eau et concevoir les travaux nécessaires pour mobiliser l'eau depuis la source jusqu'à la collectivité.

4. Déterminer les caractéristiques physiques, chimiques, bactériologiques et biologiques de l'eau et établir les normes qualitatives de l'eau.
5. Concevoir les installations de traitement des eaux pouvant s'avérer nécessaires pour satisfaire les normes de qualité.
6. Planifier et concevoir le système de distribution, comprenant les réservoirs de distribution, les stations de pompage et de relevage, la tracé et le dimensionnement des conduites, y compris l'implantation des bouches d'incendie.
7. Prévoir l'établissement d'une organisation responsable de l'entretien et du fonctionnement des installations d'approvisionnement, de distribution et de traitement des eaux.

### **5.6.3.3. Approvisionnement en eau industrielle**

L'industrie bénéficie d'un système d'approvisionnement aussi bien que de rejet. C'est un ensemble d'installations et d'équipements technologiques tels que les dispositifs de mesure et de contrôle, assurant le prélèvement et le traitement de l'eau, sa distribution et sa circulation, ainsi que le traitement des eaux usées et leur recyclage, l'élimination des boues et l'évacuation, sans danger, des eaux polluées dans des milieux récepteurs appropriés.

L'eau utilisée en industrie est nécessaire pour:

- les process (l'eau qui entre dans le produit ou qui est nécessaire au fonctionnement);
- l'industrie minière et le transport hydraulique;
- le refroidissement et la climatisation;
- l'eau chaude et le chauffage; et
- l'usage général.

L'utilisation de l'eau en industrie est hétérogène, et les systèmes d'approvisionnement et de rejet sont complexes. Elle comprend:

1. Les opérations en circuit ouvert: les prélèvements d'eau sont, après l'utilisation dans le processus, déversés dans le milieu récepteur aquatique.
2. Les opérations successives de réutilisation: dans ce cas, les eaux usées d'un process sont utilisées dans d'autres process. La réutilisation successive des eaux usées est caractérisée par un approvisionnement en eau dont la qualité est différente de celle demandée pour le processus de production concerné.
3. Les opérations de recyclage: l'utilisation répétée de la même eau dans un circuit fermé est qualifié de recyclage.

Les demandes en eau industrielle reposent sur les dimensions et le nombre des installations industrielles ainsi que sur les demandes spécifiques d'industries particulières. Les projections des demandes industrielles devraient être coordonnées avec les études économiques prospectives de l'expansion industrielle prévisible et devraient indiquer l'implantation de ces industries, le type d'utilisation, les volumes, qualité et emplacement des retours d'eaux, ainsi que le traitement et l'élimination des déchets.

L'utilisation de l'eau industrielle peut être estimée à partir des volumes d'eau fournis à l'installation, pouvant comprendre l'eau réutilisée, les pertes dues au transport, à l'évaporation, aux suintements et aux fuites.

En général, les eaux usées industrielles sont toxiques pour l'homme et l'environnement. En fait, la contamination due aux eaux usées peut être classée comme étant: chimique, bactériologique et thermique mais, en général, les eaux usées constituent un mélange.

En termes d'auto-purification, les eaux usées industrielles peuvent être biodégradables ou non dégradables. Leur toxicité dépend du processus d'autopurification dans les rivières et dans les stations de traitement biologique des eaux usées.

Pour réduire les impacts négatifs du développement futur, l'utilisation de l'eau en industrie devrait être rationalisée à travers des mesures économisant l'eau particulièrement:

- en réduisant le gaspillage des eaux;

- en limitant au maximum la durée de l'utilisation au cours du processus de fabrication;
- choisissant les processus de production propre: consommation d'eau et pollution minimales;
- en appliquant le recyclage interne et la réutilisation des eaux usées;
- en réduisant les exigences en qualité de l'eau au maximum technologiquement admissible et en utilisant les ressources disponibles de qualité inférieure; et
- en utilisant les eaux usées industrielles dans d'autres secteurs de l'économie nationale.

### ***Eau de chauffage, eau pour la production de vapeur et eau de refroidissement***

Une des plus importantes utilisations de l'eau industrielles concerne la production de la vapeur et le refroidissement. Les centrales thermiques sont les plus grands utilisateurs particuliers de cette eau.

L'eau de chauffage est utilisée comme vecteur de chaleur sans aucun contact avec le produit. L'eau de chauffage et la vapeur sont utilisées:

- pendant le process;
- pour le chauffage et la ventilation, pour la production de l'énergie électrique; et
- comme eau chaude de service.

L'eau chaude à des fins industrielles est rarement fournie par le système urbain d'approvisionnement. Les exigences de qualité de l'eau ont trait:

- à la diminution de la corrosion; et
- à la diminution du colmatage.

La qualité de l'eau dans la centrale de production de l'énergie électrique dépend de l'eau fournie au système et de celle fournie pour remplacer les pertes dues aux fuites et à l'évaporation.

L'eau de refroidissement, qui évacue l'excédent de chaleur pendant la production industrielle, constitue 60 à 80% des volumes d'eau nécessaires à l'industrie. Cette eau subit des changements de température et nécessite souvent un traitement thermique comprenant tous les processus de chauffage de l'eau: refroidissement, distillation, etc. Le refroidissement par contact de l'eau avec le produit semi-fini fait partie du process.

Les systèmes de refroidissement sans contact avec le produit sont semblables à d'autres systèmes d'eau industrielle comme:

1. le système à circuit ouvert;
2. le système de recyclage:
  - ouvert, lorsque la chaleur est évacuée par contact direct de l'eau et de l'air; et
  - fermé, lorsque la chaleur est évacuée sans aucun contact avec l'air.

Les demandes en eau dépendent en premier lieu du processus technologique et de sa température, c'est à dire des quantités de chaleur à éliminer et, secondairement, du type de système de refroidissement. Les systèmes fermés empêchent l'évaporation, réduisant ainsi la consommation et les demandes en eau. Les exigences en qualité de l'eau utilisée comme agent de refroidissement sans aucun contact avec le produit sont établies de manière à assurer un fonctionnement sûr et efficace du système. Elles peuvent être moins sévères pour les systèmes à circuit ouvert, mais doivent être très strictes pour les systèmes de recyclage pour empêcher en particulier leur corrosion et leur colmatage.

#### **5.6.3.4 Utilisations de l'eau au fil de l'eau et in situ**

Les utilisations au fil de l'eau telles que la production de l'énergie hydroélectrique, la navigation, la récréation, les sports nautiques et l'élimination des déchets sont liées à la fonction sociale de l'eau. Ces utilisations des ressources en eau sont caractérisées par des consommations peu importantes. Les seules consommations sont les pertes. Du fait de ces utilisations, les volumes d'eau sont importants mais les débits sont faibles.

Les utilisations in situ, telles que la conservation de l'humidité du sol, la gestion de l'épandage des crues, le maintien des marais et des zones humides, sont étroitement liées aux fonctions naturelles de l'eau.

### **Energie hydroélectrique**

L'énergie électrique est produite à partir de deux types d'installations: hydraulique et thermique. Les générateurs hydroélectriques fonctionnent avec des turbines hydrauliques, tandis que les centrales thermiques utilisent un combustible. Les problèmes concernant l'eau des centrales thermiques sont traités dans le cadre des systèmes d'eau industrielle et ne seront pas examinés dans ce chapitre.

La production de l'énergie hydroélectrique est l'un des principaux aspects de l'utilisation de l'eau. Cette forme d'énergie renouvelable peut être produite à coûts peu élevés dans le cadre de projets à buts multiples qui concernent aussi l'irrigation, la navigation, le contrôle des inondations et l'alimentation en eau.

La production d'énergie hydroélectrique a les avantages suivants:

- flexibilité d'action;
- possibilité d'utilisation à des fins multiples;
- haute fiabilité et longue durée de vie active;
- impacts environnementaux peu importants;
- coûts de fonctionnement faibles; et
- possibilité d'utilisation de matériaux et de main d'œuvre locaux.

L'énergie potentielle de l'eau peut être transformée en énergie de pression, en transformant la charge et le débit en énergie cinétique en forçant l'écoulement à travers des machines hydrauliques. Pour tirer le maximum de puissance et d'énergie au moindre coût, les critères de conception sont centrés sur le choix du site, du débit et de la charge, la disposition, les dimensions et le nombre d'unités, etc. Cette approche représente une optimisation du rapport coût/bénéfice de la centrale sur la base d'un fonctionnement réel dans le contexte topographique et hydrologique et dans celui des demandes sur le marché de l'énergie. Les indicateurs influant sur le choix du débit et de la charge optimums à prévoir par le projet sont:

- le prix unitaire de l'énergie qui devrait être concurrentiel par rapport aux autres options;
- la capacité installée qui devrait être optimale pour pouvoir l'intégrer dans le réseau du marché de l'énergie; et
- l'énergie fournie qui doit être optimale pendant la période ou la saison de demandes maximales.

Une évaluation fiable du potentiel hydroélectrique des bassins fluviaux devrait être faite préalablement à la préparation de plans hydrauliques multi-objectifs détaillés. La faisabilité technique, économique et environnementale du développement devrait être effectuée aussi au niveau des travaux de reconnaissance, en s'appuyant sur les investigations de terrain. Le potentiel hydroélectrique devrait être évalué en termes de production annuelle totale d'énergie et de puissance maximale devant répondre aux demandes de pointe.

Les centrales hydroélectriques pourraient être classées en différentes catégories: centrale sur cours d'eau, à stockage ou à pompage /stockage, centrales à énergie de marée et centrale utilisant l'énergie des vagues. Une centrale à stockage est équipée d'un réservoir de dimensions suffisantes pour permettre un stockage transférable de la saison humide à la saison sèche, assurant ainsi un écoulement constant beaucoup plus important que le débit naturel minimal. Une centrale sur cours d'eau a un stockage limité et peut donc utiliser l'écoulement comme il vient ou équilibrer quotidiennement afin de couvrir les demandes de pointe journalières. Une centrale pompage/stockage produit l'énergie pour les demandes maximales mais, durant les heures creuses, l'eau est pompée à partir du réservoir arrière jusqu'au réservoir supérieur, pour les besoins futurs.

Un projet hydroélectrique englobe habituellement un ouvrage de dérivation, une conduite pour le transport des eaux jusqu'aux turbines, des turbines et un dispositif de manœuvre, des alternateurs, des ouvertures de contrôle et de raccordement, des locaux pour le matériel, des transformateurs,

des lignes de transmission aux centres de distribution. Le type de centrale le plus adapté à un site donné dépend de plusieurs facteurs tels la charge, le débit disponible et la topographie des lieux.

Les étapes essentielles dans la conception des centrales hydroélectriques sont:

1. Rassembler les données hydrologiques sur les cours d'eau et déterminer les quantités d'eau disponibles et leur distribution annuelle et interannuelle. Compléter les données par simulation et/ou par des méthodes stochastiques, si nécessaire.
2. Faire des études préliminaires pour toutes les installations qui semblent compétitives en termes de coûts et déterminer pour chaque site, le projet le plus rentable en confrontant les coûts et les revenus escomptés.
3. Déterminer les besoins à satisfaire.
4. Choisir les projets réalisables les plus proches des utilisateurs.
5. Comparer les meilleurs projets de plusieurs sites et choisir le site ou la combinaison de sites répondant le mieux à la demande d'énergie, y compris celle du futur.
6. Comparer les coûts (évaluables et autres) de la centrale hydroélectrique à ceux d'une centrale thermique équivalente.
7. Si l'énergie hydroélectrique est compétitive procéder à la réalisation du plan détaillé de la centrale hydroélectrique.

### ***Navigation fluviale***

Dans l'histoire universelle, les voies navigables ont toujours été d'importantes avenues commerciales. Les rivières dans leur état naturel n'étaient pas cependant des voies de passage idéales; l'on a dû, par conséquent, les aménager de manière appropriée. Les cours d'eau navigables ou canalisés, y compris les retenues et les canaux, constituent une infrastructure pour le transports des biens et des personnes. L'importance actuelle du transport fluvial est en premier lieu le résultat d'une technologie économisatrice d'énergie et de main d'œuvre, au regard surtout du transport par cargaison de différents types: liquide, en vrac, pondéreux, etc.

Il n'y a pas de critères absolus de navigabilité et, en fin de compte, de contrôle des critères économiques. Les facteurs physiques influant sur le coût du transport par voie d'eau sont la profondeur du chenal, sa largeur et son tracé, le temps de fermeture, la vitesse du courant et les installations au terminus.

Le réseau de voies navigables continentales comprend:

- Les chenaux fluviaux (naturels, améliorés, canalisés); et
- Les canaux (voies d'eau artificielles).

Les paramètres essentiels de ces voies de navigation, c'est à dire ceux qui déterminent la capacité de charge, comprennent la largeur et la profondeur du chenal, les dimensions minimales de la section correspondante et la vitesse du courant. Les autres dimensions déterminent la facilité de navigation, les méthodes de fonctionnement, la vitesse et la sûreté du transport.

Le temps est une caractéristique importante. La période de fonctionnement, est restreinte à 220-340 jours par an. En général, cela est dû:

- à l'occurrence des inondations;
- à l'étiage de l'écoulement;
- aux facteurs météorologiques (glace, vent, brouillard, etc.);
- à l'entretien; et
- aux équipements technologiques mal appropriés et aux installations obsolètes.

Les demandes en eau pour la navigation continentale sont définies par les dimensions de la plus large écluse, c'est à dire, si les dimensions horizontales sont les mêmes, par le volume de l'écluse pour une charge maximum, y compris les pertes d'eau y relatives. Les demandes en eau pour ouvrir et fermer l'écluse limitent les autres utilisations au fil de l'eau, c'est à dire la production d'énergie hydroélectrique, et elles ne devraient être prises en considération que lorsque l'alimentation naturelle par le débit du cours d'eau n'est pas suffisante.

Les pertes d'eau relatives à la navigation sont dues:

- aux fuites à partir des vannes et des valves;
- aux suintements à partir du fond et des berges du canal; et
- à l'évaporation à partir de la surface d'eau libre et à l'évapotranspiration à partir des berges saturées par l'eau qui les imbibe.

Le transport continental ne nécessite pas une grande qualité d'eau. La pollution des eaux est due aux combustibles liquides utilisés dans des embarcations, aux eaux de lavage et de ballast, au déversement durant le transport, le chargement et le déchargement.

Une attention appropriée devrait être donnée à la mise en place de dispositifs de navigation dans chaque projet hydraulique à objectifs multiples.

### **Élimination des déchets**

Le milieu aquatique est utilisé pour rejeter les déchets. Les cours d'eau, en particulier permettent le transport et l'enlèvement de ces déchets. Les eaux usées et les déchets qui rejoignent les masses d'eau de surface et souterraines, participent au processus naturel qui détermine la qualité de l'eau du fait de la lumière et de l'énergie cinétique, chimique, et thermique de l'eau dans l'environnement.

L'érosion, la sédimentation et l'élimination des déchets provoquent une augmentation du charriage de fond, du matériel en suspension et des substances dissoutes le long du cours d'eau. Mais d'autres processus physiques, chimiques, biochimiques et bactériologiques complexes changeront ultérieurement la qualité de l'eau. Les processus d'auto-purification accompagnent ceux de la pollution des eaux durant le processus d'érosion, et de transport de sédiments, conduisant à la destruction et à l'émiettement des produits d'érosion, des déchets et des sédiments.

Le manque d'énergie cinétique provoque la sédimentation, le plus important des processus physiques d'auto-purification. Sédimentation, coagulation et émiettement se traduisent par une diminution de la teneur en matières chimiques dans l'eau et par une augmentation du volume de sédiments. Un autre processus essentiel d'auto-purification est dû au contact de l'eau avec l'oxygène de l'air. L'oxygène entre directement dans l'eau avec l'air et par des processus biologiques ayant trait aux plantes et au phytoplancton. Les processus chimiques d'autopurification (décomposition, coagulation, neutralisation et absorption) consomment l'oxygène et se traduisent par un niveau d'oxydation fonction de la température. Durant ces processus physiques et chimiques, les organismes aquatiques ingurgitent les matières en suspension. Cette intégration dans la chaîne alimentaire transforme la matière organique vivante en matière inorganique et *vice-versa*, avec pour conséquence une diminution de la teneur en oxygène. Si la teneur tombe au-dessous du seuil critique, les organismes meurent.

La pollution de l'eau, qui se manifeste en un lieu donné, change avec le temps en fonction du régime des effluents, des débits concernés, des facteurs morphologiques du chenal fluvial, des facteurs climatologiques et des processus d'auto-purification. La pollution de l'eau peut aussi se définir comme un ensemble de processus dont les résultats limitent ou empêchent l'usage bénéfique de l'eau.

La pollution naturelle de l'eau de surface est généralement faible. La pollution de l'eau, due aux activités industrielles, agricoles et autres de l'homme et aux effluents urbains, est différente de la pollution naturelle. Elle change considérablement les propriétés chimiques et biologiques de l'eau, ainsi que le type de processus chimiques, biologiques et autres.

La qualité de l'eau, qui est due à la mobilité des sédiments et à la dilution des eaux usées, dépend des débits et est directement liée avec:

- le taux d'érodabilité du sol, fonction des précipitations;
- le taux de solubilité du sol, fonction de l'intensité du ruissellement de surface;
- les facteurs géologiques, et pédologiques;
- les facteurs hydrométéorologiques;
- les activités anthropiques, c'est à dire le régime de la pollution;
- la pollution accidentelle; et

- la pollution systématique
  - a) pollution ponctuelle, c'est à dire la pollution par les collectivités, villes, établissements industriels et agricoles, etc.
  - b) pollution diffuse, c'est à dire provenant du sol décapé, des engrais, des pesticides, des décharges, etc.

Dans la planification d'un projet de développement des ressources en eau, le contrôle de la pollution doit être examiné sous plusieurs aspects:

- L'évaluation des caractéristiques de la qualité des ressources en eau, devrait se baser sur les indicateurs de substances dans les effluents urbains: pesticides, engrais, sédiments de bassin versant, etc.
- Les mesures de conservation des eaux (recyclage et réutilisation des eaux usées traitées), prises par les différents secteurs économiques, devraient être examinées à la lumière de la capacité des installations de traitement, par rapport à l'importance des effluents.
- Une évaluation comparative rapide de l'état de conservation des eaux et de contrôle de la qualité dans les bassins versants, devrait être faite.
- Les contraintes des activités de conservation des eaux devraient être examinées et les mesures d'amélioration de la qualité de l'eau suggérées.
- Comme résultat de l'évaluation prospective des demandes en eau sectorielles, les limites tolérables de contamination du milieu aquatique par les effluents devraient être définies par la région concernée.
- Afin d'établir les limites de contamination tolérables pour les secteurs économiques, le contenu et l'ampleur des mesures de conservation relatives à l'eau et aux ressources naturelles concernées devraient être explicités ainsi que les coûts d'investissement et leur efficacité économique.

### ***Eau pour la récréation***

La récréation comprend toutes les activités dont le but social est la récupération ou le rétablissement des forces physique et psychique. Les activités récréatives liées à l'eau comprennent: les bains de mer, la natation, la pêche, le canotage, le yachting, le patinage, le camping, etc.

Ces activités pourraient être classées comme:

- *quotidiennes* (retenues et cours d'eau accessibles, piscines à proximité des aires d'habitation, jusqu'à 20 km);
- *de week end* (retenues et cours d'eau, piscines éloignées des aires d'habitation de plus de 20 km et moins de 200 km); et
- *saisonniers* (terrains de récréation dont la distance par rapport aux aires d'habitation dépasse les 200 km).

La qualité de l'eau de récréation dépend de facteurs liés à la gestion des eaux ainsi que de facteurs climatologiques, locaux, topographiques et esthétiques. Les plus importants qui influent sur les activités récréatives sont:

- la pollution de l'eau;
- la température de l'eau;
- la profondeur de l'eau;
- l'étendue du plan d'eau;
- la vitesse du courant;
- la fluctuation du plan d'eau;
- la richesse en poissons; et
- l'incompatibilité avec les autres objectifs de la gestion des eaux.

La qualité de l'eau, y compris sa température, est le facteur le plus important qui influence la qualité de la récréation et le type d'activités récréatives.

### **Poissons et avifaune sauvage**

Le milieu aquatique, ainsi que la mer côtière et les estuaires sont des habitats naturels de vie aquatique. Ces régions sont à titre provisoire et permanent, très importantes au point de vue environnemental pour les poissons et les animaux sauvages. Un grand nombre d'espèces de poissons sont migratrices. Pour permettre à un poisson migrateur de passer à travers un ouvrage installé par l'homme sur le cours d'eau, des passages pour poissons et autres dispositifs devraient être simultanément aménagés. Une retenue d'eau à objectifs multiples pourrait souvent constituer une infrastructure idéale pour la pisciculture et la vie sauvage.

Dans la planification de projets de développement des ressources en eau, une attention particulière devrait être donnée au développement de la pisciculture et autres formes de vie aquatique; un suivi approprié devrait par ailleurs être instauré. Les résultats du suivi seront utiles pour orienter des plans futurs et pour corriger des défauts existants, vu que les installations faites par l'homme et les utilisations de l'eau ont un impact sur les poissons et l'avifaune sauvage.

Au cas où le suivi montre que les projets programmés de développement de ressources en eau pourraient avoir des effets négatifs, les mesures suivantes de prévention ou de redressement seraient prises pour compenser, entre autres, les changements radicaux de la qualité de l'eau et du régime des écoulements qui influent sur la pêche et l'aquaculture:

- Régulariser l'irrigation et le débit des crues qui favorisent la pisciculture et l'alimentation en eau des écloséries et nurseries;
- Minimiser les modifications (i) du mode de sédimentation et de la turbidité, (ii) de la teneur en nutriments dans l'eau et dans la mer côtière, y compris l'oxygène et le dioxyde de carbone, (iii) de la température, du lit des rivières par recalibrage ou dragage, ainsi que ceux du littoral;
- Réduire au minimum les effets négatifs des barrages qui agissent comme barrières physiques vis à vis des migrations de poissons, en assurant un débit d'eau qui permette le mouvement de poissons, des voies de passage, des systèmes d'écluses, des grilles, etc., en fonction des nécessités spécifiques de la pisciculture et des considérations financières.
- Réduire au minimum les modifications des caractéristiques naturelles des ressources en eau côtières du fait des ouvrages construits par l'homme.

Un grand nombre de mesures spécifiques de redressement existent qui dépendent des aspects particuliers du développement des ressources en eau côtières.

Les plans et les projets de développement devraient comprendre l'évaluation du potentiel hydraulique continental et côtier intéressant le développement de la pêche. Le régime hydrogéochimique de la mer côtière, des rivières, des lacs et des retenues d'eau ainsi que leur potentiel halieutique, devraient être évalués à cet égard.

Les facteurs influant sur les réserves piscicoles et le potentiel halieutique devraient être présentés avec l'évaluation de la pêche en fonction du débit de l'eau, de son niveau, de sa qualité et de sa salinité. Les lâchures d'eau optimales pour l'élevage de poissons devraient être identifiées pour répondre aux besoins des alevins et de la croissance des juvéniles dans le delta des rivières.

#### **5.6.4 Drainage**

Le drainage est un terme qui s'applique aux systèmes traitant de l'excès d'eau. Trois tâches sont primordiales: le drainage des eaux d'orage en milieu urbain, le drainage des terres agricoles et celui des auto-routes. Le drainage se distingue avant tout du contrôle des inondations par les techniques utilisées pour faire face à l'excès d'eau et par le fait que le drainage prend en charge l'eau avant son arrivée dans le réseau hydrographique.

Le but du drainage des eaux d'orage en milieu urbain est de les emmener jusqu'au milieu récepteur. La plupart des villes ont une certaine infrastructure de drainage des eaux d'orage. C'est une infrastructure urbaine coûteuse. Dans les villes, les eaux d'orage sont collectées dans les rues et transportées à travers des avaloirs jusqu'aux conduites enterrées qui les amènent là où elles peuvent rejoindre le milieu aquatique. Les ruissellements d'orage urbains sont une importante source de pollution qui complique cette solution. A cause de cela, il y a lieu de n'utiliser qu'un seul exutoire, ce qui nécessiterait de collecter les eaux d'orage et de construire de grands et coûteux ouvrages. L'écoulement par gravité est préférable mais par toujours faisable, et les installations de

pompage pourraient constituer d'importants éléments des systèmes urbains de drainage. Les stations de pompage des eaux d'orage sont très spécifiques et non souhaitables car conçues de grande capacité pour la saison des pluies, elles fonctionnent très peu, surtout dans la région méditerranéenne où cette saison est très courte. La composante la plus importante d'un projet efficace de drainage des eaux d'orage sont des données fiables sur les précipitations. La gestion des eaux d'orage comprend: l'enregistrement des précipitations, l'occupation du sol, le système de drainage, la qualité des eaux d'orage, leur utilisation ainsi que la réglementation.

Le drainage des terres évacue l'excès d'eau de surface d'une région ou abaisse les nappes d'eaux souterraines au-dessous de la zone racinaire pour améliorer la croissance des plantes ou réduire l'accumulation du sel dans le sol. On utilise beaucoup les fossés à ciel ouvert pour le drainage des eaux superficielles, en faisant des économies considérables par rapport aux coûts du drainage par conduites enterrées. Une autre option consiste à utiliser des drains enterrés. Les drains se déversent habituellement dans les fossés, bien que la tendance moderne est d'utiliser de grandes conduites à la place des fossés là où cela est possible. De cette manière, des terres supplémentaires sont dégagées pour les cultures et l'on supprime les fossés ouverts disgracieux et quelque fois dangereux. Il est parfois nécessaire d'installer une pompe pour le rejet final des eaux dans le milieu aquatique (rivières). Le drainage des terres accélère le ruissellement des eaux, augmentant ainsi le débit de pointe en aval de la région drainée. Les conséquences de cette augmentation devraient être prises en considération lors de la planification des systèmes de drainage. Le drainage des terres ne nécessite pas beaucoup de calculs hydrologiques comme d'autres types de drainage. son objectif est d'évacuer une quantité d'eau en un temps raisonnable. Le drainage de l'excès d'eau de pluie est typiquement conçu pour évacuer une quantité d'eau donnée en 24 heures.

Les autoroutes occupent de longues bandes de terre étroites et posent deux types de problèmes de drainage. La collecte des eaux sur les routes et/ou sur les pentes avoisinantes doit être effectuée sans inondation ou dommages pour les routes et la zone avoisinante. Cette eau est polluée et doit rejoindre le milieu aquatique dans le respect des normes. Des problèmes particuliers se posent lorsque l'autoroute traverse des aires d'alimentation en eau protégées et lorsque les eaux collectées ne peuvent être rejetées directement dans le milieu récepteur. Les autoroutes traversent de nombreux chenaux de drainage naturels. Les eaux acheminées par ces chenaux doivent traverser l'ouvrage sans provoquer d'obstruction du chenal en amont ni de dommages en aval du passage.

### **5.6.5 Rejet et traitement des eaux usées.**

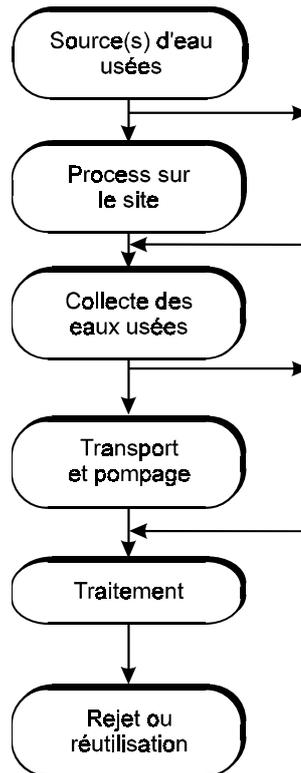
Les eaux usées de la collectivité doivent être collectées et rejetées afin de maintenir les conditions de vie salubres et attrayantes.

Les éléments d'un système moderne de gestion des eaux usées comprennent:

1. Les sources individuelles d'eaux usées;
2. Les installations de process sur le site;
3. Les réseaux de collecte;
4. Le réseau de transport;
5. Les installations de traitement; et
6. L'infrastructure de rejet.

Ces éléments ont leurs propres interrelations (Figure 5.12) et caractéristiques spécifiques dans le système de gestion des eaux usées (Tableau 5.4).

Les volumes et la qualité sont les deux facteurs importants à examiner lors de la mise en œuvre d'un système de gestion des eaux usées. Chaque système d'eaux usées peut être décrit par les facteurs suivants: le système de collecte, le débit, les installations de traitement ainsi que l'analyse de la qualité, le rejet, la gestion du système, la réutilisation, la réglementation et autres.



**Figure 5.12: Interrelations des éléments fonctionnels d'un système**

Les eaux usées d'une collectivité comprennent:

- les eaux usées domestiques rejetées à partir des habitations et des établissements commerciaux et autres institutions publiques;
- les eaux usées industrielles avec prédominance de déchets industriels;
- les eaux diverses d'infiltration d'origine externe entrant dans un réseau d'égouts de différentes façons; et
- les eaux d'orage.

Les eaux usées sont acheminées à travers des conduites souterraines: les égouts. Le système peut être unitaire: les eaux usées domestiques et industrielles, ainsi que les eaux d'orage sont toutes évacuées à travers la même conduite. D'autres sont séparatifs: un système pour les eaux usées domestiques, et un autre pour les eaux d'orage.

Les systèmes séparatifs sont plus coûteux que les systèmes unitaires, mais les coûts supplémentaires sont toujours justifiables par un meilleur contrôle de la pollution. Dans les systèmes unitaires, des volumes importants d'eaux usées vont dans le milieu aquatique durant les averses par les déversoirs d'orage. Autrefois, de nombreux systèmes unitaires étaient utilisés. Actuellement, la plupart des nouveaux systèmes sont séparatifs. Ils sont particulièrement adaptés aux régions semi-arides comme à la région méditerranéenne.

Les eaux usées doivent être épurées avant leur rejet dans le milieu aquatique. Le type de technologie utilisée et le niveau de traitement dépendent de plusieurs facteurs, les deux plus importants sont: la qualité des eaux usées et la qualité requise de l'effluent issu de la station d'épuration. C'est une question hautement spécialisée qui ne sera pas abordée dans ce chapitre.

La planification de systèmes de gestion des eaux usées urbaines est une entreprise complexe, impliquant de nombreux problèmes techniques, politiques et sociaux. Elle se complique encore plus du fait de différentes exigences internationales, nationales, locales, et de celles nouvellement établies pour le contrôle de la qualité des eaux nationales, et de la rapidité des changements qui les affectent. Il n'y a donc pas de règlements simples qui conduisent aisément à la mise en œuvre finale du projet.

**Tableau 5.4: Les éléments fonctionnels d'un système d'eaux usées urbaines**

Élément fonctionnel	Principales préoccupations dans la conception des installations primaire/secondaire	Description
Source	Quantité/qualité	Sources d'eaux usées d'une collectivité (résidences, établissement commercial, industries)
Process sur le site	Quantité/qualité	Installations de pré-traitement ou nivelage d'arrivées des eaux usées avant leur rejet dans un système de collecte
Collecte	Quantité/qualité	Installations de collecte des eaux usées à partir des sources individuelles d'une collectivité
Transport	Quantité/qualité	Installations pour pomper et transporter les eaux usées jusqu'aux sites de process et de traitement
Traitement	Quantité/qualité	Installations de traitement des eaux usées
Rejet	Quantité/qualité	Installations de rejet des effluents épurés et des déchets solides comme résultat du traitement

### 5.6.6 Prévention des inondations

D'une manière générale, les inondations sont provoquées par des précipitations exéssives, la fonte des neiges, un drainage inadéquat ou par leur combinaison.

Beaucoup de régions subissent périodiquement les dommages des inondations. Dans certains cas, les inondations périodiques interrompent sérieusement le dynamisme de la croissance économique et sociale d'un pays. L'ampleur et la fréquence des inondations, ainsi que la sévérité des dégâts déterminent habituellement l'échelle de la gestion des inondations et des travaux de protection.

Les mesures d'atténuation des dégâts provoqués par les inondations sont à distinguer du drainage car elles embrassent un ensemble de méthodes de lutte contre les effets des excédents d'eau dans les cours d'eau. L'homme ne peut pas faire beaucoup contre une inondation d'envergure, mais il pourrait être capable de réduire les dégâts aux cultures et aux biens dans la plaine inondable d'une rivière. De nombreuses mesures, structurelles ou non, peuvent être adoptées pour réduire ou contrôler les inondations. Les mesures généralement acceptées pour réduire les dommages provoqués par les inondations sont:

- l'endiguement de l'écoulement dans un chenal donné au moyen de levées, ou de conduites fermées;
- la réduction du débit de pointe au moyen de retenues;
- la réduction de la durée du débit de pointe en augmentant la capacité de transit du chenal;
- la dérivation des eaux de crues vers d'autres chenaux ou même vers un autre bassin versant;
- le zonage de la terre en fonction de leur inondabilité;
- la réduction des écoulements des crues par l'aménagement du sol;
- l'évacuation provisoire des aires menacées, lorsque des crues sont annoncées; et
- l'aménagement des plaines inondables.

Les projets d'atténuation des crues utilisent souvent une combinaison de ces mesures.

Les deux aspects les plus importants à considérer lors d'une inondation sont le volume et le débit de pointe. Le volume devient important lorsqu'une partie ou la totalité des eaux de crues est provisoirement stockée dans les retenues pour atténuer les effets, la capacité de stockage nécessaire étant à la mesure du volume des eaux d'inondation. Le débit de pointe est important pour déterminer la capacité du chenal d'écoulement et les niveaux maximum des crues. Le débit de pointe déterminera donc la hauteur des fossés de protection à prévoir.

Les inondations dans les plaines côtières sont généralement provoquées par un certain nombre de facteurs: vagues de déferlement et effets de marée. Le déferlement de tempête survient au moment où le niveau de mer s'élève sous l'effet du vent. Cela dépend de la vitesse, de la direction et de la durée du vent, ainsi que de la profondeur de l'eau. L'effet du vent est beaucoup plus sérieux s'il coïncide avec la marée haute. Pour la planification des mesures d'atténuation des inondations, les courbes de fréquence des niveaux de marée haute, de même que les données sur les hauteurs et longueurs des vagues, sont nécessaires. En l'absence de telles données, les caractéristiques des vagues peuvent être calculées à partir de la vitesse et la direction du vent, du fetch et de la profondeur de l'eau. La hauteur et l'orientation des ouvrages de protection seront alors déterminées en fonction des niveaux des eaux déferlantes et de la hauteur des vagues.

En général, les mesures à prendre durant la planification d'un projet d'atténuation des crues sont:

- concevoir le projet de protection contre les inondations, ainsi que les caractéristiques des crues de la région concernée;
- définir les régions à protéger et déterminer, après visite du terrain, les dégâts prévisibles des crues;
- déterminer les méthodes possibles de protection contre les crues. Si la faisabilité de retenues et de chenaux existe, choisir les sites possibles et déterminer leur caractéristiques physiques;
- concevoir les installations nécessaires à chaque méthode d'atténuation de manière détaillée permettant l'estimation des coûts, l'analyse de leur effet sur la fréquence d'inondations ou les relations hauteurs d'inondation/dommages;
- choisir l'installation ou la combinaison d'installations offrant le bénéfice net maximal;
- évaluer les impacts sociaux et environnementaux intangibles du projet et examiner les alternatives maximisant les bénéfices et minimisant les coûts dans ces régions;
- préparer un rapport détaillé exposant les possibilités explorées, la protection recommandée et le degré de protection à assurer.

Les mêmes mesures sont valables pour les crues côtières, en tenant compte de leurs caractéristiques spécifiques et des mesures d'atténuation possibles dans la zone littorale.

### **5.6.7 Questions environnementales concernant l'eau et aspects sanitaires**

Dans la planification des projets hydrauliques, une attention particulière est à accorder aux exigences relatives à l'environnement et à la santé, ainsi qu'à la prévention des catastrophes. La gestion de la qualité de l'eau, les questions environnementales et les aspects sanitaires devraient être englobés comme partie intégrante de la planification des ressources en eau.

Le but final de projets hydrauliques est le développement socio-économique durable de la nation. Il est donc nécessaire de prendre des précautions pour que les impacts positifs escomptés des projets planifiés l'emportent sur les impacts négatifs sur l'environnement aquatique, ainsi que sur les autres projets de développement à long terme.

Ce thème doit comprendre:

#### **a) Les qualités et quantités des eaux superficielles**

Vu que les projets hydrauliques modifient considérablement le régime hydrologique d'un système fluvial, une étude hydrographique comparative, avant et après la réalisation du projet, est à faire. Y seront inclus les changements de régime des eaux en amont et en aval des sites de projet.

Les qualités des eaux avant et après la réalisation des projets seront comparées dans les conditions moyennes et saisonnières. Les nouvelles conditions écologiques et la productivité de poissons dans les retenues, à l'aval de la vallée fluviale et dans les zones d'estuaires en mer, devraient être analysées.

**b) Les qualités et quantités des eaux souterraines**

Les effets prévisibles de chaque projet hydraulique sur la quantité et la qualité des eaux souterraines sont à étudier: altérations possibles du niveau hydrostatique des nappes, intrusion des eaux saumâtres, colmatage, fuites à partir des réservoirs et des chenaux, etc.

**c) Inondations**

En dehors du fait qu'elles provoquent des dégâts visibles dans les zones urbaines, agricoles et industrielles, les inondations pourraient également entraîner des dégâts de grande étendue et de longue durée en ce qui concerne l'environnement et l'assainissement des régions et des terres inondées, du fait de salinisation et de pollution possibles.

**d) Contrôle de la pollution**

Par rapport aux caractéristiques qualitatives prévalant dans le milieu aquatique, les indicateurs de la pollution apportée par les effluents d'eaux usées urbaines, les herbicides et pesticides, et les sédiments des bassins versants, devraient être présentés. Les avantages et les inconvénients des activités possibles de conservation des eaux devraient être analysés, et des mesures susceptibles d'améliorer la qualité des ressources en eau, devraient être suggérées.

**e) Envaselement et érosion**

L'évaluation de la sédimentation dans les réservoirs et les retenues du fait de l'érosion du bassin versant, serait à entreprendre. Des recommandations seraient formulées pour la réduire au maximum. Les problèmes d'érosion en aval du fait de l'affouillement par les eaux s'écoulant des barrages, sont également à étudier.

**f) Forêts et gestion des bassins versants**

Les impacts possibles des projets sur les forêts devraient être étudiés, et des mesures pour réduire au maximum les effets négatifs devraient être proposées.

**g) Pêche**

Une étude évaluant les pertes prévues ayant trait à la pêche en rivière devrait être élaborée. Un débat devrait se tenir sur la nouvelle situation créée dans les retenues, dans les rivières et dans la zone estuarienne et marine en aval, afin d'apprécier les changements et de présenter les plans permettant de compenser les pertes présumées.

**h) Flore et faune**

Vu que la construction des ouvrages hydrotechniques, et des réservoirs en particulier, se traduit presque toujours par une activité humaine accrue dans le bassin versant et par un accroissement des pertes en forêts et en habitats d'avifaune sauvage, l'intégration de mesures de conservation de la flore et de la faune devrait être prise en considération.

**i) Aspects sanitaires**

La construction de réservoirs importants et les projets d'irrigation entraînent presque toujours une occurrence accrue des maladies hydriques. Une étude serait donc à élaborer en la matière.

**j) Milieu aquatique et régions côtières**

Une analyse de l'état actuel des eaux de mer et des lacs côtiers ayant trait aux variations des niveaux et de la salinité, à l'ampleur de la pollution et aux exigences de l'environnement, devrait être faite.



## BIBLIOGRAPHIE

- Abel, P.D.: *Water Pollution Biology*. P.D. Abel / Ellis Harwood Ltd. UK, 1989.
- Acher, W., Healy, R.: *Natural Resources Policymaking in Developing Countries: Environmental, Economic Growth, and Income Distribution*. Duke University Press. Durham and London, 1990.
- *Agenda "Med 21", Sustainable Development in the Mediterranean*. Tunis, 1994.
- Bachmat, Y.: *A pragmatic approach to the annual operation of a coastal aquifer*. Hydrological Service, Israel. 1986
- Bear, J.: *Hydraulics of Groundwater*. McGraw-Hill. New York, 1979.
- Blue Plan: *Futures of the Mediterranean Basin: Environment Development 2000 – 2025*. Sophia Antipolis, 1988.
- Blue Plan: *Water in the Mediterranean Region: Situations, Perspectives and Strategies for Sustainable Water Resources Management*. Euro-Mediterranean Conference on Local Water Management. Marseilles, 25-26 November, 1996.
- Bogardi, J.: *The concept of Integrated Water Resources Management as a decision making problem*. UNESCO, Multicriteria Decision Analysis in Water Resources Management. Paris, 1994.
- Brahtz, J.F.P. (ed.): *Coastal Zone Management – Multiple Use with Conservation*. John Wiley & Sons. New York, 1972.
- Brundland Commission: *Our Common Future*. World Commission on Environment. 1987.
- Currie, J.C., A.T. Pepper: *Water and the Environment*. 1993.
- Danish Hydraulic Institute: *MIKE SHE – An Integrated Hydrological Modelling System*. Denmark, 1994.
- De Wiest, R.J.M.: *Geohydrology*. ed. John Wiley and Sons. New York, 1965.
- Dixon, J.A., L.A. Fallon: *The Concept of Sustainability: Origins, Extensions and Usefulness for Policy*. Society and Natural Resources 2(2). p73-84. 1989.
- Dyck, S.: *Integrated Planning and Management of Water Resources*. UNESCO. Paris, 1990.
- Ellis, D.: *Environmental at Risk Case Histories and Impact Assessment*. Springer Verlag. Berlin/Heidelberg, 1989.
- Engelman, R., P. LeRoy: *Sustaining Water: Population and the future of renewable water supplies: Population and Environmental Programme*. Population Action International. Washington, 1993.
- Europe Information Service: *Draft Directive on Environmental Impact Assessment of National Land Development Plans*. Supplement to Europe Environment No 491. 1997.
- European Community: *Council Directive 85/337/EEC*. Official Journal of the European Community. 1985.
- European Council: *Fresh Water Pollution Control in Europe*. European Council, 1966.
- European Union: *Directive 80/788/EEC, Drinking Water Directive*. 1980.
- FAO, Ministry of Public Works and Water Resources, Egypt: *Expert consultation on Seawater intrusion into coastal aquifers of the Mediterranean Basin and the Near East*. Cairo, 10-13 October, 1993.
- Fortlage, C.A.: *Environmental Assessment – a Practical Guide*. 1990.
- Goodman, A.S.: *Principles of Water Resources Planning*. Prentice Hall Inc. New Jersey, 1984.
- Godwin, B. et al.: *Guidelines for Water Resource Assessments of River Basins*. UNESCO Technical Documents in Hydrology. 1990.
- Grenon, M., M. Batisse: *Futures of the Mediterranean Basin: The Blue Plan*. Oxford University Press. Oxford, 1989.
- Grig, N.S.: *Water Resources Planning*. McGraw-Hill. New York, 1985.
- Grig, N.S., E.C. Vlachos: *Drought Water Management*. Colorado State University, 1989.
- Haimes, Y.Y.: *Hierarchical Analysis of Water Resources System*. McGraw-Hill. New York, 1977.

- Haimes, Y.Y.: *Sustainable Development: Holistic Approach to Natural Resources Management*. Water International, Vol. 17 No. 4, 187-192. 1992.
- Helay, G. Institute of Water Technology: *Malta Water Supply System*. Internal Report. Malta, 1995.
- Helweg, O.J.: *Water Resources Planning and Management*. John Wiley, New York. New York, 1985.
- Herfindahl, O.C., A.V. Kneese: *Quality of the Environment – An Economic Approach to some Problems in Using Land, Water and Air*. 1986.
- Hester, R.E. (ed.): *Understanding of Environment*. Royal Society of Chemistry. London, 1986.
- Holdgate, M.W.: *A Perspective of Environmental Pollution*. Cambridge University Press. 1979.
- Hufschmidt, H.H., J. Kindler: *Approaches to Integrated Water Resource Management in Humid Tropical, Arid and Semi arid Zones in Developing Countries*. Technical Documents in Hydrology, IHP, UNESCO. Paris, 1991.
- Hufschmidt, H.H., K.G. Tejwani: *Integrated Water Resources Management – Meeting the Sustainability Challenge*. UNESCO. Paris, 1993.
- Iacovides, I.: *Groundwater Management and Legislative Measures in Cyprus*. FAO Workshop on Expert consultation on seawater intrusion into coastal aquifers in the Mediterranean Basin and the Near East. Cairo 10-13 October 1993.
- Jetic, L. et al.: *Climatic change and the Mediterranean*. Arnold. London, 1992.
- Jerman, M.K.: *Water Resources and Water Management*. Elsevier. Paris, 1987.
- Kashef, A.A.I.: *Management of retardation of salt water intrusion in coastal aquifers*. Office of Water Research and Technology. Washington, D.C. USA, 1975.
- Kruzeman, G.P.: *Sea water intrusion into coastal aquifers of the Mediterranean area and the Near East*. FAO, 1992.
- Linsley, R.K., J.B. Franzini: *Water Resources Engineering*. Mc-Graw Hill. New York, 1979.
- Malcolm, N.: *Land, Water and Development*. Routledge. London, 1992.
- Marchand, M., F. Toornstra: *Ecological Guidelines for River Basin Development*. Centrum voor milieukunden. Leiden, 1986.
- Margat, J.: *L'eau dans le bassin mediterraneen. Prospectives des besoins et des ressources*. Centre d'activites regionales du Plan Bleu pour la Mediterranee. Sophia Antipolis, 1989.
- Margat, J.: *Prospects for Water Resources and Needs in the Mediterranean Countries*. Seminar on Water Management Strategies in Mediterranean Countries- Horizon 2010. Algiers, May 28-30,1990.
- Margeta, J.: *Water Resources Development of Small Mediterranean Islands and Isolated Coastal Areas*. MAP Technical Reports Series, No. 12., 1987.
- Margeta, J.: *Specific Topics Related to Water Resources Development of Large Mediterranean Islands*. MAP Technical Report Series, No. 13., 1987.
- Margeta, J.: *Water Resources Management*. University of Split. Split, 1990.
- Margeta, J.: *Water Resources and Demand Management in the Mediterranean Region*. MAP-PAP Training Course on Selected Topics of Water Resources Management. Valetta 15-19 November, 1993.
- Margeta, J., I. Trumbic: *Land and Water Resources Management in the Mediterranean Region: UNEP-MAP/PAP Experience*. International Conference on Land and Water Management in the Mediterranean Region, Bari 4-8 September. Italy, 1994.
- McCaull, J., J. Crossland: *Water Pollution*. Harcourt Brace Jovanovich, Inc. USA, 1974.
- McDonald, A.T., D. Kay: *Water Resources Issues and Strategies*. Longman Scientific and Technical Longman Group Ltd. UK, 1988.
- *The Mediterranean Water Charter*. Rome, 1992.
- Mitchell, B.: *Integrated Water Management: International Experiences and Perspectives*. Chapter 2 by Muckleston, K.W., US Water Management. 1990.
- Mordock, W.W. (ed.): *Environment (2nd Edition)*. Sinauer Associates Inc. Publishers. 1975.

- Olsen, S.B.: *A Learning Approach to the Management of Coastal Ecosystems: Lessons from High and Low Income Nations*. Document presented at Conference "World Coast". The Hague, November 2-6., 1993.
- PAP/RAC: *Proceedings of the Workshop on Application of Integrated Approach to Development, Management and Use of Water Resources*. Marseilles, November 24-26, 1994.
- Planning Authority: *Policy and Design Guidance: Environmental Impact Assessment in Malta*. Malta, 1994.
- Plate, J.E.: *Sustainable Development of Water Resources: A Challenge to Science and Engineering*, Water International, Vol. 18 No. 2, 84-94., 1993.
- Plate, J.E.: *Sustainable Water Resources Development – a call for action by the International Water Related Associations in Science and Engineering. Towards the 21st century: Research & Operational needs*. Proceedings of the UNESCO/WMO/ICSU. International conference on Hydrology. UNESCO, 1993.
- Rogers, P.: *Integrated Urban Water Resources Management*. Natural Resources form 16;(1). p33-42. 1993.
- Sammut, A.: *First Steps in EIA for Water Projects*. Internal Report IWT. Valetta, 1993.
- Sewell, G.H.: *Environmental Quality Management*. Prentice Hall Inc. New Jersey, 1975.
- Simonovic, S.: *Application of Water Resources Systems Concept to the Formulation of a Water Master Plan*. Water International, Vol.14, No.1, 1989.
- Wathern, P. (ed.): *Environmental Impact Assesment Theory and Practice*. University Hyman Ltd. London, 1988.
- World Bank: *Cyprus, Water Planning and Management Strategy*. Nicosia, 1995.
- Turjoman, A.M., O.J. Helweg: *A descriptive structure for water resources planning*. Water Resources Bulletin, Vol.24, No.2, 1988.
- UN: *Multiple-purpose River Basin Development, Part 1, manual for River basin Planning*, Flood Control Series No.7, United Nations Publication, sales No:1955.II.F.1.
- UN: *Coastal Area Management and Development*. UN Department of International Economic and Social Affairs. Ocean Economics and Technology Branch. Pergamon Press Ltd. England, 1982.
- UN: *Guidelines for the Preparation of National Master Water Plans*. Economic and Social Commission for Asia and Pacific, Water Resources Series, No. 65. 1989.
- UN: *Report of the United Nations Conference on Environment and Development*. Rio de Janeiro, June 3-14. New York, 1992.
- UNCED: *Agenda 21*. Rio de Janeiro, June 3-14. New York, 1992.
- UNEP: *Data base on the Mediterranean activities*. Provisional document, Blue Plan. Sophia Antipolis, 1987.
- UNEP: *Environmental data on the Mediterranean basin (natural environment and resources)*. Provisional version, Blue Plan. Sophia Antipolis, 1987.
- UNEP: *Integrated Planning and Management of Mediterranean Coastal Zones and PAP involvement in MAP CAMP*. UNEP-MAP Athens, 1992.
- UNEP-PAP: *Proposal of a Water Conservation Programme for the Maltese Islands*. Split, Croatia, 1991.
- PNUE-PAP: *Directives concernant la gestion intégrée des régions littorales, avec une référence particulière au bassin méditerranéen*. Rapports et études des Mers régionales No. 161. Split, Croatie, 1995.
- UNEP-PAP: *The Synthesis Report on the MAP CAMP "The Island of Rhodes"*. Split, 1995.
- UNESCO/WHO: *Water Quality Surveys*. Studies and Reports in Hydrology No. 23. Paris, 1977.
- UNESCO, *World Water Balance and Water Resources of the Earth*. UNESCO Series Studies and Reports, No. 25. Paris, 1978.
- UNESCO: *The role of water in socio-economic development*. Studies and reports in Hydrology no: 46. W.E. Cox editor. 1986.

- UNESCO: *Groundwater problems in coastal areas*. Studies and reports in hydrology no: 45. 1987.
- UNESCO/WMO: *Water Resources Assessment Activities*. Handbook for National Evaluation. Paris, 1988.
- UNESCO/WMO: *Water Resources Assessment*. Paris, 1991.
- UNESCO: *Integrated Land-Use Planning and Groundwater Protection in Rural Areas*, Technical Document in Hydrology, IHP-III Project 10.6. Paris, 1991.
- US Dept. of Interior, Bureau of Reclamation: *Groundwater Manual*. A water Resources Technical Publication. 1985.
- U.S. Water Resources Council: *Principles and Standards for Planning Water and Related Land Resources*. Rev. September 29, 1980.
- Wagner, J.: *Environmental Impact Assessment Procedures in Malta*. Ministry for the Environment. Malta, 1993.
- *The Water Services Corporation Act*. Malta, 1991.
- Wathen, P.: *Environmental Impact Assessment – Theory and Practice*. 1988.
- WCED: *Our Common Future*. Oxford University Press. London, 1987.
- WHO: *Guidelines for Drinking Water*. Geneva, 1992.
- WMO: *Guide to Hydrological Practices*. WMO No. 168. Geneva, 1981.

Le Programme d'Actions Prioritaires (PAP), réalisé par le Centre d'Activités Régionales (CAR), à Split, Croatie, fait partie du Plan d'Action pour la Méditerranée (PAM) du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE). Bien que le PAP agisse comme un des centres du PAM depuis 1978, il est une institution nationale disposant du budget et du mandat d'effectuer un certain nombre d'activités du PAM dans les zones côtières du bassin méditerranéen.

Le PAP est une organisation centrée sur l'action, dont l'objectif principal est la mise en oeuvre d'activités pratiques, susceptibles de donner des résultats immédiats et de contribuer à la protection et l'amélioration de l'environnement méditerranéen, et au renforcement des capacités nationales et locales de gestion intégrée des zones côtières. Le PAP collabore avec un grand nombre d'organismes de l'ONU (PNUE, FAO, OMI, UNESCO, COI, OMS, AIEA, OMT, PNUD), d'institutions financières (Banque Mondiale, Banque Européenne d'Investissement), d'autres organisations internationales (Union Européenne, Conseil de l'Europe, UICN, etc.), d'institutions internationales et de compagnies-conseils.

Pour plus d'informations sur le PAP, veuillez vous adresser au:

**Centre d'Activités Régionales du Programme  
d'Actions Prioritaires**

**(PAP/CAR)**

**Kraj sv. Ivana 11, HR-21000 Split, Croatie**

**Tél: +385 21 343499/591171,**

**Fax: +385 21 361677**

**E-mail: [pap@gradst.hr](mailto:pap@gradst.hr)**

**URL: <http://www.pap-thecoastcentre.org>**